



TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Pesquisa, Lavra e Beneficiamento



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

DILMA VANA ROUSSEF
Presidente

MICHEL MIGUEL ELIAS TEMER LULIA
Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

CLÉLIO CAMPOLINA DINIZ
Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

JOÃO ALBERTO DE NEGRI
Secretário-Executivo

ANDRÉ TORTUATO RAUEN
Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

FERNANDO ANTONIO FREITAS LINS
Diretor

MARISA BEZERRA DE MELLO MONTE
Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação

CLAUDIO LUIZ SCHNEIDER
Coordenador de Processos Minerais

RONALDO LUIZ CORREA DOS SANTOS
Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
Coordenador de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas

ARNALDO ALCOVER NETO
Coordenador de Análises Minerais

COSME ANTÔNIO DE MORAES REGLY
Coordenador de Administração

TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Pesquisa, Lavra e Beneficiamento

EDITORES | Francisco W. H. Vidal,
Hélio C. A. Azevedo e
Nuria F. Castro

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CETEM/MCTI
Rio de Janeiro/2014

TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO

Editores:

Francisco Wilson Hollanda Vidal - CETEM/MCTI

Nuria Fernández Castro - CETEM/MCTI

Helio Carvalho Antunes de Azevedo - CBPM

Autores:

Adriano Caranassios - CETEM/MCTI (*In Memoriam*)

Angêlica Batista Lima - CPRM/MME

Antônio Rodrigues de Campos - CETEM/MCTI

Carlos César Peiter - CETEM/MCTI

Carlos Rubens Araujo de Alencar - HEAD Participações

Cid Chiodi Filho - ABIROCHAS

Denise Kistemann Chiodi - KISTEMAN&CHIODI Assessoria e Projetos

Eunice Freitas Lima - CETEM/MCTI

Francisco Wilson Hollanda Vidal - CETEM/MCTI

Helio Carvalho Antunes de Azevedo - CBPM

Ilson Sandrini - Consultor

José Roberto Pinheiro - ALVORADA Mineração Comércio e Exportação Ltda.

Júlio Cesar Souza - UFPE

Leonardo Cattabriga - CETEM/MCTI

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira - CETEM/MCTI

Luciana Marelli Mofati - CETEM/MCTI

Marcos Nunes Marques - UNIMINAS

Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá - MHB Serviços Geológicos Ltda.

Nuria Fernández Castro - CETEM/MCTI

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro - CETEM/MCTI

Roberto Cerrini Villas-Bôas - CETEM/MCTI

Ronaldo Simões Lopes de Azambuja - CETEM/MCTI (*In Memoriam*)

Rosana Elisa Coppedê da Silva - CETEM/MCTI

Vanildo Almeida Mendes - CPRM/MME

Colaboradores:

Abiliane de Andrade Pazeto, Ana Cristina Franco Magalhães, Arquiteto Paulo Barral, Arquiteto Renato Paldés, Carolina Nascimento Oliveira, Davi Souza Vargas, Diego Amador Rodrigues, Douglas Bortolote Marcon, Eder Ferreira Framil, Eduardo Coelho, Eduardo Pagani, Gilson Ezequiel Ferreira, Hieres Vetorazzi, Hudson Duarte, Isabela Rigão, Jefferson Camargo, Julio César Guedes Correia, Marcelo Taylor de Lima, Marcione Ribeiro, Michelle Pereira Babisk, Ronaldo Frizzera Matos, Thiago Bolonini, Victor Ponciano.

Capa: Bruno Dias Ferreira, Roger Ferreira de Lima, Ananda Menali Menezes Rodrigues

Desenhos: Cassiane Santos Tofano, Nuria Castro

Revisão Português: Danielle da Conceição Ribeiro, Verônica Bareicha

Projeto gráfico/Editoração eletrônica: Vera Lúcia do Espírito Santo, Thiene Pereira Alves

Revisão: Carlos Rubens de Alencar

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es)

Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento/Eds. Francisco W. H.

Vidal, Hélio C. A. Azevedo, Nuria F. Castro – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

700p.: il.

1. Rochas ornamentais. II. Beneficiamento de minério. I. Centro de tecnologia Mineral.

II. Vidal, Francisco W. H. (Ed.). III. Azevedo, Hélio C. A. (Ed.). IV. Castro, Nuria F. (Ed.)

ISBN 987-85-8261-005-3

CDD 553

ESTE LIVRO FOI FINANCIADO POR

Secretaria de
Geologia, Mineração e
Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia

Agradecimentos

ANPO, Andreia Batista Teixeira, Antonio Augusto Pereira Souza (Fuji Granitos), Associação Ambiental Monte Líbano, Alvorada Mineração, Bruno Zanet, Cetemag, Comil Cotaxé Mineração, Decolores Mármore e Granitos, Emanuel Castro (Revista Rochas), Elzivir Guerra (SGM/MME), Enir Sebastião Mendes (SGM/MME), Fernando Vidal, Flamart Acabamentos do Brasil Ltda., Flávia Karina Rangel de Godoi, Flávio José Silva, Fundisa, IEMA, Granfaccin Granitos, Granitos Collodetti, Granitos Zucchi, Ivar Costa, Luiz Zampirolli, Marbrasa Mármore e Granitos, Mauro Varejão, Mineração Corcovado, Mineração Guidoni, Mineração Pagani, Mineração Santa Clara, Mineração Vale das Rochas, Nilza Hagai, Olívia Tirello (Centrorochas), Pedra Mosaico Português Cesar, Pedra Rio, Pemagran, Phillipe Fernandes de Almeida, Prefeitura Municipal de Cachoeiro de Itapemirim, Regina Martins, Rossittis Brasil S.A., Sindirochas, Tracomal Mineração, Volpi equipamentos.

Dedicatória “*in memoriam*”

Nossa eterna gratidão e reconhecimento aos colegas que não chegaram a ver esta obra concluída, mas que em muito contribuíram com a sua elaboração e com o legado nela impresso:

Gildo Sá Cavalcanti de Albuquerque
Adriano Caranassios
Ronaldo Simões Lopes de Azambuja



Apresentação

Este livro, mais uma parceria entre o Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, do Ministério de Minas e Energia – MME, é fruto do esforço dos editores e dos especialistas autores dos onze capítulos que o compõem, pesquisadores do CETEM e colaboradores externos, visando promover o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros, missão deste Centro.

Está dedicado às rochas ornamentais; granitos, mármore e afins, setor da mineração brasileira muito importante para o país por ser gerador de grande quantidade de empregos e contribuidor significativo, com mais de US\$ 1 bilhão em exportações, para o superávit da balança comercial do país, embora seu desenvolvimento tecnológico tenha acontecido à margem da pesquisa acadêmica.

Hoje, quase um século depois da exploração das primeiras jazidas de mármore em Minas Gerais e Rio de Janeiro e, após três décadas de crescimento econômico, observa-se uma mudança de atitude e as empresas brasileiras de rochas ornamentais, já maduras, procuram cada vez mais, o auxílio de universidades e centros tecnológicos na busca de soluções inovadoras para melhorar seu desempenho econômico e socioambiental.

O CETEM conta com mais de quinze anos de trabalhos realizados em prol do desenvolvimento desse setor: tecnicamente em Arranjos Produtivos Locais e prestando serviços a empresas produtoras; elaborando publicações como o livro “Rochas ornamentais no século XXI”; formando e mantendo ativa uma rede brasileira de pesquisa que permitiu o desenvolvimento de vários trabalhos em conjunto, como o Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil e a realização de quatro congressos nacionais e quatro internacionais; e culminando com a criação do Núcleo Regional do CETEM, no Espírito Santo, atual polo de produção e exportação de rochas ornamentais do país.

É com muita satisfação que apresentamos esta obra que busca prover o segmento de rochas ornamentais com literatura técnica atualizada, em língua portuguesa, e disseminar o conhecimento adquirido pelo CETEM.

Fernando A. Freitas Lins
Diretor do CETEM/MCTI



Prefácio

A Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM do Ministério de Minas e Energia – MME, em sua atribuição de promover e apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico nos domínios da geologia e da indústria mineral, tem a satisfação de apresentar este livro inédito, integralmente dedicado ao setor de rochas ornamentais no Brasil.

Ao se observar o desempenho desse setor, nos mercados interno e externo, é fácil entender porque ele se tornou uma das mais expressivas áreas emergentes de negócios mínero-industriais no Brasil. Justamente pela estreita interface existente com o macrossetor da construção civil, cada vez mais importante como vetor de crescimento do país, as rochas ornamentais destacam-se pela relevância econômica e social de sua cadeia produtiva. Como área de atividade essencialmente exercida por pequenas e médias empresas, o setor de rochas também se destaca pela grande capacidade de geração de emprego, interiorização do desenvolvimento e captação de divisas para o país. Com uma produção anual superior a 9 milhões de toneladas e exportações que ultrapassam US\$ 1 bilhão/ano, as transações comerciais brasileiras do setor de rochas, nos mercados interno e externo, já se aproximaram de US\$ 5 bilhões em 2012. Pelas informações disponíveis, cerca de 10 mil empresas, dentre as quais 500 exportadoras, integram a cadeia produtiva do setor de rochas no Brasil, respondendo por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos. Do ponto de vista da produção, admite-se a existência de 1.400 frentes ativas de lavra responsáveis por mais de 1.000 variedades comerciais oferecidas ao mercado. Quanto às exportações, o faturamento brasileiro deverá aproximar-se ou até superar a marca de US\$ 1,2 bilhão em 2013, com vendas para mais de 100 países em todos os continentes. É assim verdadeira a constatação que, pelo ótimo desempenho das exportações, expressão das feiras nacionais e internacionais, eventos técnicos e comerciais realizados e maior envolvimento da área acadêmica, as rochas ornamentais conquistaram grande visibilidade, figurando atualmente como o quinto principal recurso mineral exportado pelo país, depois do minério de ferro, ouro em barras, ferro-nióbio e minério de cobre.

Dentre as ações da SGM, visando uma articulação maior entre os setores público e privado, no sentido de apoiar o planejamento, a organização, a formalização e a melhoria técnica da produção desse setor, uma delas foi a de celebrar, por meio de convênio com a Fundação de Apoio à Pesquisa Computacional (FACC), uma parceria com o Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, unidade de pesquisa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, com grande e longa experiência no apoio à produção sustentável das rochas ornamentais, para elaborar e publicar este manual técnico de referência para o setor.

Com certeza, os textos a seguir apresentados são referenciais, vindo preencher uma lacuna de informações técnicas, e terão grande alcance e permanência como fonte de consulta para pesquisadores acadêmicos e profissionais atuantes no setor de rochas.

Carlos Nogueira da Costa Junior
Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia



Prólogo

A ideia de elaborar um livro técnico dedicado às rochas ornamentais vem da década passada, quando a publicação do livro “Rochas ornamentais no século XXI”, em 2001, pela Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, elaborado por pesquisadores do CETEM e consultores, levou muitos profissionais e interessados à procura de publicações técnicas sobre esse setor, mostrando a carência de literatura específica no Brasil. Muitos anos se passaram e, finalmente, conseguimos produzir uma obra técnica mais abrangente que aquela, que visava mais as questões mercadológicas.

A presente publicação abrange desde as primeiras fases de descoberta e pesquisa de depósitos, até a produção de chapas polidas e ladrilhos nas serrarias e diversos outros produtos nas marmorarias. Em linhas gerais, procurou-se levantar informações referentes aos métodos de pesquisa geológica, bem como métodos e tecnologias de lavra aplicadas, processos de beneficiamento, escala de produção, equipamentos utilizados, produtos, caracterização tecnológica, entre outros tópicos.

Este livro registra o conhecimento de muitos pesquisadores e colaboradores, distribuído em 11 capítulos. Parte de um breve histórico da produção e uso de rochas ornamentais e uma visão geral sobre o assunto, no capítulo 1, que é seguido de um estudo que aborda as propriedades e características tecnológicas das rochas e sua importância no uso e conservação desses materiais, no capítulo 2. Grande parte do livro é focada na produção de blocos nas pedreiras, nos capítulos de 3 a 6, considerando aspectos técnicos, econômicos e legais. No capítulo 7 detalham-se os processos de beneficiamento. Inclui-se, também, um capítulo sobre tratamento e aplicação de resíduos rochosos, o capítulo 9, problemáticos pela grande quantidade deles gerada. Dá-se uma pincelada em questões relacionadas com o desenvolvimento sustentável, no capítulo 11, e com a saúde, segurança e higiene no trabalho, no capítulo 8. O capítulo 10 apresenta o panorama do setor de rochas ornamentais, no Brasil e no mundo, e tece considerações sobre seu futuro. No final do livro, ainda, pode se encontrar anexado um glossário de termos relativos à produção e ao uso das rochas ornamentais em três idiomas: espanhol, inglês e italiano.

A informação é muita e o desafio foi grande e, por isso, difícil de superar. Com certeza, há muito a ser melhorado e ampliado, pois se trata de uma obra inédita no país mas, orgulhosamente, apresentamos esta obra e esperamos contribuir para o aprimoramento técnico dos estudantes e profissionais que atuam nas áreas de geologia e mineração, bem como nos setores afins e dos interessados nesse setor da mineração, desconhecido por muitos e até por usuários de seus produtos.

Agradecemos a todos que colaboraram para a concretização deste projeto e, em especial, à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM do Ministério de Minas e Energia, pelo apoio.

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
Coordenador



Sumário

Agradecimentos

Dedicatória

Apresentação

Prefácio

Prólogo

Sumário

Capítulo 1: Introdução **15**

Capítulo 2: Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas **43**

Capítulo 3: Pesquisa de rochas ornamentais **99**

Capítulo 4: Lavra de rochas ornamentais **153**

Capítulo 5: Aspectos legais das rochas ornamentais **259**

Capítulo 6: Plano de aproveitamento econômico de rochas ornamentais **285**

Capítulo 7: Beneficiamento de rochas ornamentais **327**

Capítulo 8: Saúde e segurança no trabalho **399**

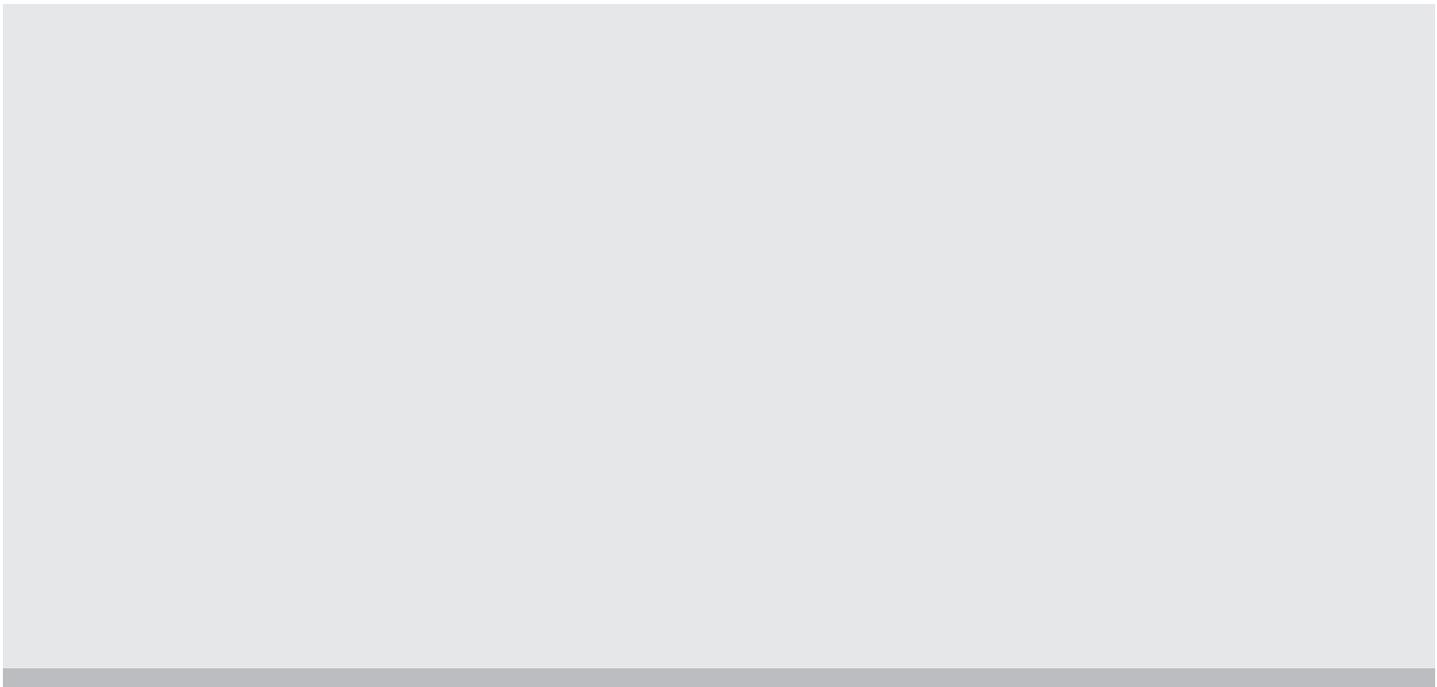
Capítulo 9: Resíduos - tratamento e aplicações industriais **433**

Capítulo 10: O setor de rochas ornamentais no Brasil **493**

Capítulo 11: A busca da sustentabilidade na produção e uso das rochas ornamentais **529**

Anexo **567**

Glossário e dicionário **587**



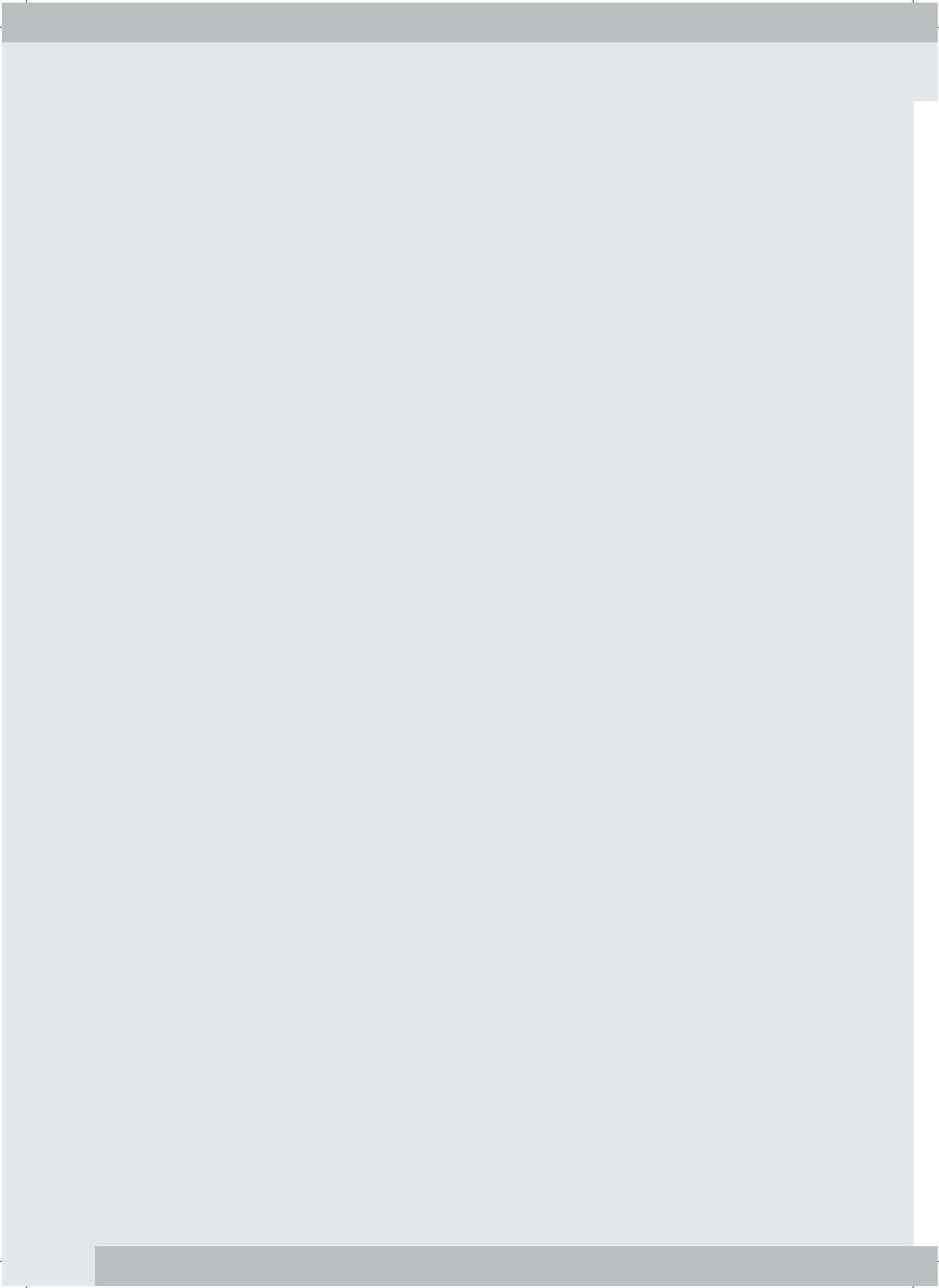
Capítulo 1

Introdução

Francisco Wilson Hollanda Vidal, Eng. de Minas, DSc., CETEM/MCTI

Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc., CETEM/MCTI

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá, Geóloga, DSc., MHB Serviços Geológicos Ltda.



1. As rochas ornamentais na história

As rochas ornamentais são materiais rochosos extraídos e beneficiados, em maior ou menor grau, para serem utilizados com funções de revestimento, decorativas ou estruturais. O termo abrange outros como pedras naturais, materiais lapídeos, rochas dimensionadas e rochas de cantaria. Sua utilização tem acompanhado a evolução da humanidade e, graças a sua durabilidade, serve de registro dessa evolução, da cultura e dos costumes ao longo da história. Para a escala de tempo humana, as rochas são eternas, pois começaram a se formar há 4,5 bilhões de anos enquanto que nosso primeiro ancestral bípede apareceu 3 milhões de anos atrás e o homem moderno há, apenas, 100.000 anos. Não é sem motivo que o homem escolheu esse material para construir estruturas e templos com objetivos religiosos ou funerários, de forma a perdurarem muito além da própria vida e até da civilização.

Sob o aspecto de material estético ou estrutural, sua utilização ao longo da história remonta-se aos homínídeos do Paleolítico, quando, pelo menos uns 300.000 anos atrás, nosso antecessor o Homem de Atapuerca (*Homo Heidelbergensis*) cobria seus mortos com pedras ou uns 40.000 anos atrás, nosso primo do Neanderthal (*Homo Neanderthalis*) construía cúpulas funerárias e as cobria com uma lápide de calcário (caverna de La Ferrassie, França). Muito antes, uns 2,5 milhões de anos atrás, nossos antepassados fabricaram os primeiros utensílios conhecidos, em sílex e quartzito.



Figura 1 - Pilar esculpido em Gobekli Tepe.
Foto: Erkcan, 2008.

De fato, a pré-história é dividida em idades, de acordo aos principais materiais utilizados e o mais antigo deles é a pedra, assim, o Paleolítico (do grego, de pedra antiga), período estimado entre 2,5 Ma e 10.000 anos a.C., denomina-se Idade da Pedra Lascada e, o Neolítico (do grego, de pedra nova), estimado entre 10.000 a.C e 4.500 a.C, é conhecido como a Idade da Pedra Polida. Do Paleolítico Superior há registros de pedreiras em diversos lugares do mundo, como é o caso das pedreiras de chert de Nazlet Safaha, no Egito, de 50.000 anos, e da Austrália, onde foram identificadas 144 pedreiras na região oriental, sendo as mais antigas datadas de 40.000 anos atrás (NSW DPI, 2007). Embora novas descobertas surjam a cada dia, a primeira construção em rocha encontrada até hoje é o Templo de Gobekli Tepe, a 15 km da cidade de Sanliurfa, no sudoeste da Turquia. A construção, de aproximadamente 12.000 anos de antiguidade, consiste em uma série de edificações circulares ou ovais, com grandes pilares de calcário (de 3 a 6 metros de altura) terminados em T, talhados e ornamentados com diversos símbolos, cenas e figuras de animais tridimensionais (Figs. 1 e 2).



Figura 2 - Vista do sítio de Gobekli Tepe. Foto: Rolfcosar, 2010.

Foram escavados cerca de 50 desses pilares e detectados, por meios geofísicos, aproximadamente, 200 deles. A pedra de onde o material foi extraído estava localizada em uma colina próxima (GOBEKLI TEPE, 2012). Acredita-se que essa construção era de cunho religioso, assim como eram os muitos monumentos megalíticos encontrados na Europa (5.000 - 2.000 a.C.), dedicados principalmente a eventos fúnebres, como os de Stonehenge (Inglaterra). A pedra também foi usada para construir outros assentamentos no Oriente Médio, como a cidade bíblica de Jericó, no vale do Jordão na Palestina, aproximadamente 10.000 anos atrás e quase todas as cidades construídas pelo ser humano desde então. Os egípcios se utilizaram largamente de todos os tipos de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares), provenientes do Vale do Nilo, do Deserto Oriental (e algumas do ocidental), para suas construções e esculturas, desde o ano 3.000 a.C. até o 640 d.C. De acordo com Harrell e Storemyr (2009) já foram localizadas, aproximadamente, 200 pedreiras antigas e devem existir muitas outras. No antigo Egito, os principais materiais utilizados foram calcários e arenitos, nas pirâmides, em templos, tumbas e santuários (Fig. 3).

Anidrita e gesso foram utilizados nos templos e construções ao longo da costa do Mar Vermelho. Já para os ornamentos, os egípcios usaram uma grande diversidade de rochas, além das citadas, como granitos, granodioritos, basaltos, travertinos, arenitos silificados, metagabros, gnaisses, brechas, serpentinitos, pedra-sabão e mármore, que foram aprendendo a trabalhar nesse longo período de tempo. Seus conhecimentos foram transmitidos para os gregos e os romanos.

Na Grécia, onde se desenvolveram estilos arquitetônicos refinados, a pedra começou a ser usada muito tarde. Até meio século antes do VII a.C. não se conhece lavra de pedra, destinada à construção de templos (LÓPEZ JIMENO, 1996, p. 44) e as principais construções, como o Parthenon, datam do século V a.C. em diante. Para essa obra e muitos outros monumentos, utilizaram o mármore Pentelikon, produzido até hoje. Os gregos também utilizaram outros mármores como os de Tasso e Naxos, assim como arenito em suas edificações. No ano 460 a.C., os gregos perfuraram as profundezas de Nápoles para arrancar sua pedra toda amarela, um tufo vulcânico, especialmente apropriado para a construção. O que se retirava do subsolo, se convertia no exterior em templos, termas e residências. Como era fácil de trabalhar, o material para a construção era retirado diretamente das pedreiras subterrâneas debaixo da obra.



Figura 3 - Templo de Horus, Edfu. Foto: Cameron, 2006.

Os romanos aperfeiçoaram as técnicas construtivas dos egípcios e gregos com o uso de argamassas, cimento e concreto e, pela longa duração e extensão geográfica de seu império, deixaram muitos registros em pedra. Deixaram também registros escritos sobre o uso das rochas, como as descrições de Vitruvius em seu tratado "Os dez livros da Arquitetura", do século primeiro anterior à era moderna. No livro segundo desse tratado, há uma parte dedicada aos materiais pétreos utilizados nas edificações e às pedreiras, na qual explica sobre as pedras talhadas e pedras toscas:

"São pedras que possuem muito diversas e distintas propriedades. Uma, em efeito, são macias, como a "pedra vermelha" das proximidades de Roma, as de Pallenes, as de Fidenes e as de Alba; outras são temperadas, como as de Tivoli, Anagnino, Soracte e outras similares; outras pedras são duras como o pedernal." (VITRUVIO POLIÃO, 2012. p.29)

De acordo com Jackson e Marra (2006), as pedras macias às quais Vitruvius faz referência seriam tufo vulcânicos, rochas piroclásticas (do grego *pyro*=fogo + *clástico*=em pedaços) formadas pela consolidação de detritos vulcânicos, extraídas em Roma e suas proximidades. A “pedra vermelha” seria o imbrignito Tufo Lionato, explorada inicialmente no Rio Tiber e as de Pallenes, Fidenes e Alba, os ignimbritos Tufo Giallo, Tufo Rosso e Tufo del Pallatino, respectivamente. São rochas duráveis, mas leves, muito porosas e fáceis de serem cortadas e trabalhadas, embora com composições e resistências diferentes dependendo do processo eruptivo que as originou. As rochas “temperadas” seriam travertinos de Tívoli e calcários de Amiternum, 140 km ao nordeste de Roma e do Monte Soratte, 40 km ao nordeste de Roma e as “duras” seriam lavas solidificadas.

Vitruvius ainda observa que há rochas que podem ser cortadas como se fossem madeira e aconselha não colocá-las em locais abertos, pois “se desmancham devido às geadas”, nem junto à costa, pois “se dissolvem carcomidas pelo salitre e não resistem nem às ondas nem às marés”.

Muitos são os monumentos e edificações romanas que se conservam até hoje ao longo da região mediterrânea, especialmente na Itália, na Espanha e em Portugal, como a cidade de Emérita Augusta (Mérida, Espanha) onde se conservam pontes, aqueduto, arco de triunfo, anfiteatro, teatro, circo, fórum e muralhas da cidade fundada em 25 a.C. (Fig. 4). Os monumentos foram construídos, nos primeiros séculos de nossa era com concreto, granitos e mármore de Vila Viçosa, na próxima região de Extremoz, em Portugal (JUSTINO;COUTINHO, 1999).



Figura 4 - Teatro Romano de Mérida. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

O homem continuou desenvolvendo estilos arquitetônicos durante a Idade Média (ou Antiguidade Tardia) e utilizando as rochas, existindo inúmeros registros de construções monumentais no mundo. Do estilo de arquitetura romana foi se passando à arquitetura bizantina, mais sofisticada tecnicamente e cujas principais obras são religiosas, como a Catedral de Santa Sofia (Istambul), de 360 d.C. A religião também foi a responsável pelas grandes construções da arquitetura Carolíngia,

difundida pelo Imperador Carlos Magno, no século VIII; da Otoniana (Itália-Alemanha), no século X; das sóbrias e fortes construções Românicas, nos séculos de XI a XII; das refinadas e trabalhadas Góticas, nos séculos XIII e XIV, e das Barrocas, entre o XVI e XVII (Fig. 5).



Figura 5 - Detalhe da fachada da Universidade de Salamanca (Espanha) de estilo gótico plateresco. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

A partir do Renascimento, começaram a se desenvolver estilos próprios de construção em cada país ou região, ainda tendo a rocha como elemento fundamental, como são o Renascimento Francês ou a Arquitetura Manuelina em Portugal (Fig. 6) e, ainda, como nosso primeiro estilo arquitetônico, o Barroco Mineiro. Porém, a partir do século XIX, com a revolução industrial, a rocha passou a ser menos utilizada, devido à introdução do concreto e o metal nas construções. No século XX, a evolução da tecnologia permitiu a elaboração de chapas de pedra para revestimento, que é até hoje sua principal utilização, concorrendo com outros materiais, como a cerâmica ou o vidro.

Embora o uso da pedra na arquitetura tenha sido mais intensivo na Europa, todos os povos fizeram uso dela ao longo da história, principalmente em edificações de cunho religioso por sua durabilidade e em construções defensivas, pela sua resistência.

No Brasil, como em quase toda a América, o uso da pedra na construção só foi iniciado no período colonial e desenvolvido posteriormente. A exceção ocorre na Mesoamérica e região central dos Andes, onde civilizações pré-colombianas usavam a pedra para construir seus centros monumentais e administrativos. Segundo Cañellas (2004), entre 1.200 e 800 a. C. os Olmecas já construíam monumentos em pedra, como as cabeças colossais feitas em basalto, com entre 3,80 m e 6,53 m

de circunferência e entre 1,45 e 3,40 m de altura, pesando entre 6 e 25,3 toneladas. Nessas regiões da América, a partir dos primeiros séculos de nossa era, cidades foram construídas com calcários, basaltos e andesitos, principalmente.



Figura 6 - Torre de Belém, Lisboa, Portugal. Arquitetura Manuelina. Foto: Alvesgaspar, 2009.

No Brasil, as primeiras construções eram simples e realizadas em madeira com cobertura de fibras vegetais. O uso da pedra na construção foi introduzida pelos colonizadores portugueses, inicialmente em fortificações defensivas ao longo da costa e em edificações religiosas. O Forte de São Tiago, em Bertioga, São Paulo, o mais antigo do país, foi inicialmente construído com uma paliçada de madeira, substituída depois por muros e paredes de alvenaria (CUSTÓDIO, 2011).

A significativa riqueza mineral do Brasil, com considerável variedade de rochas distribuídas em toda a extensão territorial, possibilitou a utilização de muitos tipos de rocha pelos colonizadores que edificavam com materiais locais e alguns trazidos de Portugal. De acordo com o Prof.

Antônio Gilberto Costa, em seu livro “Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas” (2009), além dos calcários portugueses (principalmente o Lioz) que vinham como lastro nos navios, no norte (São Luis e Belém) e no nordeste foram muito utilizados os arenitos e calcários. Rochas de origem vulcânica também foram muito utilizadas para ornamentos das igrejas em Pernambuco. Esses materiais foram largamente usados em todas as cidades da costa até o recôncavo baiano. Já no interior de Sergipe, foi utilizado gnaisse para a construção da Igreja de Goiás, pelos padres Jesuítas. No sudeste e no sul, onde materiais mais duros são os aflorantes, foram esses os mais utilizados. No Rio de Janeiro, principalmente gnaisses, dentre eles o gnaisse facoidal muito encontrado em edificações da cidade (Fig. 7).



Figura 7 - Gnaissite facoidal do Rio de Janeiro. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Em Minas Gerais, foram os quartzitos, a pedra-sabão, os xistos e serpentinitos (muitas vezes confundidos com a pedra-sabão pela sua coloração esverdeada) os mais utilizados e, em menor medida, granitos e gnaisses (Fig. 8). No Sul, basaltos e, principalmente, arenitos. Mesmo assim, e ainda segundo o mesmo autor, no período colonial a pedra não foi tão usada no Brasil como em outras colônias da América.

Os edifícios eram menos suntuosos e se utilizavam materiais menos nobres e resistentes, seja por falta de conhecimento ou de materiais apropriados, ou, mais provavelmente, pela falta de recursos.



Figura 8 - Igreja de Nossa Senhora do Rosário em Ouro Preto - MG. Foto: CETEM/MCTI, 2006.

A escolha do tipo de rocha a ser utilizada variava conforme o serviço a ser executado e a região do país. Assim, nas regiões ricas em calcário era esse o tipo presente nas construções dos edifícios, tanto nas alvenarias como nos elementos decorativos. Certamente, a baixa dureza do material permitiu o uso na execução dos elementos decorativos, cujos resultados foram os primorosos trabalhos escultóricos em portadas, lavabos, altares, taças de púlpito e cimbalhas, como se pode observar em exemplares da arquitetura colonial, civil e religiosa nos Estados de Sergipe, Paraíba e Pernambuco. Na Paraíba, existem monumentos totalmente construídos em pedra calcária, devido à predominância e à abundância de jazidas dessa rocha. É o caso da Igreja de Nossa Senhora da Guia que, além da fachada principal em cantaria magnificamente esculpida, apresenta em seu interior

elementos arquitetônicos e bens integrados de excepcional valor artístico, com destaque para o retábulo do altar-mor. Pela facilidade do corte e do esquadrejamento, o calcário foi muito utilizado na execução da alvenaria regular de pedra, em blocos de grandes e médias dimensões, como, por exemplo, no Forte Orange, em Itamaracá (PE), e na Fortaleza de Santa Catarina em Cabedelo (PB).

Em áreas ricas em arenito, oriundo de arrecifes marinhos ou de rios, é este o material dos elementos arquitetônicos e decorativos das fachadas das edificações. Especificamente no Nordeste, destacam-se Penedo, às margens do rio São Francisco, e Recife, cidade litorânea com orla protegida por arrecifes. Este arenito, por oferecer maior resistência, foi substituindo o calcário como pedra decorativa das fachadas.

Em seu livro, Costa (2009) nos aponta para a descrição de Soares (1587) sobre os diversos tipos de rocha utilizados na época na Bahia, para construir muros e fortificações. Soares fala sobre diversas rochas utilizadas, provavelmente vários tipos de calcarenitos como a pedra preta encontrada ao longo do mar e pela terra, fácil de extrair, a pedra cinzenta com que foram construídas as colunas originais da Sé e a pedra branca, que “o tempo nunca gasta” extraída dos arrecifes, mais dura e com restos de moluscos e conchas. Ainda diz que na Bahia há muita pedra Lioz vermelha, no rio de Jaguaripe e, em lugares afastados, pedra mole como tufo.

No litoral sul do estado de Pernambuco, região rica em gnaisses, granito e arenito, observa-se em algumas construções o uso simultâneo dessas três pedras, cada uma delas aplicada conforme sua especificidade: o gnaisse e o granito nas alvenarias ordinárias, e o arenito nas ornamentações das fachadas, cunhais, cercaduras e cimalthas, como pode ser observado no Convento de Santo Antônio em Serinhaém, PE (Fig. 9).



Figura 9 - Convento de Santo Antonio Serinhaém. Foto: Almeida, 2013.

Entre XVI e XVIII foi fortalecida a capacitação para edificar e, além de Portugal, no Brasil foram implantadas Aulas de Arquitetura Militar na Bahia e no Rio de Janeiro. De 1730 a 1770, no auge da produção do ouro, as cidades mineiras experimentam uma explosão das construções: pontes, charizes e a adoção da pedra como material de construção em substituição do pau a pique. A praça cívica de Vila Rica com o Palácio do Governador e a Casa de Câmara e cadeia fora erguida por volta de 1745, com blocos de quartzito trazidos da serra de Itacolomy.

A partir de 1740, foi implantada a cantaria nas Minas Gerais, com pedreiros e canteiros portugueses, que aqui adquiriu originalidade com o uso de rochas locais, como o quartzito e a pedrasabão. A extração na pedreira, de blocos regulares de pedra, era feita com métodos manuais rudimentares, com perfuração na pedra e instalação de cunhas. O transporte e o manuseio envolviam grande quantidade de mão de obra (COSTA, 2009).

Até o Século XX, as rochas ornamentais continuaram a ser extraídas em pequenas pedreiras, de forma rudimentar, de norte a sul do país. O mármore era importado, embora já fossem conhecidas diversas jazidas na Bahia, em Minas Gerais, no Rio Grande do Sul e outras províncias do país, não havia um aproveitamento industrial delas. Houve tentativas, como a do Sr. Torrel que, em 1851 instalou na Villa Encruzilhada, RS, uma fábrica de mármore, do tipo Paros, que seria abastecida com material da região. No relatório do Presidente da Província de Rio Grande do Sul, Silva Ferraz, datado de cinco de novembro de 1858, descreve a indústria como uma fábrica que contava com uma “machina movida por agoa a qual actualmente faz trabalhar ao mesmo passo 30 serras. Essa machina póde dar impulso à mais de 50 serras quando seja necessário” [sic]. A marmoraria contava ainda com espaço para 30 operários e trabalhava com mármore da região, os quais, de acordo com mesmo relatório, eram: “sete qualidades: branco estatuário, branco rajado de azul, azul rajado de branco, preto tumular, verde com mistura de azul, roxo e pardo, amarelo com mistura de verde, e finalmente granito verde e roxo”. Porém o relatório destacava também a dificuldade de se desenvolver o negócio: “Esta empresa não progride por falta de recursos. Sente este estabelecimento penúria de braços; pois que apenas dispõe de 2 a 4”.

Os primeiros registros de pedreiras de mármore com produção são os de Mar de Espanha, em Minas Gerais, que se remontam a 1915, na fazenda do industrial Carlos da Silva Rocha, onde foi descoberto um “mármore superior ao italiano e ao grego por sua beleza e resistência” com capacidade para abastecer todo o país por cem anos a um ritmo de 1.000 m³ por mês. Além dessa, outras pedreiras entraram em produção na região que foi a principal produtora de mármore do país por várias décadas. Também começou a produção, logo depois de Mar de Espanha, em Cantagalo e Italva, RJ, e nas regiões de Sete Lagoas e Ouro Preto, MG.

Em 1957, de acordo com Abreu (1960), a produção de mármore no Brasil foi de 38.412 toneladas, três quartos das quais nos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. A figura 10 mostra a produção de blocos de mármore, pelo método de perfuração e divisão com cunhas.

Ainda não havia produção significativa no Espírito Santo que hoje é o maior produtor, com os mármore da lente do sul do estado, na região de Cachoeiro de Itapemirim. Foi a partir da exploração dos mármore do Espírito Santo que se desenvolveu a indústria de rochas ornamentais do país e foi na cidade de Cachoeiro de Itapemirim que começou se desenvolver a indústria para o beneficiamento, primeiro para mármore e depois para granito. De acordo com Castro *et al.* (2011), a extração de blocos de mármore foi realizada pela primeira vez há pouco mais de 50 anos, em Prosperidade, distrito de Vargem Alta, por Horácio Scaramussa, com métodos rústicos e transporte dos blocos para serem serrados no Rio de Janeiro e São Paulo. Em 1967, teve início a consolidação da

indústria de rochas no Espírito Santo, quando se instalou, em Cachoeiro de Itapemirim, a primeira unidade de beneficiamento, com dois teares fabricados em São Paulo (COSTA, 1991 *apud* QUALHANO, 2005). A partir daí, surgiram na região diversas indústrias de rochas que, segundo Qualhano (*op. cit.*), atuavam tanto na exploração de blocos nas minas como no desdobramento dos blocos em chapas brutas nas indústrias. As chapas eram vendidas principalmente para os mercados do Rio de Janeiro e São Paulo, sendo ali beneficiadas, polidas e revendidas ao consumidor final.



Figura 10 - Pedreira de Mármore em Mar de Espanha. Foto: Guerra e Jablonsky, 1958.

Na década de 1970, começou a produção também de blocos de granito na região sul, em Cachoeiro de Itapemirim e outros municípios do entorno, e na região norte, em Nova Venécia e Colatina; nestes últimos com muito pouca produção. A partir dos anos de 1980, a demanda mundial pelo granito - material com grande diversidade cromática e maior resistência que os mármore - se intensificou, e a região sul do Espírito Santo não possuía jazidas de destaque deste material. Iniciou-se assim a expansão das atividades de produção no norte do estado que é caracterizado por contar com imensas reservas de granito.

A produção experimentou um grande crescimento nos anos 1990, seguindo a tendência mundial, o que foi facilitado pela introdução do corte com fio diamantado nas pedreiras. O final do último século e início deste também representou para o Brasil a mudança de exportador de blocos (material bruto) a exportador de chapas polidas (material beneficiado de maior valor agregado). O beneficiamento de quase toda a produção do Espírito Santo ocorre em Cachoeiro de Itapemirim, com o qual o aumento da demanda internacional pelos granitos brasileiros acarretou também a consolidação e expansão da indústria de beneficiamento no aglomerado sul e a consequente necessidade de empresas fornecedoras de equipamentos e insumos e prestadoras de serviços para seu parque industrial.

2. As rochas ornamentais hoje

No Brasil, embora já existisse essa atividade de forma pontual, desde o século XVI em várias regiões, seu desenvolvimento tecnológico ocorreu a partir dos anos 60 do século passado e, somente a partir do final da década de 1980 começou se destacar como atividade de mineração. Hoje, esse setor é considerado um dos mais importantes na pauta de exportação; foi responsável por 4% do saldo positivo da Balança Comercial Brasileira em 2012, contando com umas 400 empresas exportadoras. Estima-se que aproximadamente umas 10.000 empresas da cadeia produtiva do setor movimentem mais de quatro bilhões e meio de reais por ano e empreguem 120.000 pessoas. Estas e outras informações do mercado brasileiro e mundial são tratadas no Capítulo 10.

As rochas ornamentais e de revestimento, como se verá no Capítulo 2, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados e beneficiados em formas variadas. Seus principais campos de aplicação são os revestimentos internos e externos em forma de chapas ou ladrilhos, ou ainda em lajes de pedra natural, para a construção civil, mas incluem também a confecção de peças isoladas para decoração como esculturas, tampos, balcões e pés de mesa, e lápides e esculturas para a arte funerária.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define, na norma NBR 15012:2013, rocha ornamental como "material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária".

O termo rocha para revestimento é definido pela ABNT como "rocha ornamental submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas".

As rochas ornamentais, aquelas comercializadas na forma de chapas ou ladrilhos polidos, de espessura regular, são subdivididas comercialmente em dois tipos principais: "mármore" e "granito". Tal terminologia não é geologicamente correta, pois para o comércio "mármore" é toda rocha carbonatada, de origem sedimentar (calcário ou dolomito) ou metamórfica (mármore stricto sensu); e o "granito" é considerado como qualquer rocha não-calcária, capaz de receber corte e polimento e passível de ser usado como material de revestimento (incluindo grande variedade de rochas ígneas e metamórficas, a saber: basalto, gabro, granito, gnaiss, migmatito, granulito, alguns quartzitos e outros). Outros tipos comerciais são as ardósias e as chamadas "pedras naturais", rochas de tipo quartzito, arenito, calcário e até gnaiss, comercializadas em placas rústicas, de espessura irregular e sem polimento.

Por ser utilizado como ornamento ou revestimento, este tipo de material é escolhido em função, principalmente, de suas características estéticas, seguido das características técnicas e da disponibilidade comercial. À diferença de outros bens minerais, *commodities*, com valor definido pelo mercado, o valor comercial das rochas ornamentais será determinado em função dessas características e, por isso, diferente para cada tipo de material e, ainda, variável para um mesmo tipo de rocha quando sua anisotropia proporcione aspecto visual variado à sua superfície.

O fato de ser a estética o fator mais determinante para escolher uma rocha ornamental ou outra, pode criar problemas a *posteriori* pela especificação ou aplicação inadequadas, já que os profissionais que especificam, normalmente arquitetos, desconhecem o material construtivo “rocha ornamental”. Há, no país, escassez de recursos e materiais didáticos para orientar esses profissionais, como mostra o estudo da Dra. Risale Neves de Almeida (2012), professora de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. O trabalho que investigou conteúdos de ensino no país todo para saber “em quê”, “o quê” e “como” arquitetos brasileiros dedicados à prática de projetos do edifício usam as rochas, destaca a “falta de conhecimento dos arquitetos sobre as rochas e a tendência desses profissionais considerarem uma miscelânea de atributos subjetivos na hora de especificar e aplicar tais materiais”.

Um resultado positivo do trabalho foi o início, na UFPE, em 2013, da disciplina de rochas ornamentais para arquitetos, a primeira do tipo a constar da grade curricular de Arquitetura no Brasil.

2.1. Características estéticas

O aspecto estético é o primeiro fator que chama a atenção para a possibilidade comercial de um material. De fato, o mercado de rochas prioriza a estética, colocando outras características (frequentemente de forma incorreta) em segundo plano. Por outro lado, a estética constitui em geral, o elemento de caracterização de uma determinada variedade de material, usado a princípio com uma função ornamental e em alguns poucos casos como um elemento estrutural legítimo.

O aspecto estético de uma rocha ornamental é resultado da interação de três componentes fundamentais e inerentes a suas características petrográficas: cor, textura e granulometria.

Cor

A cor, que depende da composição química dos minerais constituintes e de seu estado de alteração, é, em geral, o mais importante aspecto estético, a ponto de decidir a possibilidade comercial de uma rocha em detrimento de outros parâmetros. O resultado é que, em muitos casos, a característica de mercado das rochas difere principalmente devido à cor.

Textura

Textura refere-se aqui ao termo estético e não ao termo petrográfico, embora seja dependente deste último. É caracterizada pela distribuição espacial dos minerais que constituem a rocha. A textura é homogênea quando, na escala de chapa ou ladrilho, a distribuição dos minerais não possui direção preferencial e a rocha é visualmente isotrópica. O desenho homogêneo não muda com a direção de corte.

A textura vejada indica como sugere o nome, a presença de veios que cortam a massa rochosa, conferindo ao material uma orientação bem definida. A textura orientada aparece quando os componentes da rocha têm uma direção preferencial definida na escala de chapa ou ladrilho. A textura

orientada difere da vejada porque todos os componentes da rocha visíveis a olho nu “correm” na mesma direção sobre uma superfície definida e não são limitados a elementos isolados, mas a todos os que formam a massa rochosa.

Há outras texturas que ocorrem principalmente nos mármore, tais como: brechado, arabescado, nebuloso e outros.

Granulação

A granulação (ou granulometria) refere-se aos tamanhos dos grãos minerais e, em alguns casos, à forma dos cristais ou outros elementos pétreos que constituem uma rocha. Em função disso, classificam-se normalmente como de granulometria fina, média ou grossa.

2.2. Características técnicas

As rochas ornamentais, quando em uso, serão submetidas a uma série de solicitações físicas, químicas e mecânicas, que deverão suportar para não comprometer a estrutura da construção, a segurança das pessoas ou a durabilidade da obra. Para se garantir isso, existem análises e ensaios de laboratório normatizados, que simulam as condições de trabalho desses materiais de forma a medir sua resistência. No Brasil, isto é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, mas existem diversas outras como as normas ASTM (EUA) ou as EN (Comunidade Europeia). Embora importante e, em alguns casos, fundamental, a caracterização tecnológica das rochas não costuma ser considerada pelo mercado, o qual leva a muitos conflitos entre produtores e consumidores quando o material escolhido para um determinado local não é apropriado ou é inadequadamente colocado, apresentando manchas, quebras e até comprometendo a obra. Este assunto é tratado com detalhe no Capítulo 2.

2.3. Características comerciais

Como materiais dimensionais, aproveitados em volume, as rochas ornamentais e de revestimento têm valor comercial muito significativo diante de outras matérias-primas minerais. Seu valor varia muito entre materiais e, para os mesmos materiais, dependendo da estética. Por exemplo, um bloco de granito pode variar de US\$100 a US\$1500, sendo os mais baratos os blocos de cores ou aspecto menos valorizados, como os de cor cinza e os mais caros aqueles considerados exóticos principalmente quartzitos e granitos movimentados. Esses valores não dependem só da oferta que pode se considerar sempre baixa por se tratar de materiais naturais e, portanto, únicos, mesmo que tenham assemelhados; dependem mais da moda e a estética, embora, algumas vezes, os empresários diminuam a produção como forma de aumentar o preço.

Conforme levantamentos realizados, ilustra-se o quadro setorial brasileiro pela produção de cerca de 1.200 tipos comerciais de rochas, entre granitos, mármore, ardósias, quartzitos, conglomerados, serpentinitos e pedra-sabão, entre outras, e em torno de 1.000 jazidas em atividade. Como se verá no Capítulo 10, o país tem uma capacidade de produção estimada de 78 milhões de metros quadrados de chapas polidas e conta com umas 6.000 marmorarias para trabalhos de acabamento final.

Atualmente o setor exporta mais de um bilhão de dólares e, desde 2010, vem apresentado crescimento de 20-25%, apesar da crise do mercado imobiliário americano entre os anos 2008 e 2009, que afetou muito o setor, e a recessão da economia mundial agravada recentemente. O consumo

interno per capita, nos últimos anos, cresceu de 14 kg/hab para 22 kg/hab, em parte pelo crescimento econômico do país e a redução da pobreza e, em parte, porque os empresários, durante a crise, se voltaram para o mercado interno como saída para sua produção.

3. Condicionamento geológico

A geologia do território brasileiro apresenta condições bastante propícias à existência de jazimentos de rochas ornamentais e de revestimento, o que evidencia uma ampla vantagem competitiva para o país, no mercado internacional, devido não só à excepcional diversidade dos tipos litológicos encontrados, como também pela grande variedade cromática e ocorrência de tipos de materiais raros e de alta cotação comercial. A crescente participação das rochas ornamentais e de revestimento na economia brasileira e na sua pauta de exportações, ocorrida a partir de 1990, pode ser considerada como um dos acontecimentos mais marcantes da produção mineral do país.

Este extraordinário crescimento, além dos investimentos privados na exploração de novos depósitos transformados em jazidas, teve por base os acontecimentos advindos dos trabalhos de pesquisa geológica iniciados na década de 1980 pelas empresas estaduais de mineração, com destaque para a CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, a Minérios de Pernambuco, a Ceminas – Companhia Cearense de Mineração, dentre outras, e, na área federal, aos trabalhos de geologia básica, desenvolvidos pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil e de fomento pelo DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral.

Embora o país não disponha de conhecimento geológico detalhado de todo o seu território, em escala adequada, permitindo indicar sua real potencialidade mineral, a recente disponibilização à sociedade, pela CPRM, do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente, escala 1:2.500.000, digital e estruturado em Sistemas de Informação Geográfica – SIG - a partir de bases escalares 1:1.000.000, representa uma contribuição efetiva para o reconhecimento das áreas de maior potencial em rochas ornamentais. Além disto, a nação dispõe de sínteses geológicas atualizadas e estruturadas em SIG em diferentes escalas (1:1.000.000, 1:750.000, 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000) das diferentes províncias geológicas e regiões do país.

A integração geológico-metalogenética desses estudos revela uma ampla diversidade geotectônica, cuja história evolutiva estende-se do Arqueano (mais de 2,5 bilhões de anos) ao Recente (menos de 10.000 anos). Sua evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A consolidação de seu embasamento e a consequente geração de jazimentos de rochas com fins ornamentais ocorreram de maneira progressiva e cíclica, em pelo menos quatro eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano (4,5 – 2,5 Ga), Paleoproterozoico (2,5 – 1,8 Ga), Mesoproterozoico (1,8 – 1,0 Ga) e Neoproterozoico (1 Ga – 570 Ma). Esses eventos favoreceram a consolidação dos núcleos de grande extensão de idade arqueana com fragmentos menores, envolvidos por faixas dobradas proterozoicas.

Do ponto de vista litoestrutural, o território brasileiro acha-se dividido em oito Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais. A Província Mantiqueira, contendo os estados do Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, possui jazimentos significativos em exploração, sendo responsável por mais de 60% da produção nacional. A segunda em importância, com 30% da produção, a Província São Francisco é composta pelos estados da Bahia e Minas Gerais. Todas as outras províncias: Borborema (Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e pequena porção norte da Bahia), Tocan-

tins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas Norte e Amazonas Sul, Paraná e Parnaíba, respondem por 10% da produção do país.

O Brasil está totalmente contido na Plataforma Sul-Americana, embasamento cristalino, e sua evolução geológica foi muito complexa, remontando ao Arqueano. Teve a sua consolidação completada entre o período Proterozoico Superior e o início do período Paleozoico, com o encerramento no ciclo Brasileiro (570 Ma).

Esse embasamento acha-se extensamente exposto em grandes escudos, separados entre si por coberturas fanerozoicas (< 570 Ma), cujos limites se estendem aos países vizinhos. Destacam-se os escudos das Guianas, Brasil Central e Atlântico. O escudo das Guianas compreende o norte da bacia do Amazonas. O escudo do Brasil-Central, ou Guaporé, estende-se pelo interior do Brasil e sul dessa bacia, enquanto o escudo Atlântico expõe-se na porção oriental atingindo a borda atlântica. Esses escudos estão expostos em mais de 50% da área do Brasil.

Sobre essa plataforma desenvolveram-se, no Brasil, em condições estáveis de ortoplataforma, a partir do Ordoviciano-Siluriano (450 Ma), as coberturas sedimentares e vulcânicas que preencheram espacialmente três extensas bacias com caráter de sinéclise: Amazonas, Paraíba e Paraná. Além dessas bacias, diversas outras bacias menores, inclusive bacias costeiras e outras áreas de sedimentação ocorrem expostas sobre a plataforma. Muitos eventos tectnomagmáticos afetaram, principalmente, as bordas do cráton, que ficaram registrados na forma de metamorfismo, intrusões ígneas e erupções vulcânicas. Por isso, a maior parte dos materiais (com qualidades ornamentais) extraídos no território brasileiro são originados de rochas ígneas e metamórficas (granitos, gnaisses quartzitos, ardósias e mármore), e apenas uma pequena parcela de rochas sedimentares (arenitos e calcários). Destacam-se as bacias sedimentares do Apodi, Araripe e, no Cráton São Francisco, a Formação Caatinga do Grupo Uma e Supergrupo São Francisco, caracterizada pelo calcário secundário do tipo "calcrete" ou "caliche". As reservas são muitas, como mostra a tabela 1 que apresenta as reservas de rochas ornamentais do Anuário Mineral Brasileiro 2010, ano Base 2009.

Tabela 1 - Reservas de rochas ornamentais e de revestimento aprovadas pelo DNPM.

Substância	Reserva (m ³)			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Granitos e afins	22.378.347.693	12.751.080.722	7.271.081.285	4.154.545.544
Mármore e afins	1.714.408.736	1.069.057.753	1.451.222.615	986.608.808
Quartzito ornamental	1.697.021.327	2.470.260.862	4.770.595.244	1.434.164.715
Arenito ornamental	3.751.627	542.464	967.728	3.605.772
Ardósia	1.398.749.409	2.291.906.704	2.620.396.268	761.271.771
Total	27.192.278.792	18.582.848.505	16.114.263.140	7.340.196.610

Fonte: DNPM - Dados atualizados até 31/03/2009.

Como será detalhado nos Capítulos 3 e 6, para aproveitar todo este potencial é necessário realizar estudos de pesquisa geológica regional e local, estudos de mercado e testes tecnológicos, de forma que possa se comprovar a viabilidade econômica de transformar uma ocorrência em pedra em produção.

4. Produção de rochas ornamentais

As rochas ornamentais são submetidas às mais variadas solicitações físicas, mecânicas e químicas, desde o momento em que são extraídas dos maciços rochosos. Estas surgem a partir da etapa de lavra (extração), no decorrer do beneficiamento primário (serragem) e final (resinagem, polimento e corte) até a aplicação final nas obras e, posteriormente, ao longo do uso. Por isso haverá necessidade de aplicar testes tecnológicos que avaliem sua resistência.

As solicitações são causadas pelo impacto com outros corpos, pelo desgaste e atrito provocados pelo uso, pelas ações intempéricas (ventos, chuvas e sol), pelo ataque químico gerado por produtos de limpeza e outros líquidos corrosivos e, até mesmo, pela poluição ambiental. As aplicações das rochas ornamentais podem ser consideradas abrangentes pela infinidade de usos e utilizações, principalmente pela combinação de suas qualidades estruturais e estéticas, mas podem ser reunidas em quatro grupos: arquitetura e construção, construção e revestimento de elementos urbanos, arte funerária e arte e decoração. O ciclo produtivo desses produtos finais tem quatro etapas bem definidas: pesquisa mineral, extração, beneficiamento e acabamento, conforme esboçado na figura 11. Estes itens estão detalhados nos capítulos de 4 a 9.

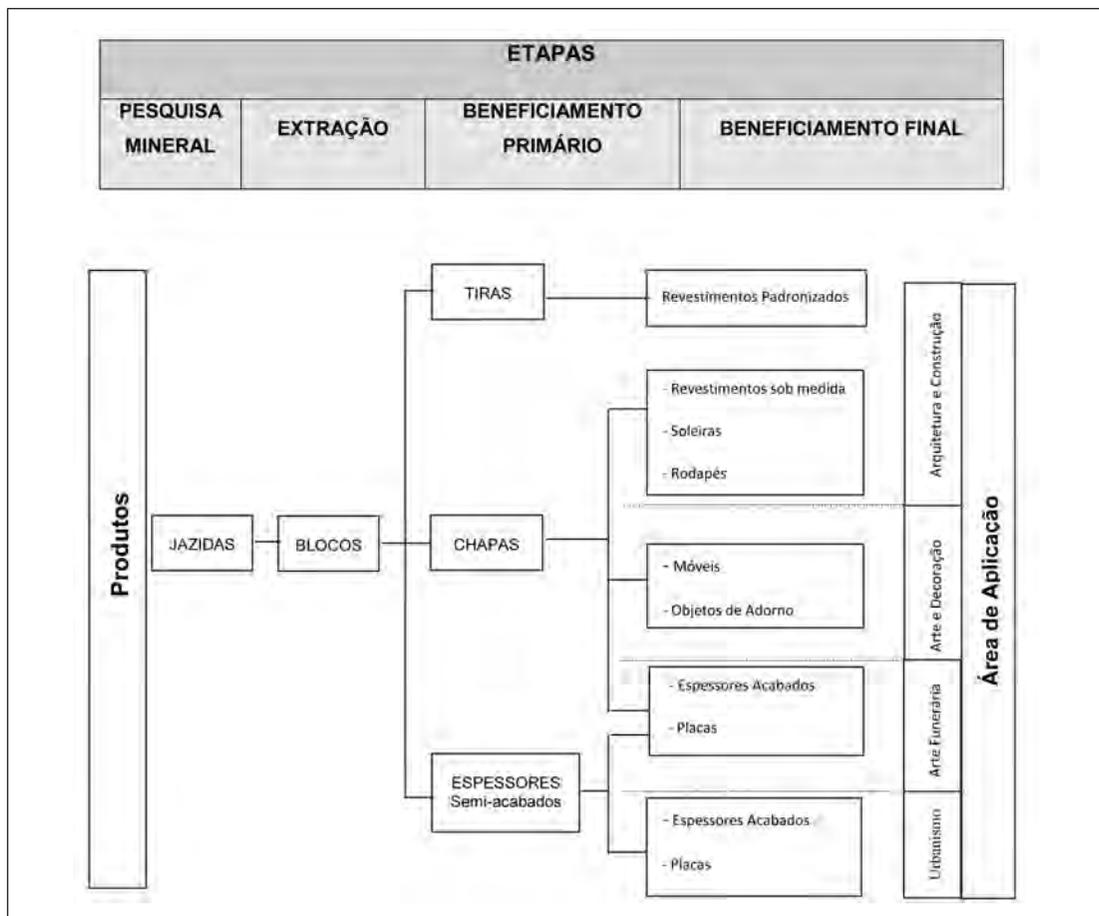


Figura 11 - Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos. Extraído de Peiter *et al*, 2001.

4.1. Lavra

Existem vários métodos de lavra das rochas, com rendimentos e eficiência variáveis, em virtude de aplicação das tecnologias mais adequadas, dentre as existentes, de acordo com as condições geológicas e estruturais, acarretando, com isso, variações acentuadas nos custos operacionais da extração. A figura 12 apresenta os diferentes métodos de lavra para desmonte de blocos de rochas ornamentais.

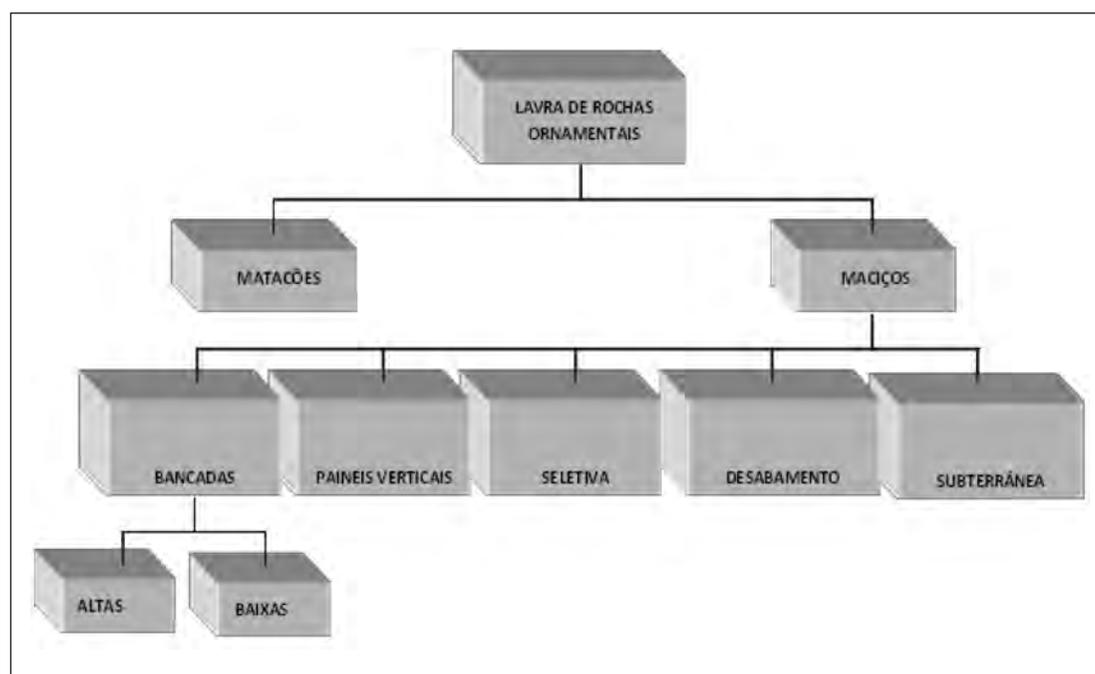


Figura 12 - Métodos de lavra de blocos de rochas ornamentais. Extraído de Roberto, 1998 em Vidal *et. al.*, 2005.

O método mais utilizado no Brasil é o de lavra de maciço em bancadas altas, e esse combinado com o de painéis verticais, embora existam exemplos de todos os outros. A principal tecnologia de extração é o corte com fio diamantado, tanto para cortes primários, o isolamento de grandes volumes de rocha do maciço, quanto para secundários, a subdivisão desses volumes em pranchas e muitas vezes para o esquadrejamento de blocos, que é o corte das pranchas em blocos de rocha de volumes de 9 a 12 m³, tamanho necessário para poder produzir chapas polidas no beneficiamento.

Além do fio diamantado, utilizam-se para o granito: explosivos, para alguns cortes de desmonte de estéril do maciço e para o esquadrejamento de blocos; perfuração e inserção de cunhas para cortes secundários e esquadrejamento; e argamassa expansiva, para cortes de desmonte e alguns primários. O fio diamantado ocupou o espaço de tecnologias antes usadas como o maçarico, *Jet-flame*, o fio helicoidal e não permitiu a entrada de outras como o corte com água a pressão, *Water-jet*, no Brasil.

No caso do mármore também está se utilizando preferencialmente o fio diamantado, mas há ainda fio helicoidal em alguns lugares e também cortadora de corrente, que é uma serra com discos diamantados em sua periferia e com formato alongado de grandes dimensões (mais de dois metros

de comprimento). A escolha da tecnologia dependerá de custos, disponibilidade de mão de obra e fornecedores de peças, insumos ou serviço de manutenção na região. Na pedreira, em cada local, dependerá do espaço disponível para aplicar uma ou outra tecnologia, se bem que o fio diamantado com sistemas de polias adequadamente colocadas é o equipamento mais versátil e rápido.

4.2. Beneficiamento

A preparação do bloco para a etapa de serragem, normalmente, é um simples aparelhamento, ou seja eliminar bordas deixando superfícies laterais lisas, e, às vezes, é feito o envelopamento do mesmo com resinas especiais, quando se trata de materiais com trincas acentuadas, muito alterados ou frágeis por natureza, geralmente, tipos considerados exóticos no mercado das rochas ornamentais. Esses e os processos mais usuais de beneficiamento (serragem, polimento, acabamento superficial) são detalhados no Capítulo 7.

Existem, basicamente, três tecnologias de beneficiamento primário para a serragem ou desdobramento de blocos em peças de dimensões mais aproximadas daquelas que terão os produtos finais: serragem ou desdobramento com tear de lâminas de aço para granitos (tear multilâmina ou convencional) e diamantadas para mármore (tear diamantado), talha-blocos de discos diamantados e tear de fios diamantados (multifio). Novamente, a tecnologia de corte com fio diamantado está substituindo às outras paulatinamente, sendo estimado que em 2020 um terço dos teares convencionais do parque industrial brasileiro terão sido substituídos por teares multifio. O tear multifio, mesmo com custo de aquisição do dobro daquele de lâminas (aproximadamente dois milhões de reais para o primeiro e um milhão para o segundo), tem uma produtividade seis vezes maior; os únicos insumos que requer são os fios diamantados, que duram várias serradas e água enquanto o outro precisa de lâminas, que também duram várias serradas, granalha de aço, cal ou bentonita e água. O tear multifio, além de processar o corte muito mais rápido que o convencional, gera um resíduo constituído de pó de rocha e água, motivo pelo qual pode ser instalado na pedreira, reduzindo os custos de transporte.

As chapas, após serem serradas, seguem para a etapa de acabamento superficial para eliminar a rugosidade na superfície proveniente do processo de desdobramento. Os principais tipos de acabamento superficial estão relacionados a seguir, com suas finalidades.

Levigamento

Parte do processo destinada a eliminar irregularidades e rugosidades da superfície das chapas geradas ao longo do processo de serragem. Nesta etapa são utilizados elementos abrasivos de grãos grossos com dureza maior que a rocha e de grande poder de desbaste, resultando assim, em superfície plana e de espessura regular. O processo é a úmido e a água tem a função de refrigerar os equipamentos e remover os resíduos gerados no levigamento.

Polimento

O processo de polimento confere brilho à superfície da rocha e consiste na abrasão dessa, por meio do atrito de constituintes abrasivos de dureza superior aos minerais presentes na rocha. Dessa forma, o polimento é obtido pelo fechamento da rugosidade deixada durante o levigamento, produzindo uma superfície espelhada que irá exibir, de forma mais intensa, o brilho desejado da rocha. O abrasivo, mais utilizado no polimento, é o carbetto de silício, usado em diferentes

granulometrias (fina a extrafina) e formas cristalográficas, aglomerados de tipos e geometrias distintas. No processo de polimento também é utilizada bastante água para auxiliar no brilho e refrigerar os equipamentos.

Flamejamento

O flamejamento é resultado do processo de acabamento da superfície da chapa bruta, utilizando água e maçarico de chama com alta pressão e temperatura da ordem de 1.500°C sobre a superfície, obtida com a mistura de oxigênio e acetileno. O choque térmico dos grãos minerais provoca uma descamação da superfície que confere bons resultados quando o material contém sílica (quartzo), a exemplo de granitos em geral.

Apicoamento

Esse processo consiste em criar uma superfície com aparência encrespada, por meio da operação básica de “martelamento” regular e repetido sobre a superfície da chapa com a ferramenta especial, fazendo com que o impacto da ferramenta sobre a chapa retire pequenos fragmentos, obtendo-se assim, uma superfície áspera.

Corte Longitudinal/Transversal

O processo de corte é constituído basicamente de máquinas que cortam as chapas polidas, primeiro em tiras longitudinais e, em seguida, transversalmente, dando origem assim, ao produto acabado, o ladrilho. As grandes empresas possuem ainda unidades automáticas que calibram os ladrilhos, deixando-os com espessuras uniformes e bem-acabados.

Após a etapa de acabamento superficial, as chapas são transportadas de duas maneiras: em posição vertical, com auxílio de cavaletes, ou horizontalmente, intercaladas com massa de gesso. Em ambos os casos, as chapas são devidamente presas ao veículo transportador.

Os ladrilhos são acondicionados em caixas de madeira ou papelão, com proteção às suas extremidades. Caminhões comuns transportam o produto final até o mercado consumidor.

Marmoraria

Este segmento do setor, apesar de apresentar um relativo grau de diversificação em sua linha produtiva, tende a se especializar no atendimento a demanda por rocha ornamental em produtos específicos, para unidades residenciais individuais ou trabalhos que requeiram acabamentos mais elaborados. No Brasil existem cerca de 6 mil marmorarias, cuja produção é, majoritariamente, voltada para o mercado interno, produzindo, em geral, peças sob medida, como:

- Ladrilhos para revestimento, pavimentação e escadas;
- Tiras (peitoril, soleira, rodapé, rodameio, filetes, contramarco etc.);
- Bancadas (tampos de pia e mesa, balcões); e
- Outros: lápides, divisórias, móveis etc.

Atualmente, a realidade do setor de marmoraria é bastante distinta, já que o processo produtivo (beneficiamento final) está restrito a serviços de pequena monta, normalmente para obras de pequeno e médio porte, onde os serviços ainda são de menor complexidade e volume.

A figura 13 apresenta um fluxograma esquemático dos processos operacionais na marmoraria. Ressalva-se que nem sempre se reproduz nas empresas que realizam o beneficiamento final exatamente o fluxograma modelo apresentado, inicialmente neste capítulo, na figura 11. Podem ocorrer

variações em função da disponibilidade de recursos tecnológicos que permitam a supressão de etapas ou fusão de outras, sobretudo nas fases de corte e acabamentos de superfície e borda nos ladrilhos. Na produção de padronizados (ladrilhos e revestimento interno e externo), o processo apresenta algumas diferenças em relação ao modelo citado.

De modo geral, as etapas do processo produtivo na marmoraria podem ser realizadas conforme apresentadas na figura 13, destacando-se, na parte inferior, o processo de fabricação de tampos de pia para cozinhas e banheiros.

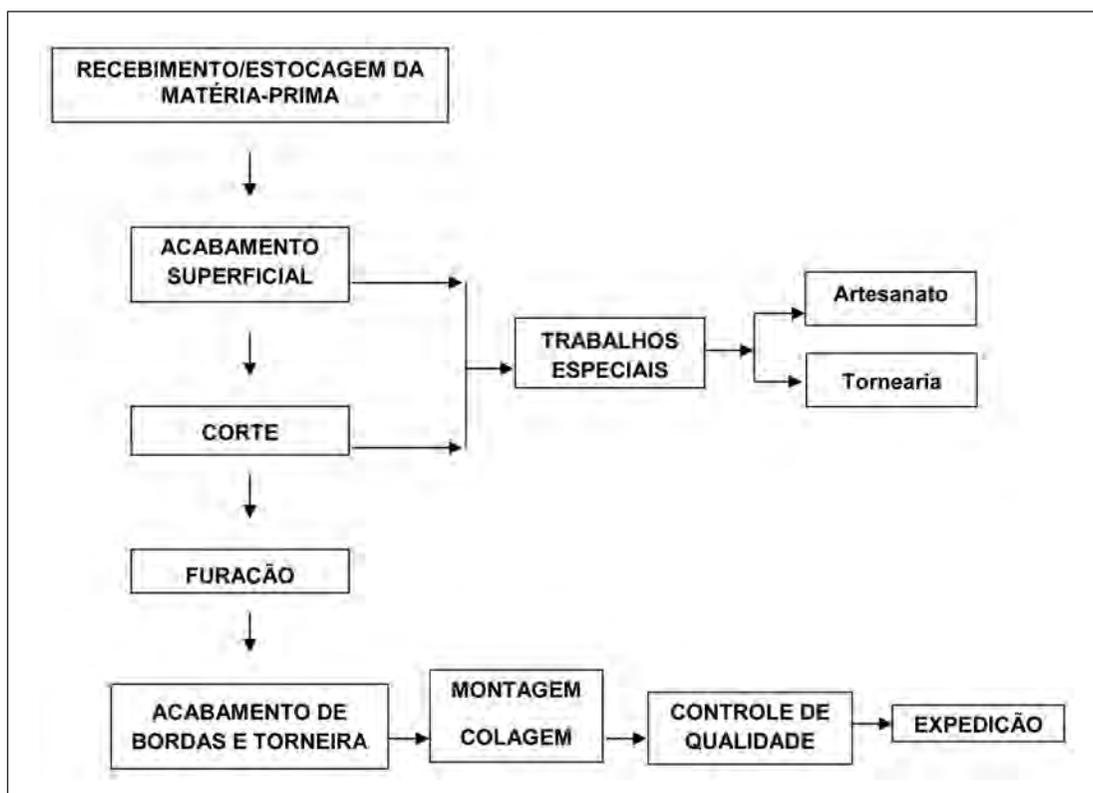


Figura 13 - Fluxograma esquemático dos processos operacionais na marmoraria. Extraído de Vidal et al., 2005.

5. Sustentabilidade

A imagem da mineração, até o início deste século, praticamente, era a de uma atividade totalmente agressiva ao meio ambiente. Isto era devido, em grande parte, à falta de iniciativa das empresas e de soluções tecnológicas adequadas para diminuir ou compensar os impactos ambientais produzidos. Com o reconhecimento mundial, em todas as esferas e setores econômicos, da necessidade de cuidar do meio ambiente, a mineração ficou exposta como uma das grandes vilãs da destruição ambiental. Podem-se identificar, no setor de mineração brasileiro, três grandes fases, a saber: a primeira fase até os anos 1960, caracterizada por uma visão fragmentada, quando a proteção ambiental incidia apenas em alguns recursos, particularmente naqueles relacionados

mais estreitamente à saúde humana, como o controle de águas e as condições no ambiente de trabalho; a segunda, dos anos 1970 e 1980, iniciada com a ocorrência e discussão de questões mais amplas, como a poluição ambiental e o crescimento das cidades, culminando com a visão de futuro relativo ao meio ambiente como um ecossistema global; e a terceira, a partir dos anos 1990, que posicionou o paradigma do desenvolvimento sustentável como o grande desafio, ou seja, como equacionar o desenvolvimento econômico e social com a preservação dos ecossistemas.

As Conferências sobre Desenvolvimento de Meio Ambiente das Nações Unidas, realizadas em 1992 (Rio de Janeiro) e 2002 (Johannesburgo), consolidaram a visão de que desenvolvimento sustentável demanda a preservação dos recursos naturais, de modo a garantir para as gerações futuras iguais condições de desenvolvimento e de acesso a recursos que as existentes hoje.

A realidade atual da mineração é outra, principalmente em decorrência das severas e rigorosas legislações ambientais, cada vez mais eficientes e priorizadas pelo poder público, com forte fiscalização. A consciência empresarial também é outra, assim como a da sociedade como um todo, com grandes empresas de mineração realizando expressivos investimentos para a proteção ambiental e social.

A produção de rochas ornamentais, como a de outros produtos minerais, causa impactos visuais, gera poeira e ruído, e também impactos sociais pelo uso do solo e o transporte de cargas pesadas, além de muitos resíduos de rocha, pois as taxas de recuperação das pedreiras são baixas. Nas serrarias também são produzidos ruído, poeira, e muito resíduo de rocha que, neste caso é fino, na forma de lama a qual também contém restos dos insumos de corte e polimento (cal, granalha, resinas). Na linha do pensamento sustentável, então, aproveitar resíduos supõe utilizar menores quantidades de recursos não renováveis, como são as rochas e minérios, e também reduzir problemas ambientais originados pelo acúmulo dos resíduos. Por esses motivos, o incentivo ao aproveitamento do resíduo da mineração deve ser uma parte importante de qualquer política ambiental.

Em 1987, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT publicou a Norma NBR 10.004, contendo a classificação de resíduos sólidos, ou mais precisamente, “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Tais resíduos, segundo a versão revisada em 2004, são distribuídos em três classes: I – Perigosos, II A – Não perigosos e não inertes, II B – Não perigosos e inertes. Dentre os resíduos inertes, menciona, como exemplo, as rochas. No entanto, diversos estudos de classificação ambiental dos resíduos chegaram à conclusão de que os finos resultantes do beneficiamento das rochas ornamentais são resíduos não perigosos, mas não inertes, devendo ser depositados em aterros especiais para esse tipo de resíduo.

Tem sido e continuam sendo estudadas diversas alternativas para o aproveitamento desses resíduos, como será visto no Capítulo 9, e deve se destacar que o setor de rochas está procurando soluções tanto para a destinação econômica ou social de seus resíduos quanto para a recuperação ambiental das áreas degradadas pela atividade.

Por outro lado, as diretrizes, os critérios e os procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil foram também estabelecidos na Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em 2002. Nesta são definidos: resíduos da construção civil; agregado reciclado; reutilização; reciclagem; e, finalmente, beneficiamento.

A lei nº. 12.305, de 02/08/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Nesse contexto, a visão de desenvolvimento sustentável surge em decorrência da percepção da incapacidade do modelo de desenvolvimento vigente se perpetuar de modo a garantir a sobrevivência da espécie humana. O avanço do conhecimento sobre os efeitos de poluentes demonstram que a preservação da natureza vai exigir uma reformulação mais ampla dos processos produtivos e de consumo, ou seja, uma reformulação radical da visão do impacto das atividades humanas ao meio ambiente.

O paradigma do desenvolvimento sustentável como sendo o grande desafio para equacionar o desenvolvimento econômico e social, se fortaleceu nos meados dos anos 1990 com a necessidade de criação dos mecanismos legais e institucionais de defesa do meio ambiente. A existência dos passivos ambientais gerados pela atividade mineira no passado se deve à falta dos mecanismos legais.

A motivação da Lei, do mercado e da sociedade constitui um marco para que a indústria mineira se comprometa com a gestão ambiental e com a responsabilidade social visando as futuras gerações: a proteção do meio ambiente em termos de minimização dos impactos, melhoramento contínuo de processos, proteção da biodiversidade e educação ambiental para a comunidade.

Nos últimos anos as empresas de mineração vêm dando prioridade à gestão ambiental, desenvolvendo uma política com o objetivo de manter relações harmoniosas com as comunidades (interessados diretos) e o seu entorno (os que ficam próximos as suas operações ou unidades de produção), sendo este importante relacionamento conhecido como a “política da boa vizinhança”.

O desenvolvimento sustentável das atividades de mineração compreendendo a geologia de exploração, lavra e beneficiamento de minérios e, o cuidado intensivo com o meio ambiente, permitirá a “aprovação” da comunidade e de seu entorno a atividade, o que podemos denominar de: licença social.

Portanto, conhecer a base concreta onde ocorrem os fenômenos físicos, econômicos, sociais, culturais, políticos e outros tantos decorrentes do processo civilizatório é o principal desafio estratégico para a promoção do desenvolvimento sustentável. Daí a importância fundamental do uso de indicadores, a fim de verificar a influência da mineração nessas dimensões clássicas do desenvolvimento sustentável. No Capítulo 11, discorre-se sobre os conceitos de desenvolvimento sustentável, os indicadores e sua aplicação às rochas.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem as valiosíssimas contribuições dos colegas e queridos amigos: Rosana Elisa Coppedê, Paulo Barral e Risale Neves.

7. Bibliografia e referências

A ÉPOCA. P. D’Almeida Godinho. As minas de mármore de Mar de Hespanha: O aproveitamento de uma grande riqueza nacional. Rio de Janeiro: 1919, Ed. Anno VIII, 31 de julho, p.24

ABREU, Sylvio Fróes. Instituto Nacional de Tecnologia. Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio. Recursos minerais do Brasil. Vol. I: Materiais não metálicos. Rio de Janeiro: 1960. 471 pp.

ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologias de lavra e beneficiamento: estudo econômico sobre rochas ornamentais. Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi, 1996. v.3, 225p.

ALMEIDA, Risale Neves. Usos de rochas na arquitetura: Contribuições ao processo da especificação. Tese de Doutorado. Departamento de Geociências. Área de Hidrogeologia e Geologia Aplicada. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife: 2012. 163 pp. Il.

ALMEIDA, Risale Neves. Recorte no patrimônio Arqui Geológico de Pernambuco e inquietudes sobre o contemporâneo. Workshop Brasileiro de Patrimônio Geológico Construído. Ouro Preto, 24-28 de setembro de 2013. Anais.... Ouro Preto: UFOP/UFMG, 2013.

ALVESGASPAR. A Torre de Belém, Lisboa, Portugal. [Imagem: Torre Belém April 2009-4a.jpg|thumb|180px|Legenda] 2009. Disponível em:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Torre_Bel%C3%A9m_April_2009-4a.jpg

Acessado em 10/06/2013

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral. Brasília, 2010.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário mineral. Brasília, 2012.

CAMERON, STEVE F.E.; Approach and first pylon - Temple of Horus @ Edfu, 2006. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/File:S_F-E-CAMERON_EGYPT_2006_FEB_00289.JPG. Acessado em 22 fev 2013

CAÑELLAS, Elisabeth Casellas. El contexto arqueológico de la cabeza colosal olmeca número 7 de San Lorenzo, Veracruz, México. 2004. 543 f. Tesis (Doutorado) - Curso de Facultat de Lletres, Departamento de Prehistoria, Unversitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2004. Disponível em: <<http://ddd.uab.cat/pub/tesis/2004/tdx-1125105-174042/ecc1de1.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2012.

CASTRO, N. F. ; MARCÓN, D. B. ; CATTABRIGA, L. ; LIMA, E. F. ; ALMEIDA, P.F. . Impacto do APL de Rochas Ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. 1ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011, v. II, p. 139-176.

CICCU, R.; VIDAL, F.W.H. Curso de especialização em tecnologia de extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Fortaleza: [s. n.], 1999. 71p. Apostila.

COSTA, Antônio Gilberto. Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas. Rio de Janeiro: Bem-te-vi, 2009. 291 p. ISBN 978-85-88747-31-9.

CUSTÓDIO, José de Arimathéia Cordeiro. A arquitetura de defesa no Brasil Colonial. Discursos Fotográficos, Londrina, v. 7, n. 10, p.173-194, 01 jan. 2011. Semestral. Disponível em: <www.uel.br/revistas/uel/index.php/discursosfotograficos/.../7848>. Acesso em: 19 out. 2012.

ERKCAN, Wikimedia. GOBEKI- TEPE-HEYKL. JPG – The sculpture of an animal at Gobekli Tepe. Sanliurfa: 2008. Imagem domínio público. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:GobeklitepeHeykel.jpg>. Acessado em: 01/03/2013

GUERRA, A. T & JABLONSKY, T.: Jazida de mármore em Mar de Espanha (MG). Acervo dos Trabalhos Geográficos de Campo. Fotografia em p&b. Negativo 6802. IBGE, 1958.

HARRELL, J.A. AND STOREMYR, P. Ancient Egyptian quarries—an illustrated overview. In Abu-Jaber, N., Bloxam, E.G., Degryse, P. and Heldal, T. (eds.) QuarryScapes: ancient stone quarry landscapes in the Eastern Mediterranean, Geological Survey of Norway. 2009. Special Publication,12, pp. 7–50.

JACKSON, M; MARRA, F. Roman Stone Masonry: Volcanic Foundations of the Ancient City. In: American Journal of Archaeology, num. 110, 2006. 34 pp. Disponível em: http://www.academia.edu/1048875/Roman_stone_masonry_volcanic_foundations_of_the_ancient_city

JUSTINO, Maciel M.; COUTINHO, Helder. A utilização dos mármore em Portugal na época Romana. In: COLÓQUIO DE ARQUEOLOGIA DE VISEU, 2., 1990, Viseu (portugal). Estudos em homenagem a João Francisco Marques: A utilização dos mármore em Portugal na época Romana. Porto: Faculdade de Letras Universidade do Porto, 1990. v. 1, p. 1 - 6. Disponível em: <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/2860.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2012.

LÓPEZ JIMENO, C. (Ed) "Manual de Rocas Ornamentales". Entorno Gráfico. Madrid: 1995, 696 pp

MELO, K, E V.; CASTRO, L, M. Avaliação econômica dos granitos do Estado do Ceará. Fortaleza: CEMINAS/SIC, 1989.114p.

MELLO, I.S.C. *et al.* A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo, IPT/CNPq/MCT/SCTDET, 2004, 191p.

MORAIS, J.O. *et al.* Rochas industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, Fortaleza: SECITECE/ FUNCAP, 2003. 514p.

NOGALES, T. Reflexiones sobre la "Colonia Augusta Emerita" mediante el análisis de sus materiales y técnicas escultóricas. Cuadernos Emeritenses, Mérida, n. 20, p.215-249, 01 jan. 2002. Semestral. Ejemplar dedicado a: Materiales y técnicas escultóricas en "Augusta Emerita" y otras ciudades de hispania.

NSW DPI. State of New South Wales - Department of Primary Industries. Mining by Aborigines: Australia's first miners. In: Primefacts, AUSTRALIA: 2007, Num. 572, ISSN 1832-6668. Disponível em: www.dpi.nsw.gov.au/primefacts. Acessado em 12 de março de 2013.

PEITER, C.C. *et al* Rochas Ornamentais no Século XXI: bases para uma politica de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. Rio de Janeiro: CETEM/ ABIROCHAS, 2001. 160p.

QUALHANO, Miguel Ângelo Lima. O arranjo produtivo local do setor de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Cândido Mendes, Campos Dos Goytacazes – RJ, 2005.

ROBERTO, Fernando Antônio da Costa. Rochas ornamentais do Ceará. Geologia, lavra, beneficiamento e mercado. 1998. 225 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza. 1998.

ROLFCOSAR. Gobki-tepe.jpg – Panoramaansicht des südlichen Grabungsfeldes. Sanliurfa: 2010. Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc. Disponível em: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/G%C3%B6bekli_Tepe.jpg

SAMPAIO, J. A. *et al.* Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil: Granitos Granstone/ Imarf/ Granos. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p.163-172.

SILVA FERRAZ, A. M. Relatório do Presidente da Provincia de S. Pedro do Rio Grande do Sul, Angelo Moniz da Silva Ferraz, apresentado à Assembléa Legislativa Provincial na 1a sessão da 8a Legislatura. Typographia do Correio do Sul: Porto Alegre, 1858. 125 pp e anexos. Disponível em: Center for Research Libraries. www.crl.edu/brazil/provincial/rio_grande_do_sul acessado em: 02/12/2013

SOARES, Gabriel. Tratado descritivo do Brasil em 1587. Belo Horizonte. Ed. Itatiaia. 2001. 320 pp.

VIDAL, F.W.H. A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará. 1995. 178p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo. 1995,

VIDAL, F.W.H. Estudo do elemento abrasivo do fio diamantado na lavra de granito do Ceará. 1999. 173p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo. 1999.

_____. Avaliação de granitos ornamentais do nordeste através de suas características tecnológicas. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002. Recife. Anais... Recife: CETEM/MCT, 2003. p.67-74.

VIDAL, F.W.H. Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimentos. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Fortaleza, Anais... Fortaleza: CETEM/MCT, 2003, p.221-229.

_____. Estudo do elemento abrasivo do fio diamantado na lavra de granito do Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2., 2001, Salvador. Anais... Salvador: CETEM/MCT, 2001. p. 65-71.

VIDAL, F.W.H; BESSA, M. F., LIMA, M. A. B. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais do Ceará. In: CONGRESSO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4., 1996. Canela, RS. Anais... Canela, RS: Revista da Escola de Engenharia, UFRGS, 1996. p.174-183.

_____. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características Tecnológicas. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT, 1999. 30p. (Série Tecnologia Mineral n° 74)

VIDAL, F.W.H.; COELHO, A. A. M. Métodos e tecnologias de lavra para melhoria da qualidade e produtividade dos blocos de granitos no Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Fortaleza. Anais... Fortaleza: CETEM/ MCT, 2003. p. 180-188.

VIDAL, F.W.H; PADILHA, M.W.M. A indústria extrativa da pedra Cariri no Estado do Ceará: problemas x soluções. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Fortaleza. Anais... Fortaleza: CETEM/ MCT, 2003. p. 199-210.

VIDAL, F.W.H; ROBERTO, F.A. COSTA. Rochas ornamentais do Ceará: geologia e caracterização tecnológica. In: SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 1., 1998, Olinda, PE. Anais... Olinda, PE: CPRM, 1998. p. 101-109.

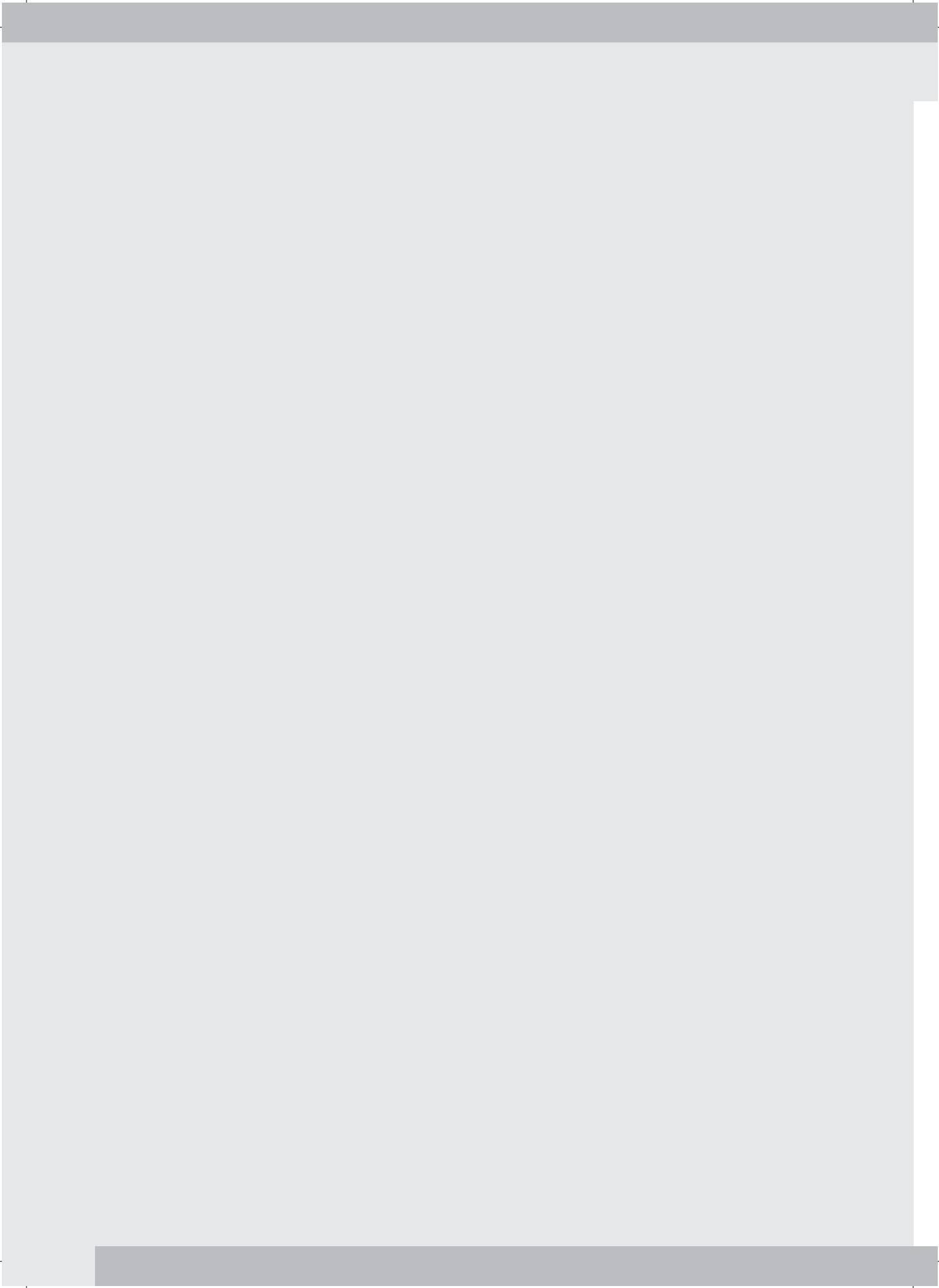
VIDAL, F.W.H; ROBERTO, F.A. COSTA. Avanços e transferência tecnológica em rocha ornamental: Rochas Ornamentais do Estado do Ceará. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p.93-106. (Série Rochas e Minerais Industriais, n° 4).

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; SALES, Fernando Antônio Castelo Branco; ROBERTO, Fernando Antônio da Costa; SOUSA, José Ferreira; MATTOS, Irani Clezar (Orgs.) Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará. Fortaleza, CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 176p.IL. ISBN 85-7227-205-4

VITRÚVIO POLION, M. Compendio "Los diez libros de la arquitectura". Disponível em: es.scribd.com/doc/23628406/Vitruvio-Polion-Marco-Los-Diez-Libros-de-Arquitectura. Acesso em: 06/09/2012

Capítulo 2

Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas



1. Definições e características

Rochas são materiais naturais usados pelo homem desde os tempos mais remotos nas mais diferentes finalidades, dentre as quais destacadamente como material de construção, na qual a rocha inicialmente desempenhou principalmente função estrutural ou de alvenaria nos diversos tipos de edificações (Fig. 1).



(a) Igreja de São Justo e São Pastor, em Granada (Espanha).



(b) Duomo (Milão, Itália).



(c) Mosteiro dos Jerônimos (Lisboa, Portugal).



(d) Torre de Belém (Lisboa, Portugal).

Figura 1- Exemplos de construções e monumentos europeus em rocha. FOTOS: M.H.B.O. Frasca.

Com a ampliação das técnicas e da variedade de materiais de construção, ao longo do tempo, essas funções foram suplantadas pela de revestimento tanto de pisos e paredes como de fachadas, além de também constituírem elementos funcionais (tampas de pias e balcões) ou ornamentais (arte estatutuária e funerária).

Este capítulo compreenderá a apresentação dos diferentes materiais rochosos utilizados no revestimento de edificações, suas propriedades distintivas e as finalidades e importância dos ensaios para sua caracterização, com ênfase na análise e interpretação destas características na sua seleção para os diferentes usos na construção civil.

1.1. Terminologia

A terminologia é uma questão ainda não resolvida no setor de rochas ornamentais e para revestimento, pois apesar de ser objeto de normalização pelas mais importantes entidades, com destaque para a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), CEN (*European Committee for Standardization*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*), é notável a ausência de uniformidade e consenso, como assinalado na Tabela 1 (ABNT, 2013; BSI, 2002; ASTM, 2012).

Tabela 1- Comparação das principais definições ligadas às rochas ornamentais. Elaboração da autora.

ABNT	ASTM	CEN
Rocha ornamental		
material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária	termo correspondente a <i>monumental stone</i> : rocha de qualidade adequada para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual existe na natureza e ser usada pela indústria de monumentos e memorial	não define
Rocha para revestimento		
rocha ornamental submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento e utilizada no revestimento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas	termo correspondente a <i>building stone</i> : rocha natural, com qualidades necessárias para ser lavrada e cortada como rocha dimensionada, tal qual existe na natureza e ser usada na construção civil	termo também corresponde a <i>building stone</i> : rocha natural usada em construções e em monumentos
Rocha dimensionada		
não define	Termo correspondente a <i>dimension stone</i> : rocha natural que foi selecionada e beneficiada em tamanho e formas específicos	termo usado como sinônimo de bloco bruto (<i>rough block</i>)

O CEN congrega os comitês de normalização, mas não publica as normas por eles elaboradas. Na tabela 1, acima, foi adotada a norma publicada pela BSI (*British Standards Institution*): BS EN 12670/2002: *Natural stone: terminology*.

A ABNT (2013) inclui no termo "cantaria" toda pedra aparelhada ou afeiçãoada, destinada a revestir edificações ou servir de elementos decorativos ou funcionais, com geometria e acabamento preestabelecido por um projeto.

A preocupação de esclarecer a nomenclatura desses materiais e também de torná-la mais aplicável à realidade brasileira levou Frascá (2010) a propor algumas definições, conforme relatado a seguir.

Sob a designação "rochas ornamentais" se incluíam todos os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética para utilização em trabalhos artísticos, como estatuária (Fig. 2), como elemento decorativo (tampos, balcões e outros) e como materiais para construção.



Figura 2 - Escultura em mármore Carrara – Tensão (Bruno Giorgi, 1970) – exposta nos jardins da FAAP (Faculdade Armando Álvares Penteado), em São Paulo, SP. Foto: M.H.B.O. Frascá.

O revestimento de edificações, seja em pisos, paredes ou fachadas, é a principal aplicação das rochas ornamentais na construção civil, para a qual são especificamente designadas de rochas para revestimento. Compreendem os produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos, seu subsequente desdobramento em chapas, processamento e corte em placas e ladrilhos.

Referindo-se às rochas que também são usualmente utilizadas em revestimentos de interiores, geralmente exibindo estruturação muito heterogênea, baixas resistências mecânicas e produção limitada, Frascá (2010) indicou a denominação "rochas decorativas", que abrange parte das rochas comercialmente designadas de "exóticas" e que tipicamente apresentam aspecto estético diferenciado (Fig. 3) e ocorrência geológica relativamente rara, seja de natureza ígnea, metamórfica ou sedimentar.



Figura 3 - Aspecto estético de rochas genericamente designadas "exóticas". Foto: M.H.B.O. Frascá.

1.2. Nomenclatura comercial

A designação comercial de rochas ornamentais não é objeto de regulação ou normalização. A fim de se estabelecer uma organização mínima, tradicionalmente orientava-se ao produtor designar seu material utilizando-se da cor, seguida pela localidade em que a rocha ocorria, como, por exemplo: Vermelho Capão Bonito, Branco Ceará, Branco Paraná, entre outras.

Com a enorme diversidade de tipos atualmente existentes no mercado, essa orientação tornou-se desatualizada; todavia é importante registrar que, apesar da preocupação em se criarem nomes exclusivos para cada tipo ou variedade de rocha existente, não é incomum encontrarem-se no mercado rochas diferentes com a mesma designação, nem rochas iguais com designações diferentes.

No contexto comercial, os diversos tipos de rochas e a grande variedade existente em cada um (como será abordado mais adiante), são, resumidamente, agrupadas em duas grandes categorias, mesmo que muitas vezes confundidas entre si:

- "Granitos": designação que engloba as rochas silicáticas (ígneas e metamórficas) independentemente da cor e da correta tipificação.

- “Mármore”: comercialmente abrangendo qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar (calcários) ou metamórfica (mármore propriamente ditos), passível de polimento.

Com a evolução do uso e das variedades de materiais pétreos e das tecnologias associadas, essas designações se ampliaram e agora também englobam “quartzitos”, “arenitos”, “calcários”, “travertinos” e “ardósias”, cada qual, como será visto, objeto de normalização e especificação próprias.

Muitos autores, como Mello *et al.* (2011) subdividem as rochas ornamentais em silicáticas (que abrangem os granitos, gnaisses e similares), silicosas (quartzitos, cherts e outros), carbonáticas (mármore, travertinos e calcários), ultramáficas (serpentinóis e pedra-sabão) e síltico-argilosas foliadas (ardósias), sendo que esta última poderia também se encaixar no grupo das silicáticas.

As “rochas exóticas”, já mencionadas, incluem representantes de todos os grupos rochosos.

1.3. Usos

Nos países europeus, as rochas têm longa história de uso e foram e ainda são muito empregadas como elementos estruturais em edificações, ou seja, constituem a alvenaria da construção (residências com um ou dois pavimentos) compondo paredes. Nesses casos, além das funções de revestimento, desempenham importante função de sustentação (ou *loading-bearing*), resistindo a cargas compressivas (Fig. 4).



Figura 4 - Residências europeias construídas com alvenaria de pedra (granito) e com telhados revestidos de ardósias. Foto: M.H.B.O. Frascá.

No Brasil, as técnicas construtivas trazidas pelos colonizadores não empregavam a rocha entre os principais materiais de construção, de forma que o país não desenvolveu fortemente a denominada “cultura da rocha”.

Costa (2009), em um dos raros livros nacionais sobre o patrimônio em rochas: “Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas”, menciona que a utilização da pedra nas construções no Brasil remonta à primeira metade do século XVI. Complementa informando que “para a Capitania de Minas, as construções edificadas inteiramente em pedra são muito raras. Normalmente, estas construções dispensavam o uso de argamassa, ocorrendo uma justaposição de pedras maiores e menores”.

Nessa técnica construtiva, outrora bastante empregada em todo o país, a rocha é usada na sua forma natural, principalmente na construção de pontes e muros de arrimo (Fig. 5). Esse trabalho era realizado por artífices, com o uso de técnicas artesanais, das quais, infelizmente, praticamente inexistem registros.



Figura 5 - Muro construído com pedras irregulares, hoje ligadas com argamassa. Foto: M.H.B.O. Frascá.

Como exemplo de rochas utilizadas na época colonial, Costa (*op.cit.*) cita o uso do Lioz, um calcário esbranquiçado encontrado nas proximidades de Lisboa (Pero Pinheiro e arredores), que nos séculos XVII, XVIII e XIX foi transportado para o Brasil como lastro em navios portugueses ou como atendimento a encomendas diversas de particulares, ordens religiosas e outros. Deixado nos cais de vários portos, como Belém, Recife, Salvador e Rio de Janeiro, era utilizado nos revestimentos de

passeios e na construção ou embelezamento de seus monumentos. Cita-se, para eventual aprofundamento, o belo relato de Silva (2007) sobre o uso do Lioz na arte baiana.

UNITAR (1988) aponta os fortes e muralhas de proteção como os primeiros trabalhos arquitetônicos no Brasil, que totalizariam cerca de 200, espalhados por todo território nacional e construídos a partir de 1553. Durante o período colonial, a rocha passaria a ser empregada como material de construção especialmente nas cidades mineiras como Ouro Preto, Tiradentes, Mariana e São João Del Rey, além de São Luiz (MA) e Olinda (PE).

O uso da pedra-sabão (esteatito) tanto em construções como na arte escultórica religiosa, especialmente em Minas Gerais, foi extensivo. Nessa época, a pedra também foi bastante empregada em pavimentação, nessas mesmas cidades, sendo digna de nota aquela da cidade de Parati (RJ).

Outra aplicação muito relevante até os tempos atuais é em arte funerária, tanto na cobertura de túmulos como na estatuária.

Frequentemente, a rocha era utilizada em fundações de edifícios ou na sua parte mais próxima ao solo (Fig. 6), a partir de onde se passava ao uso de alvenarias cerâmicas e outros.



Figura 6 - Base em alvenaria de pedra talhada, com acabamento apicoado. Castelo Mourisco, Rio de Janeiro (RJ). Foto: M.H.B.O. Frasca.

Nas últimas décadas, concomitantemente ao declínio do uso da rocha nessas aplicações é crescente seu emprego como placas ou ladrilhos, destacadamente no revestimento de pisos e paredes de interiores e exteriores, e de fachadas (Figura 7), nos quais exerce funções estéticas e de proteção das estruturas, o que é estimulado pela enorme diversidade de rochas graníticas (mais de 250 tipos diferentes) e pelo desempenho do setor no contexto internacional.



(a) Edifício com fachada inteiramente revestida com placas de rocha polida.



(b) Fachada revestida com arenito.



(c) Pilares revestidos com placas de ladrilhos polidos de rocha granítica.



(d) Opera House, em Oslo (Noruega), revestida com mármore "Carrara".

Figura 7 - Exemplos de aplicação de rochas no revestimento de edificações. Fotos: M.H.B.O. Frascá.

As rochas também são bastante consumidas na forma de peças acabadas e semiacabadas, ou seja, como tampos de mesas e de bancadas de cozinhas ou de lavatórios (Fig. 8), além da continuidade do expressivo emprego em arte funerária.



Figura 8 - Exemplo de aplicação da rocha em peças de lavatório (tampo e cubas). Foto: M.H.B.O. Fracá.



Figura 9 - Exemplo de aplicação da rocha na pavimentação de rua e passeio público. Foto: M.H.B.O. Fracá.

Outro uso extensivo da rocha é na pavimentação de calçadas (Fig. 9), ruas e sarjetas, onde é geralmente empregada em seu estado natural, sem processamento, na forma de paralelepípedos e lajotas; produtos que são objeto de normativa específica da CEN (BSI 2001 a, b).

O principal uso das rochas, em escala mundial, segundo Montani (dados de 2010, publicados na edição de 2011), é no revestimento de pisos (35%). São relativamente menos utilizadas no revestimento de paredes (interiores) – 10% – e de fachadas (exteriores) – 8%. Destinam-se a trabalhos especiais (tampos de banheiros e cozinhas, bancadas etc.) 18% das rochas ornamentais. Arte funerária e usos estruturais, pouco expressivos no Brasil, respondem por aproximadamente 26% do consumo mundial. O consumo interno brasileiro é da ordem de 69,7 milhões de metros quadrados, referidos a chapas com dois centímetros de espessura (ver capítulo 10).

1.4. As rochas nos diferentes usos e ambientes

O crescimento da exportação de rochas ornamentais e do consumo nacional da rocha no revestimento de edificações ensejou, ao longo das últimas décadas, a modernização de todo setor produtivo e a concomitante demanda por geólogos, arquitetos e engenheiros familiarizados com as características tecnológicas dos diferentes materiais pétreos e capacitados para atuar em todas as etapas de produção e na orientação da escolha da rocha mais adequada ao uso pretendido.

No entanto, a seleção e especificação da rocha continuam sendo aspectos decisivos, por envolver a integração entre o padrão estético desejado – sem dúvida, o principal critério para escolha e valorização de uma rocha ornamental e caracteristicamente inter-relacionado com a moda – com os requisitos da função a exercer no revestimento de edificações. Ou seja, a seleção implica em integrar beleza e funcionalidade.

Projetos arquitetônicos elaborados sem o correto conhecimento dos materiais rochosos selecionados e, em especial, de suas propriedades, costumam, com relativa frequência, resultar em deteriorações ou patologias diversas devido ao emprego das rochas em ambientes inadequados, a práticas construtivas impróprias, à associação de materiais incompatíveis e muitos outros (ASTM, 2009), que geralmente causam prejuízos financeiros e emocionais.

O padrão estético – como a seguir enfatizado – é, no entanto, inerente à natureza e evolução geológica da rocha, representando as inúmeras e diversificadas feições daí derivadas tais como, composição mineralógica, granulção, intensidade e tipo de alteração mineral, presença de tensões confinadas, heterogeneidade estrutural e textural etc. Este conjunto de feições constitui as características intrínsecas, que irão se manifestar nas propriedades petrográficas, físicas e mecânicas da rocha, ou seja, nas propriedades tecnológicas, que por sua vez serão os fatores condicionantes para os diferentes e mais adequados usos e conseqüentemente na durabilidade almejada.

Por essa razão é obrigatória a incorporação das propriedades tecnológicas e das técnicas de construtivas (fixação, assentamento e outros) na seleção da rocha, como esquematizado na Figura 10.

As propriedades tecnológicas são determinadas por meio de ensaios e análises laboratoriais, conforme será abordado neste capítulo.

A depender do uso pretendido, as rochas estarão submetidas a diferentes solicitações, denominadas fatores extrínsecos, que compreendem os agentes atmosféricos, os poluentes, o desgaste abrasivo e choques, os produtos de limpeza, e as ações antrópicas, como pichações e outros, que atuarão na durabilidade da rocha na situação escolhida, assunto a ser detalhado no fim deste capítulo.

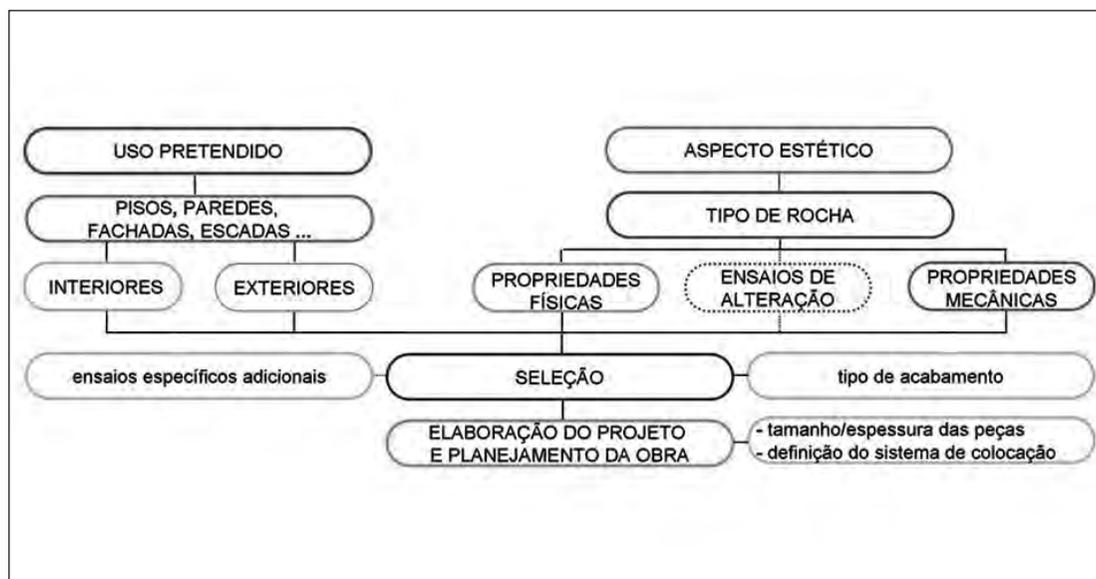


Figura 10 - Roteiro para escolha e seleção de rochas para revestimento. Modificado de Frasca, 2010.

2. Rochas: tipos e características

Rochas são corpos sólidos naturais resultantes de um processo geológico determinado, formadas pelo agregado de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação, cujas características permitem a separação em três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, cada qual com propriedades peculiares, que as tornam mais ou menos adequadas para o uso na construção civil.

2.1. Minerais

Mineral é uma substância sólida natural, inorgânica e homogênea, que possui composição química definida e estrutura atômica característica. Forma-se, na natureza, pela cristalização a partir de líquidos magmáticos ou soluções termais, pela recristalização em estado sólido ou, ainda, constitui produto de reações químicas entre sólidos e líquidos.

A cristalização se processa quando os átomos, íons ou grupos iônicos, em proporções definidas, são atraídos por forças eletrostáticas e distribuídos ordenadamente no espaço.

A classificação dos minerais é feita com base no ânion ou grupo aniônico dominante em sua fórmula química. Simplificadamente, são agrupados em silicatos e não silicatos.

Os silicatos são os principais constituintes de rochas ígneas e vão se formando à medida que a temperatura atinge seus pontos de cristalização. N. L. Bowen, um petrólogo americano, com base em estudos petrográficos e petrológicos, estabeleceu que os silicatos ricos em Mg e Fe constituem uma série de tipos de minerais relacionados entre si por reações descontínuas (Fig. 11), enquanto os plagioclásios representam uma série de reação contínua na qual aqueles ricos em anortita (variedade rica em Ca) se cristalizam primeiro, e os ricos em albita (variedade rica em Na), por último (KLEIN; HULBURT, 1999).

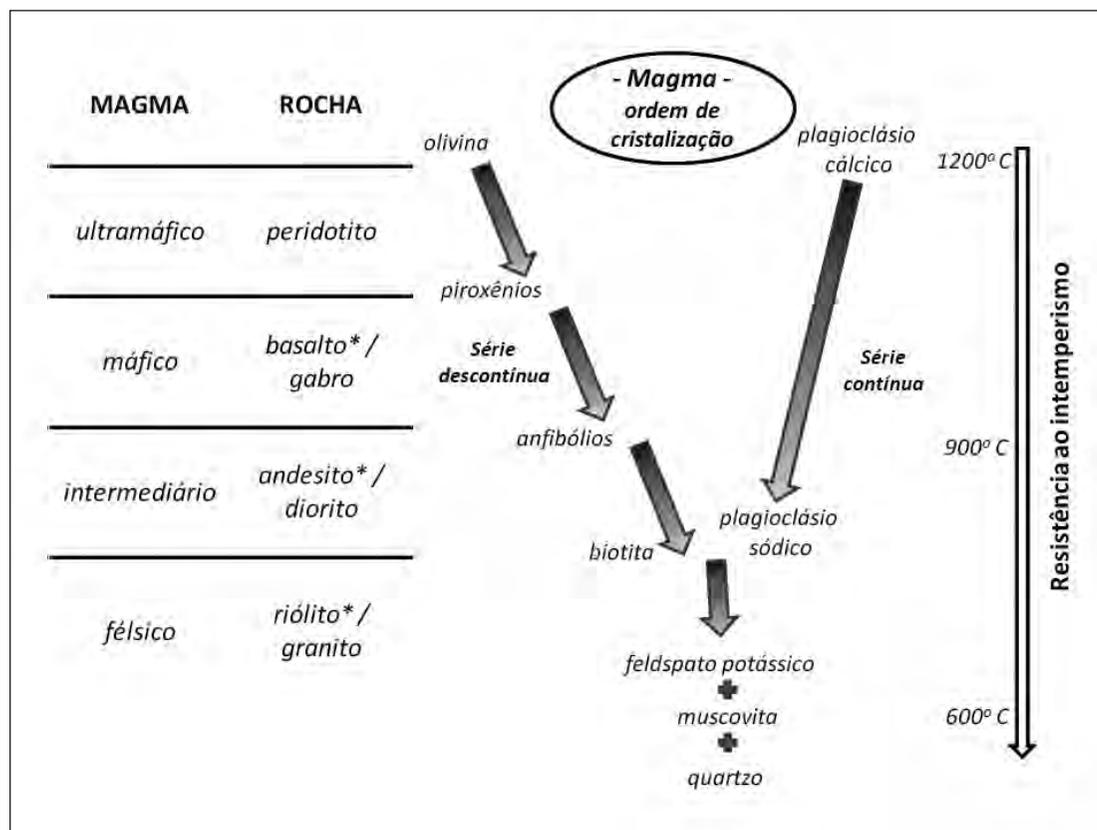


Figura 11 - Série de reação de Bowen, ilustrando os grupos de minerais de cristalização contínua e descontínua, a ordem de grandeza das temperaturas envolvidas e os tipos de magmas e respectivos grupos de rocha (plutônicas e vulcânicas, com asterisco), relacionados. Fonte: Elaboração da autora.

É interessante notar que a resistência ao intemperismo¹ é inversamente relacionada à ordem de cristalização, ou seja, ao serem expostos às condições atmosféricas, os minerais que se cristalizaram em temperaturas mais altas tendem a se alterar mais prontamente que aqueles cristalizaram mais tardiamente.

Genericamente, os silicatos (Tabela 2) constituem dois grupos:

- Máficos: compostos por silicatos de ferro e magnésio. Ex. olivina, piroxênios, anfibólios (hornblenda) e mica (biotita).
- Félsicos: compostos por silicatos de alumínio, sódio, cálcio e potássio. Ex. feldspatos cálcicos e sódicos (plagioclásios), feldspatos alcalinos, quartzo e mica (muscovita).

Os minerais não silicáticos (Tabela 3) constituem os grupos dos elementos nativos, sulfetos, óxidos e hidróxidos, carbonatos, halóides e sulfatos.

¹ Intemperismo: a desintegração física e decomposição química de rochas que produz um manto residual in situ e prepara sedimentos para o transporte. A maioria dos processos intempéricos ocorre em condições superficiais, mas também podem ocorrer em certas profundidades, no caso de rochas muito fraturadas, nas quais as condições permitam a penetração de oxigênio atmosférico e circulação de água.

Tabela 2 - Exemplos de minerais silicáticos primários.

Classe (grupos)	Mineral	Fórmula química	Minerais de alteração(*)
Nesosilicatos	Olivina	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	serpentina, óxidos de ferro
	Granada	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	clorita, hidróxidos de ferro
Inossilicatos (piroxênios)	Augita	$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$	clorita, serpentina, talco, óxidos de ferro
	Aegirina	$NaFe^{3+}(Si_2O_6)$	
	Diopsídio	$MgCaSi_2O_6$	
	Hiperstênio	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$	
Inossilicatos (anfíbólios)	Hornblenda	$(Na,Ca)_2(Mg,Fe)_5Si_7AlO_{22}(OH)_2$	clorita, argilominerais carbonatos, hidróxidos de ferro
	Riebeckita	$Na_2Fe^{2+}_3Fe_3+2Si_8O_{22}(OH)_2$	
Tectossilicatos	Feldspato potássico	$KAlSi_3O_8$	sericita, caulinita, carbonato
	Plagioclásio	$(Na,Ca)(Al,Si)AlSi_2O_8$	sericita, caulinita, carbonato \pm epidoto
	Quartzo	SiO_2	-
Tectossilicatos (feldspatoides)	Nefelina	$KNa_3(SiAlO_4)_4$	albita, zeólitas, caulinita, analcima
	Leucita	$KAlSi_2O_6$	
	Sodalita	$Na_4Al_3Si_3O_{12}Cl$	
Tectossilicatos (zeólitas)	Analcita	$NaSi_2AlO_6 \cdot H_2O$	produto de alteração da nefelina
Filossilicatos (micas)	Muscovita	$K_2Al_4Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$	caulinita, gibbsita
	Biotita	$K_2(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$	clorita, vermiculita
	Flogopita	$K(Mg,Fe)_3Si_3AlO_{10}(F,OH)_2$	Illita, vermiculita

Nota: (*) Minerais de alteração: principais minerais resultantes da alteração intempérica do mineral primário citado.

Tabela 3 - Exemplos de minerais não silicáticos comuns.

Classe	Mineral	Fórmula química
Elementos nativos	Grafita	C
Sulfetos	Pirita	FeS_2
Óxidos	Magnetita	Fe_3O_4
	Hematita	Fe_2O_3
	Ilmenita	$FeTiO_3$
Carbonatos	Calcita	$CaCO_3$
	Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$
Haloides	Halita	NaCl
Sulfatos	Gipso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Hidróxidos	Goethita	$\alpha FeO(OH)$
	Limonita	$FeO.OH.nH_2O$
	Gibbsita	$Al(OH)_3$

Minerais secundários ou de alteração

Os minerais podem se alterar, ou seja, mudar de composição química e estrutura cristalina, pela interação com líquidos magmáticos tardios (geralmente ricos em voláteis), por processos designados de hidrotermais; ou pela exposição às condições atmosféricas da superfície terrestre, pela ação do intemperismo as quais levam à geração dos minerais de alteração ou secundários. Alguns filossilicatos e os argilominerais (Tabela 4) são resultantes deste processo.

Tabela 4 - Exemplos de minerais silicáticos usualmente secundários.

Classe (Grupos)	Mineral	Fórmula Química
Filossilicatos	Clorita	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
	Serpentina	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
	Talco	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Filossilicatos (argilominerais)	Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
	(*)Montmorilonita ou Esmectita	$(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Illita	$(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{H}_2\text{O,OH})_2$
	Vermiculita	$\text{Mg}_{0,7}(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Nota: (*) Argilominerais do grupo da montmorilonita, também designados de esmectitas, são expansivos na presença de água, aspecto que frequentemente leva à desagregação física das rochas que os contêm.

O termo argila refere-se a material natural composto primariamente por minerais de granulação muito fina, geralmente plásticos, quando o conteúdo em água é apropriado e que endurecem quando secos ou queimados. Por meio de técnicas de raios X, tem sido mostrado que as argilas constituem um grupo de substâncias cristalinas conhecidas como argilominerais, que são essencialmente silicatos hidratados de alumínio, em camadas.

Em condições intempéricas, os aluminossilicatos e em especial os feldspatos, podem se decompor em outros minerais por dois principais mecanismos:

- Lixiviação dos elementos solúveis (sais de K, Na, Ca, Mg, Fe^{2+}) que podem migrar por distâncias consideráveis e, em condições favoráveis, precipitar na forma de minerais salinos ou outros minerais não silicáticos.
- Acumulação (concentração *in situ*) dos elementos pouco solúveis (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2), que constituirão as crostas de alteração (laterita) ou depósitos de rochas residuais (bauxita).

2.2. Tipos de rochas

A formação dos diferentes grupos de rochas mencionados (ígneas, sedimentares e metamórficas) é inter-relacionada configurando um caráter cíclico (Fig. 12) e dinâmico.

1. Rochas ígneas e metamórficas ao serem expostas às condições físico-químicas da superfície terrestre são submetidas a processos intempéricos que podem resultar na desintegração física e/ou na decomposição química, originando os sedimentos.

2. O acúmulo de sedimentos depositados em uma bacia sedimentar possibilita que aqueles mais profundos, em condições adequadas, sejam litificados, ou seja, transformados em rochas sedimentares.
 3. Com o aprofundamento na crosta ou atuação de processos tectônicos, ocorre o metamorfismo, que transforma as rochas sedimentares e outras (ígneas, ou mesmo as metamórficas preexistentes) em rochas metamórficas.
 4. Em condições metamórficas intensas, pode haver a fusão do material (anatexia) que, sob condições específicas, torna a se solidificar, formando as rochas ígneas. Sua nova exposição à superfície terrestre completa o ciclo.
- Rochas constituem um importante, extenso e fascinante tema nas Geociências, de modo que

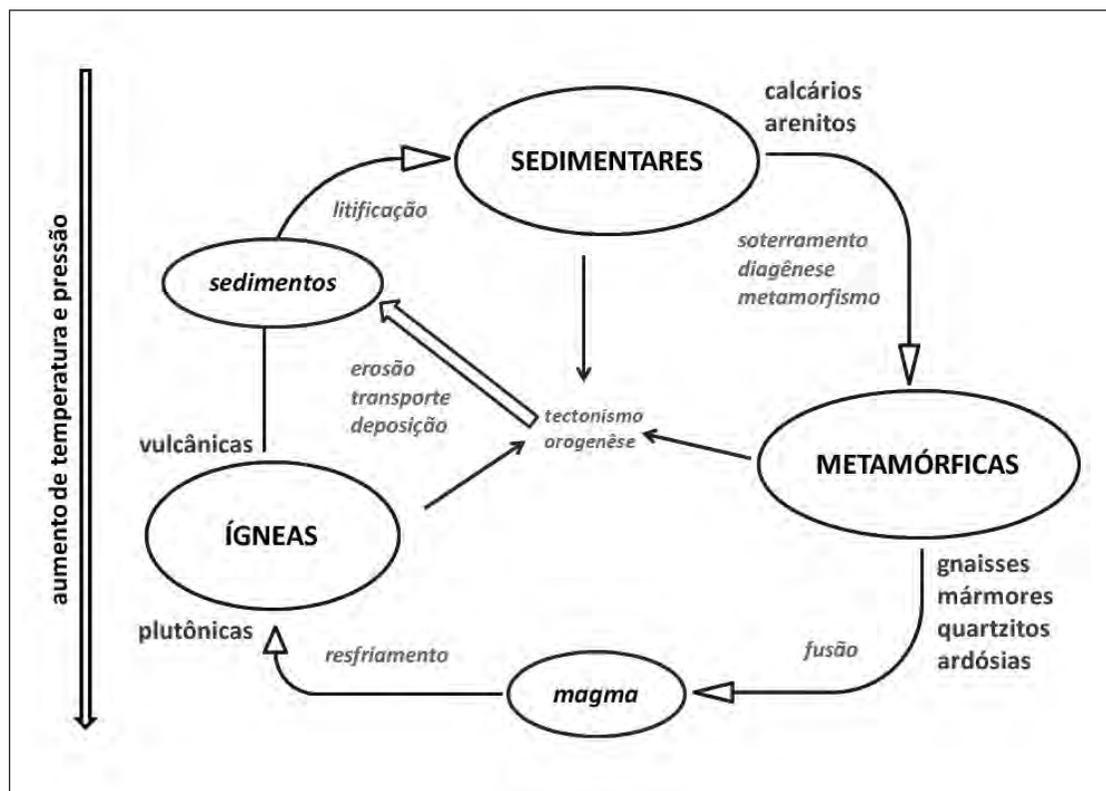


Figura 12 - Ciclo das rochas. Elaboração da autora.

ressaltamos que não se constitui escopo deste capítulo quaisquer detalhamentos sobre o assunto, mas sim uma abordagem sucinta sobre os principais tópicos de interesse relativamente às rochas ornamentais e para revestimento.

Como evidência de tal riqueza e extensão, está anexado (Anexo 1) texto inédito de Ronaldo Simões Lopes de Azambuja (*In memoriam*) datado de 2003, que aborda, sob ótica diversa e mais detalhadamente, os mecanismos de formação dos diferentes grupos de rochas e as classificações e características mais importantes dos diferentes tipos de rocha que constituem a crosta terrestre.

Rochas ígneas

As rochas ígneas ou magmáticas são aquelas que resultam da solidificação de material rochoso parcial a totalmente fundido (magma), gerado no interior da crosta terrestre. Distinguem-se dois tipos, conforme o local de formação:

- Plutônicas ou intrusivas: formadas em profundidade e resultantes de lentos processos de resfriamento e solidificação do magma, constituindo material cristalino geralmente de granulção grossa (Fig. 13). Ex.: granitos, gabros, sienitos, dioritos e outros.



Figura 13 - Lavra de granito ornamental em Capão Bonito (SP). Foto: M.H.B.O. Frascá.

- Vulcânicas ou extrusivas: formadas na superfície terrestre, ou nas suas proximidades, pelo extravasamento, explosivo ou não, de lava (material ígneo que alcança a superfície da Terra) por orifícios vulcânicos (Fig. 14). O rápido resfriamento, devido ao qual geralmente não há tempo suficiente para os minerais se formarem, resulta em material vítreo ou cristalino de granulção fina. Ex.: riólitos, basaltos e outros.

As rochas ígneas são compostas essencialmente de minerais silicáticos: feldspatos, quartzo, piroxênios, anfibólios e/ou feldspatoides. Os minerais característicos de cada variedade são denominados essenciais, e aqueles que ocorrem em quantidades menores e cuja presença não é determinante são os acessórios (ex.: zircão, titanita, apatita, ilmenita, magnetita, rutilo e outros). A classificação petrográfica (científica) é feita de acordo com o conteúdo e proporções relativas desses minerais (Tabela 5).



Figura 14 - Cratera do *White Island Volcano* (Nova Zelândia). Foto: M.H.B.O. Frasca

Dentre as rochas ígneas, dada a sua aparência, abundância e boas características físicas e mecânicas, que favorecem o emprego em obras civis, os granitos *sensu stricto* são as mais apreciadas para uso como rocha ornamental e para revestimento, especialmente pela grande variedade de cores, definidas pelo tipo de feldspato existente e impurezas neles presentes.

Outras rochas ígneas bastante utilizadas, mas que não constituem granitos propriamente ditos são:

- Gabros e dioritos, comercialmente designados de "granitos pretos": são rochas relativamente mais ricas em minerais máficos (anfibólios, piroxênios, biotita) e opacos (óxidos e sulfetos), responsáveis pela cor escura. O "Preto Absoluto", "Preto Piracaia", "Preto São Gabriel" entre outros, são exemplos destes tipos de rochas ígneas.
- Charnockitos: constituem um grupo especial de rochas plutônicas, com aspectos macroscópicos, microscópicos e mineralógicos muito semelhantes aos das rochas graníticas (*sensu lato*), mas que caracteristicamente contêm o mineral hiperstênio e apresentam tipicamente cor verde-escura. Entre os tipos comerciais mais conhecidos citam-se "Verde Labrador", "Verde Pavão" explorados no Estado do Espírito Santo.
- Pegmatitos: são rochas cristalizadas a partir do magma residual, que se caracterizam pela granulção grossa a muito grossa – com a maioria dos cristais exibindo mais de um centímetro de diâmetro – e estrutura muito heterogênea, e que comumente ocorrem na forma de diques ou veios preenchendo fraturas nas bordas e interior de maciços graníticos. As cores em geral são claras; branco ou bege, com tonalidades verde, amarela e rosa, dentre outras. Embora possam apresentar composições mineralógicas semelhantes a quaisquer corpos rochosos, em geral são similares à dos granitos e podem incluir minerais raros ricos em elementos como lítio, boro, flúor, nióbio, tântalo, urânio e terras raras. Constituem grande parte das rochas exóticas hoje presentes no mercado, citando-se, como exemplo os Delicatus e Golden Himalaya.

Tabela 5 - Classificação simplificada das rochas ígneas (KLEIN; HULBURT, Jr. 1999).

Feldspato	Quartzo > 5%		Sem quartzo ou feldspatoide		Nefelina ou leucita > 5%	
	Plutônica	Vulcânica	Plutônica	Vulcânica	Plutônica	Vulcânica
K-feldspato > Plagioclásio	granito	riólito	sienito	traquito	nefelina sienito / leucita sienito	fonólito / leucita fonólito
Plagioclásio > K-feldspato	granodiorito	dacito	monzonito	latito	nefelina monzonito	-
Plagioclásio (oligoclásio ou andesina)	tonalito	quartzo andesito	monzodiorito	latito basalto	nefelina diorito	tefrito (< olivina) basanita (> olivina)
Plagioclásio (labradorita ou anortita)	quartzo diorito	andesito	gabro	basalto	ijolito	nefelinito (< olivina) nefelina basalto (> olivina)
Sem feldspato	-	-	peridotito (olivina dominante) piroxenito (piroxênio dominante) hornblendito (hornblenda dominante)	-	-	-

Rochas sedimentares

As rochas sedimentares são aquelas formadas por meio da erosão, transporte (fluvial, marítimo ou eólico) e deposição de sedimentos (clastos ou detritos) derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre – rochas detríticas ou terrígenas; da precipitação química – rochas ortoquímicas; ou do acúmulo de fragmentos biogênicos ou bioquímicos – rochas aloquímicas (Tabela 6).

Tabela 6 - principais categorias de rochas sedimentares (Klein; Hulburt, Jr. 1999).

Rochas terrígenas (textura clástica)	Rochas alquímicas (bioquímicas/ biogênicas com textura clástica)	Rochas ortoquímicas
Conglomerados, brechas, arenitos e argilitos	Calcários, dolomitos, fosforitos, chert e carvão	Evaporitos, chert, travertinos e formações ferríferas
Arenitos e aglomerados vulcanoclásticos		

As rochas detríticas ou terrígenas são classificadas com base no tamanho dos grãos (clastos) (Tabela 7) que as compõem.

Tabela 7 - Classificação das rochas detríticas.

Classificação	Grãos / Componentes			Observações
	Tamanho	Quantidade	Tipo	
Ruditos ou psefitos	> 2 mm (geralmente centimétricos até métricos)	> 25%	geralmente fragmentos de rocha	forma dos fragmentos: arredondada = conglomerado; angulosa = brecha
Arenitos ou psamitos	milimétrico a 0,06 mm	> 50%	quartzo	> 25% de feldspatos = arcóseos
Lutitos ou pelitos	0,06 mm a 0,004 mm / (< 0,004 mm)	-	argilominerais (principalmente illita e caulinita) e quartzo	grupo mais abundante de rochas sedimentares (também designados siltitos e argilitos)

A transformação dos sedimentos em uma rocha sólida e coerente ocorre por meio da litificação, que consiste em um conjunto de processos, como cimentação, compactação e cristalização, geralmente associados à diagênese².

A cimentação é a cristalização de material inorgânico carregado pela água, que percola os vazios entre os grãos (poros), preenchendo-os e imprimindo coesão ao material. Calcita, hidróxidos de ferro (limonita), sílica (em diversas formas: quartzo, calcedônia etc.) e sais (gipso, halita, carbonatos) são os cimentos mais comuns.

As rochas pelíticas podem apresentar uma importante propriedade, denominada fissilidade, que permite a separação de placas segundo planos paralelos finamente espaçados, tais como o acamamento, e está relacionada à orientação dos minerais filossilicáticos. De acordo com a predominância de silte ou argila e o grau de fissilidade da rocha, recebem as designações siltito, argilito e folhelhos.

As principais rochas sedimentares aloquímicas usadas em revestimentos são os calcários e os dolomitos, rochas carbonáticas compostas por mais de 50% (geralmente entre 80% a 100%), de calcita ou dolomita, respectivamente.

¹ Diagênese compreende todas as mudanças químicas, físicas e biológicas em um sedimento após sua deposição inicial, e durante e após a litificação, excluindo-se o intemperismo e metamorfismo. Inclui os processos que ocorrem em condições de pressão de até 1 kb e de temperatura entre 100°C e 300°C, tais como compactação, sedimentação retrabalhamento, autigênese, substituição, cristalização, lixiviação, hidratação, ação bacteriana e formação de concreções (NEUENDORF *et al.* 2011).

- Calcários são formados predominantemente em ambientes marinhos, de águas rasas e, menos comumente, por fragmentos ou grãos carbonáticos mecanicamente transportados e depositados, geralmente na própria bacia de sedimentação. Ex. “Pedra Cariri”.
- Dolomitos, geralmente de cor cinza-claro e granulação fina, aparentemente são gerados a partir de calcários.

Os travertinos constituem uma variedade de rocha calcária, de cor bege, formada pela precipitação química a partir de águas superficiais ou subsuperficiais ao redor de fontes, especialmente termais. Difere dos calcários pela estrutura laminada e presença de cavidades irregulares, com até vários centímetros. Uma rocha bastante utilizada e conhecida internacionalmente é o “Travertino Romano”. No Brasil, é muito utilizada em revestimentos rocha calcária de cor bege que ocorre na região de Ourolândia (BA), geologicamente um calcrete ou caliche (RIBEIRO *et al.* 2002) e explorada e comercializada como “Travertino Bege Bahia” (Fig. 15).



Figura 15 - Aspecto de frente de lavra de “Bege Bahia”, em Ourolândia (BA). Foto: M.H.B.O. Frascá.

Rochas metamórficas

Rochas metamórficas são derivadas de outras preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, passaram por mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações nas condições físicas e químicas existentes em profundidades superiores àquelas da diagênese.

A composição da rocha resultante de um processo metamórfico depende essencialmente da sua composição original, das condições de temperatura e pressão e da presença e atuação de fluidos. Pode ocorrer desde a recristalização, que implica unicamente no aumento de tamanho e/ou a modificação na forma externa dos minerais formadores, até reações metamórficas, com o aparecimento de novos minerais em equilíbrio estável com as condições reinantes.

Ao atingirem determinados valores de temperatura e pressão e na presença de água, as rochas podem se fundir (processo de anatexia), gerando material magmático, possibilitando a geração de novas rochas, em geral compostas de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, com granada, muscovita e silicatos de alumínio (sillimanita, principalmente).

As principais rochas ornamentais metamórficas usadas em revestimento são:

- Gnaisses: rochas usualmente quartzo-feldspáticas, de granulação média a grossa e com moderada a forte direção planar fornecida pela isorientação de minerais placoides (micas) ou de hábito prismático (feldspatos, anfibólios, piroxênios), denominada estrutura ou foliação gnáissica.

Podem ser derivadas da deformação de rochas graníticas, ou da total reorganização mineralógica e textural de rochas sedimentares. Constituem, juntamente com os mármore, as rochas metamórficas mais utilizadas em revestimento e, de modo semelhante aos granitos, exibem grande variedade de cores, mas diferenciam-se daqueles pela diversidade de padronagens propiciadas pela orientação estrutural.

Os gnaisses brancos e amarelos, comercializados com a designação “granitos amarelos” (Fig. 16), que constituem um dos tipos mais valorizados e importantes para o setor brasileiro de rochas ornamentais, devem sua característica coloração amarelo-ferruginosa à ação intempérica, em graus variados, que promove a oxidação do ferro presente em minerais e a modificação da cor original da rocha, usualmente clara. Geologicamente, pelo geral, trata-se de rochas de composição granítica que tipicamente contém granada e silicatos de alumínio (sillimanita), comumente apresentam abundante microfissuramento dos minerais, o que pode afetar a resistência mecânica e a porosidade da rocha.



Figura 16 - Mina de gnaiss, comercialmente conhecidos como “granitos amarelos”. Foto: M.H.B.O. Frască

- Mármore: são rochas derivadas de calcários e/ou dolomitos e contêm mais de 50% de calcita e/ou dolomita. Os mármore “Branco Espírito Santo”, “Branco Pighes”, “Branco Thassos” são compostos de dolomita, praticamente sem a presença de outros minerais. O mármore “Carrara”, explorado na cidade de mesmo nome, na Itália, é muito apreciado pelos arquitetos e consumidores brasileiros. Trata-se de calcita mármore de cor branca, com vênulas irregulares e heterogeneamente dispostas, nas quais é comum a presença de sulfetos de ferro (pirita).
- Quartzitos: rochas compostas essencialmente de quartzo, produtos da recristalização de sedimentos silicosos: quartzo arenitos ou *cherts*. Comumente, têm cor branca, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos: “Azul Macaúbas”). A riqueza em quartzo lhes confere uma dureza alta, o que provoca grande desgaste nos equipamentos de corte e polimento. Também são resistentes à alteração, tanto intempérica como hidrotermal.
- Quartzitos foliados (*flagstone*): devido à presença de minerais micáceos dispostos orientadamente, e com cores amareladas a esverdeadas são abundantes e muito explorados em alguns estados brasileiros, constituindo a rocha quartzosa mais comum em revestimento, popularmente conhecida como “pedra mineira”, “pedra São Tomé” (Fig. 17), “pedra Goiás” e outros.



Figura 17 - Placas de quartzito foliado, artesanalmente produzidas, na própria lavra (São Tomé das Letras, MG).
Foto: M.H.B.O. Frascá.

- Milonitos: são rochas que exibem estruturação (foliação ou lineação) muito bem definida, nos mais variados graus de intensidade. Citam-se como exemplo, no Brasil, a pedra Miracema ou Paduana, de cor predominantemente cinza, e a Pedra Madeira, uma variação com cores rosa ou amarela, em decorrência da alteração por intemperismo.

- Migmatitos (do grego: rocha misturada): são rochas gnáissicas, com granulação média a grossa e que caracteristicamente apresentam composição e estrutura heterogêneas (migmatíticas), que se constituem em intercalações irregulares de porções ora de cor clara (leucocráticas) e de composição quartzo-feldspática; ora de cor escura (melanocrática), geralmente foliadas e compostas de minerais máficos. É comum serem referidas, comercialmente, como “rochas movimentadas”.
- Ardósias, filitos e xistos: caracterizam-se pela riqueza em minerais micáceos e pela xistosidade bem desenvolvida. A ardósia é o tipo mais usado em revestimentos de telhados em países de clima frio; apresenta granulação muito fina e é composta por micas, clorita e quartzo. É originada pelo metamorfismo de folhelhos, com os quais muitas vezes se confunde dadas as sutis modificações que sofrem nessa transformação. Sua marcante fissilidade, denominada clivagem ardosiana, favorece a extração na forma de placas (Fig. 18).



Figura 18 - Aspecto de ardósia em extração em lavra em Papagaios (MG). Foto: M.H.B.O. Frasca.

3. Caracterização tecnológica

Rochas, como já comentado, são materiais cujas propriedades decorrem da sua natureza, sendo então inerentes ao modo de formação, às inter-relações com outros corpos rochosos, à composição mineral, à granulação e às alterações, às deformações e outras modificações resultantes dos processos de geológicos a que foram submetidas.

Tal aspecto torna praticamente cada rocha única, tornando o estudo destes materiais e de suas propriedades um tema bastante complexo e particular.

A determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizados, em laboratórios especializados, que objetivam a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos característicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações, bem como subsidiarão a elaboração de projetos arquitetônicos (Fig. 19).



Figura 19 - Ilustração da inter-relação entre geologia, tipo de rocha, tecnologia de rochas e construção civil. Elaboração da autora.

Quanto à sua periodicidade, a CEN recomenda a realização de ensaios pelo menos a cada três anos para controle tecnológico do material, conforme o avanço da frente de lavra e a qualquer momento em casos de mudanças bruscas na geologia do corpo rochoso em exploração.

3.1. Normalização

Os procedimentos de ensaios procuram simular as diversas solicitações às quais a rocha é submetida, desde a extração, esquadreamento, serragem dos blocos em chapas, processamento, polimento, recorte em ladrilhos etc., até seu emprego final, incluindo-se as variadas formas de aplicação de cargas que poderá vir a suportar no uso especificado.

A padronização de procedimentos, que é a função básica da normalização, tem como finalidade principal possibilitar a obtenção de parâmetros numéricos homogêneos para as diferentes propriedades, independente do laboratório que venha a realizar os ensaios, de modo a permitir a comparação entre os diferentes materiais rochosos e a escolha do mais apropriado ao uso em foco.

As normas são elaboradas por comissões técnicas ligadas a entidades normalizadoras. No caso das rochas ornamentais estão envolvidas a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, no âmbito nacional, e a *American Society for Testing and Materials* - ASTM e o *European Committee for Standardization* - CEN, no internacional.

As normas elaboradas pelo CEN são publicadas pelas entidades dos vários países europeus que a integram, dentre as quais se destacam a *British Standards Institution* – BSI (inglesa) e a *Deutsches Institut für Normung* – DIN (alemã).

Em geral, a elaboração de normas se realiza em dois níveis: o dos procedimentos de ensaios e o das especificações e requisitos que os materiais devem cumprir de acordo com os usos a que se destinam. Relativamente aos tipos de rochas abrangidos pelas diversas normas, é importante mencionar que as brasileiras não contemplam a determinação das propriedades de ardósias, rochas que constituem objeto de normalização específica, tanto pela ASTM, como pelo CEN.

As normas do CEN para ardósias para telhas são as mais abrangentes e contemplam várias etapas: teste-tipo, que constituem a caracterização inicial, na qual se baseará o controle de qualidade das telhas produzidas: medidas dimensionais (comprimento e largura, retilinearidade de bordas, retangularidade, espessura das telhas embaladas, espessura individual), curvatura (planicidade), teor de carbono e carbonato, exposição ao dióxido de enxofre, absorção de água, além da resistência à flexão, ao congelamento e degelo e a ciclo térmico.

No tocante à apresentação dos resultados, a ABNT recomenda que os laboratórios elaborem Relatórios de Ensaio contemplando os seguintes itens:

- Nome e endereço do Laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- nome e endereço do cliente;
- indicação, informada pelo cliente, da procedência da amostra (estado, cidade, jazida, local de coleta etc.); designação da amostra e designação comercial da rocha (se já existente);
- tipo petrográfico, conforme ABNT NBR 15012 (ABNT 2003);
- todos os dados relativos aos corpos de prova ensaiados e resultados obtidos;
- média aritmética dos resultados (\bar{x}), respectivo desvio padrão (S) e coeficiente de variação (δ);

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Equação 1}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x - \bar{x}}{n - 1}} \quad \text{Equação 2}$$

$$\delta = \frac{S}{\bar{x}} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

x : valores observados e n : quantidade de ensaios

- data da finalização do ensaio;
- nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- identificação da norma utilizada; e
- observações complementares que se fizerem necessárias.

Os principais procedimentos rotineiramente envolvidos na caracterização tecnológica de mármore e granitos ornamentais são apresentados a seguir.

3.2. Amostragem

Para a realização de ensaios tecnológicos, a amostragem tem papel primordial, devendo ser realizada pelo produtor, preferencialmente acompanhado por um técnico do laboratório, e ser o mais representativa possível do material a ser explorado, inclusive contendo as variações mais comuns.

A amostra a ser encaminhada aos laboratórios corresponde a dois cubos, informalmente denominados bloquetes, com 30 cm a 35 cm de arestas, livres de fraturas ou quebras e devidamente identificados. Devem ser obtidas na frente de lavra ou do maciço rochoso em prospecção e não devem constituir sobras do processo de beneficiamento (aparas, casqueiros etc.).

Caso a rocha a ser caracterizada apresente estruturação, as amostras devem ser retiradas de acordo com a orientação geral (Fig. 20).

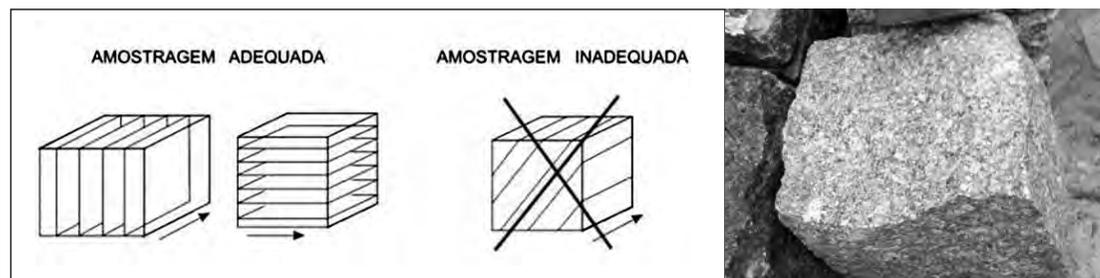


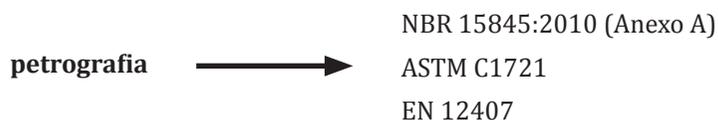
Figura 20 - Ilustração orientativa para a amostragem (bloquetes) de rochas com estruturação (gnaisses), com a seta indicando o sentido da estrutura. À direita, exemplo de “bloquete”. (Desenho: Fabiano C. Navarro). Foto: M.H.B.O.Frascá.

3.3. Preparação de corpos de prova

A cuidadosa preparação dos corpos de prova, atendendo aos requisitos das normas, e o uso de equipamentos e instrumentos em bom estado de funcionamento e calibrados são de fundamental importância para a realização de quaisquer ensaios laboratoriais, pois só assim são garantidos a precisão e repetibilidade dos parâmetros tecnológicos, que por sua vez serão responsáveis pela boa qualidade do projeto, da obra, da manutenção e, enfim, pela durabilidade do revestimento.

Frascá (2002b, 2003) demonstrou que há grandes variações nos valores absorção de água, para as mesmas rochas e de acordo com os mesmos procedimentos de ensaio, quando determinados adotando-se diferentes formatos e dimensões dos corpos de prova.

Caracterização petrográfica



A análise petrográfica estabelece a classificação da rocha e compreende a descrição macroscópica (estruturação, cor) e microscópica (mineralogia, textura, granulação), com ênfase em características tais como alteração, deformação, padrão de microfissuramento e outros que possam influenciar o comportamento mecânico e a durabilidade sob as condições de uso a que será submetida. É uma ferramenta muito importante para análise dos dados tecnológicos, frequentemente esclarecendo as diferenças nas propriedades físicas e/ou mecânicas de rochas aparentemente semelhantes. Também é essencial para diagnosticar e caracterizar deteriorações em rochas.

A análise petrográfica propriamente dita consiste na observação de seções delgadas da rocha (com espessura de 30 µm) em microscópio óptico de luz transmitida (Fig. 21). A classificação petrográfica, baseada nos tipos e na quantidade dos minerais presentes, segue várias orientações,

sendo as mais comuns as da IUGS (*International Union of Geological Sciences*) ou de autores consagrados, como Pettijohn (1975), para rochas sedimentares, Winkler (1976), para rochas metamórficas, e Le Maitre (1989), para rochas ígneas.

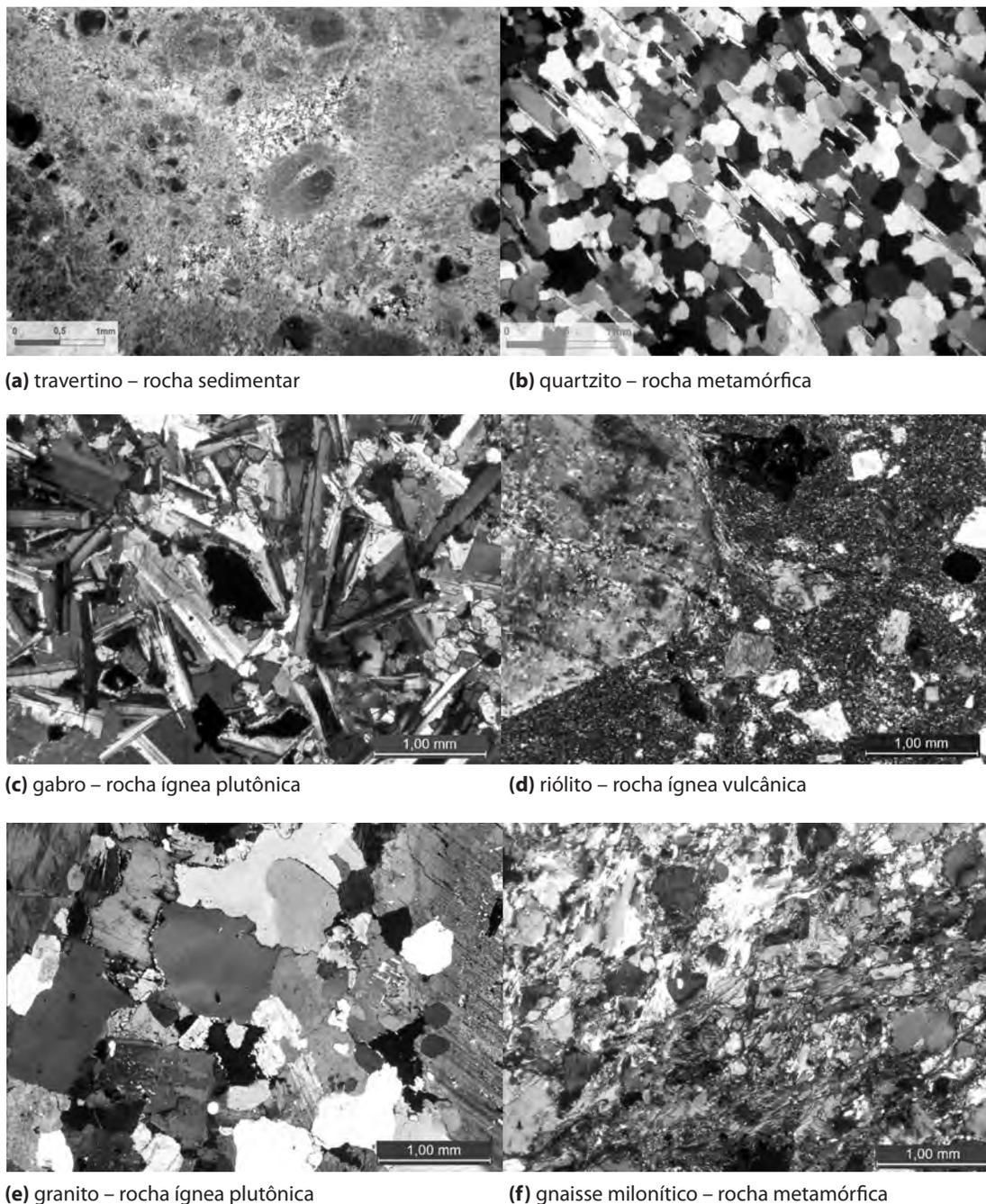


Figura 21 - Diferentes aspectos exibidos ao microscópio por alguns dos diversos tipos de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (FOTOS: M.H.B.O. Frascá, obtidas em microscópio óptico de luz transmitida com polarizadores cruzados).

A análise petrográfica de rochas ornamentais é feita com dois enfoques; o macroscópico e o microscópico.

A descrição macroscópica deve relatar algumas feições, das quais se destacam: cor e estrutura.

Cor

A despeito da subjetividade inerente à sua identificação, a cor é parâmetro essencial na qualificação de rochas ornamentais, pois embora muitas vezes variável para um mesmo tipo de rocha, é característica para um determinado corpo rochoso servindo para diferenciá-lo e valorizá-lo comercialmente. A cor está relacionada aos minerais e impurezas presentes no material rochoso:

Rochas ígneas: aspecto fortemente dependente do tipo e variedade dos feldspatos presentes, que podem exibir coloração rosa a vermelho-escuro, cinza, verde-claro a escuro, entre outras. A presença de hidróxidos de ferro, em clivagens ou fissuras dos minerais presentes, em virtude da alteração intempélica, lhes confere tonalidades amarelo-ferruginosas. Entretanto, não são incomuns as cores estarem relacionadas a outros minerais formadores, tais como quartzo azul, sodalita (feldspatoide de cor azul intenso), piroxênios e outros minerais.

Rochas sedimentares:

- Detríticas, como os arenitos: a cor comumente varia entre branco, bege ou rosa a avermelhado, neste caso, devido ao recobrimento dos grãos por finíssima película de óxidos ou hidróxidos de ferro.
- Pelíticas, o conteúdo de material carbonoso (grafita) ou estado de oxidação do ferro confere-lhes cores cinza-escura a preta e avermelhada, respectivamente.

Rochas metamórficas:

- Mármore: comumente exibem cor branca a cinzenta. Tonalidades esverdeadas e outras estão ligadas aos minerais não carbonáticos presentes, tais como: talco, anfíbólio (tremolita), piroxênios (diopsídio), olivina (forsterita) e outros.
- Quartzitos: a cor branca é a mais habitual, mas podem exibir uma grande variedade de cores, com variações para vermelho (pela presença de hidróxidos de ferro) e até azul (dumortierita quartzitos: "Azul Macaúbas").

Estrutura

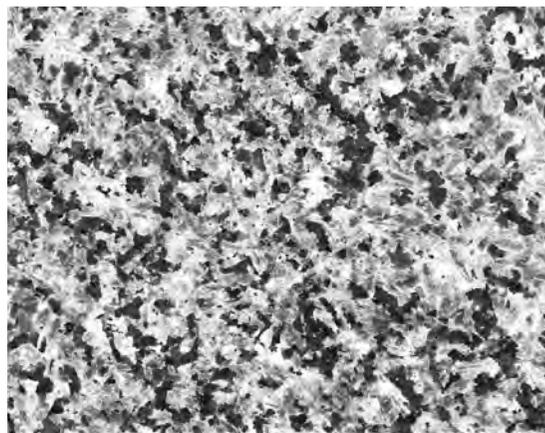
A estruturação compreende a orientação e a posição de massas rochosas em uma determinada área, bem como as feições resultantes de processos geológicos como falhamentos, dobramentos, intrusões ígneas e outros.

As rochas ígneas usualmente são maciças, ou seja, os minerais não exibem orientação preferencial segundo direções determinadas (Fig. 22), e o aspecto, tanto em afloramento como em amostra de mão, é de uma massa rochosa compacta, o que lhes confere características físicas e mecânicas homogêneas (isotropia).

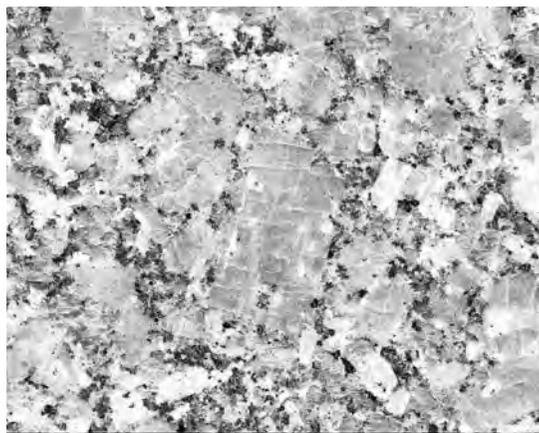
No entanto, as rochas ígneas também podem mostrar estruturação, como a fluidal ou fluxionar, em que os minerais exibem orientação preferencial, expressando movimento direcional do magma na sua colocação, antes da solidificação.

A estratificação ou acamamento são estruturas típicas de rochas sedimentares (Fig. 23) e representam o arranjo dessas rochas em camadas distintas, com espessuras variando de centímetros até poucos metros. O termo laminação é utilizado para se referir aos estratos com espessura menor que 1 cm.

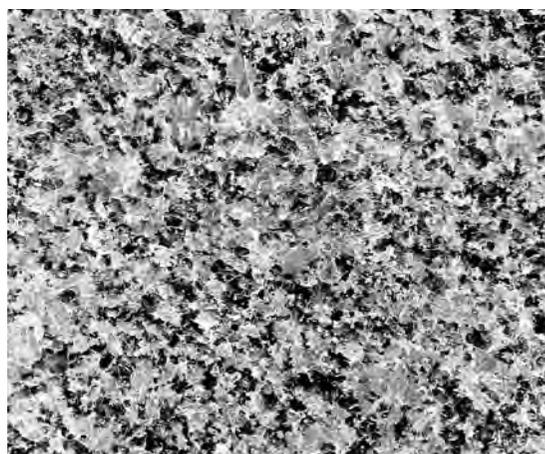
As rochas metamórficas podem exibir estrutura maciça, como mármore e quartzitos, ou, mais frequentemente, estrutura orientada (Fig. 24), resultante do metamorfismo dinâmico, no qual há o predomínio da pressão sobre a temperatura, além da formação de novos minerais. Em resposta aos esforços envolvidos ocorrem deformação e orientação preferencial dos minerais, desenvolvidas ortogonalmente à direção de compressão máxima, e sua intensidade se reflete no tipo e forma das estruturas geradas, como a seguir descritas.



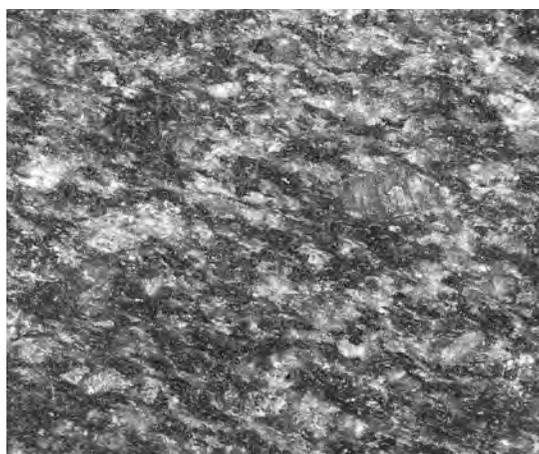
(a) nefelina sienito



(b) biotita sienito porfirítico



(c) biotita monzogranito



(d) biotita-hornblenda monzonito

Figura 22 - Diferentes aspectos texturais e estruturais de algumas rochas ornamentais ígneas. (Fotos: Catálogo de rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo – Frasca *et al.* 2000).

- Foliação: corresponde a estruturas planares penetrativas resultantes do achatamento dos constituintes minerais.
- Xistosidade: arranjo planar caracterizado pela disposição subparalela e isorientada de minerais filossilicáticos, em xistos, filitos e outras rochas.
- Lineação: refere-se a estruturas que não se caracterizam como foliações, englobando qualquer estrutura linear na rocha, como minerais alongados, segundo as direções de deformação.



Figura 23 - Classicamente conhecida estratificação das rochas sedimentares do *Grand Canyon*, no Arizona, EUA. Foto: M.H.B.O.Frascá.



Figura 24 - Exemplo de estrutura gnáissica. Foto: M.H.B.O.Frascá.

A descrição microscópica de rochas ornamentais enfatiza os seguintes aspectos descritivos: tipo e quantidade dos minerais essenciais, acessórios e de alteração, relações texturais, granulação, com especial enfoque nos padrões de fissuramento e de alteração intempérica. Ressalta-se que a despeito da importância geológica das alterações hidrotermais e metassomáticas, no estudo petrográfico de rochas ornamentais não lhes é dado o mesmo destaque que para a alteração intempérica, visto que não estão relacionadas às modificações na porosidade ou nas resistências mecânicas de interesse no seu emprego na construção civil.

- Composição mineralógica: reflete a composição química e as condições de formação e de alteração de cada mineral componente e tem influência decisiva nas propriedades da rocha e na sua durabilidade.
- Textura: é o arranjo espacial microscópico dos minerais, muitas vezes exclusivos para alguns tipos de rochas, e está intimamente relacionada à mineralogia e às condições físicas vigentes durante a formação. A porosidade/permeabilidade e as resistências mecânicas, em parte, dependem da textura, que também reflete o grau de coesão da rocha.
- Granulação: refere-se ao tamanho dos grãos. É um dos principais critérios de classificação das rochas sedimentares. Diferencia, macroscopicamente, rochas ígneas vulcânicas (mais finas: afaníticas) e plutônicas (mais grossas: faneríticas) e responde pela maior resistência mecânica das primeiras, devido ao maior imbricamento e à coesão dos minerais. Visando orientar a classificação do tamanho de grãos Frascá e Sartori (1998) apresentaram os limites usualmente adotados em petrografia (Tabela 8).

Tabela 8 - Classificação de tamanho de grãos adotada em descrições petrográficas.

Granulação	Tamanho (mm)
Muito grossa	> 30
Grossa	5 - 30
Média	1 - 5
Fina	< 1

Para as rochas detríticas, o tamanho dos grãos segue a classificação granulométrica de Wentworth, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Escala de classificação granulométrica dos sedimentos detríticos.

Tamanho limite de classe (mm)	Classe	Sedimento
> 256	matacão	Cascalho
256 - 64	bloco	
64 - 4	seixo	
4 - 2	grânulo	
2 - 1	areia muito grossa	Areia
1 - 0,5	areia grossa	
0,5 - 0,25	areia média	
0,25 - 0,125	areia fina	
0,125 - 0,06	areia muito fina	Silte
0,06 - 0,004	silte	
< 0,004	argila	

Nos estudos petrográficos merecem destaque alguns aspectos que controlam e condicionam praticamente todas as propriedades das rochas. Tais aspectos são abordados a seguir.

Uma grande dificuldade na descrição petrográfica é a padronização da abordagem de dois aspectos fundamentais: grau de alteração intempérica e grau de microfissuramento.

Frasca (2003) propôs uma graduação microscópica dessas feições em quatro classes quando avaliadas, preferencialmente, em lupa estereoscópica binocular, no aumento aproximado de 50X, conforme Tabela 10.

3.4. Propriedades físicas

As propriedades físicas mais relevantes nos estudos de rochas para revestimento são descritas a seguir. Para cada qual inicialmente se apresentam as normas vigentes³ e o nome técnico dos parâmetros a serem caracterizados.

densidade	→	NBR 15845:2010 (Anexo B) ASTM C97
absorção de água	→	ASTM C121 (ardósias) EN 1936
porosidade aparente		EN 13755

- Densidade: fornece o peso da rocha, importante parâmetro para o cálculo de cargas em construções, o dimensionamento de embalagens, os custos e meios de transporte, entre outras aplicações.

Tabela 10 - Graus de alteração intempérica e de microfissuramento, aplicados principalmente a rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas (FRASCÁ 2003).

Grau	Alteração intempérica	Microfissuramento
Incipiente	Cristais praticamente límpidos e sem presença de hidróxidos de ferro, mesmo em fissuras.	fissuras praticamente imperceptíveis.
Fraco	Muito leve turbidez de cristais de plagioclásio, incipientes modificações em minerais máficos e poucos hidróxidos de ferro associados.	microfissuras perceptíveis; predominantemente intragranulares, fechadas e, frequentemente, sem preenchimento
Moderado	Cristais de plagioclásio, especialmente nos núcleos, turvos por argilominerais, frequentemente com carbonato, sericita e hidróxidos de ferro associados. Biotita parcialmente alterada, com liberação de hidróxidos de ferro. Outros minerais também podem estar parcialmente alterados, como sillimanita, em flossilicatos secundários.	microfissuras totalmente perceptíveis; predominantemente intra e intergranulares, preenchidas, mas pouco largas.
Forte	Feldspatos, especialmente plagioclásio, parcialmente alterados em argilominerais, com sericita, carbonato e hidróxidos de ferro associados. Demais minerais, exceto quartzo, apresentam-se, em diferentes intensidades, parcial a totalmente alterados, principalmente em argilominerais e hidróxidos de ferro.	microfissuras totalmente perceptíveis, trans, inter e intragranulares, preenchidas e largas.

³ A relação completa encontra-se após a bibliografia, no final deste capítulo.

- Absorção: é a capacidade de assimilação ou incorporação de água pela rocha, ou seja, a relação entre a massa seca e o volume de água absorvida, em percentagem.
- a) densidade aparente (ρ_a) é relação entre a massa e o volume aparente da rocha, em kg/m³.

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sec} - M_{sub})} \times 1000 \quad \text{Equação 4}$$

NOTA: Valor assumido para a densidade aparente da água como sendo de 1 000 kg/m³.

- b) porosidade aparente (η_a) é a relação entre o volume de vazios e o volume total, determinada pela razão entre a massa seca e a massa saturada em água, em percentagem.

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

- c) absorção de água (α_a), em percentagem. Usualmente considera-se este parâmetro como o valor numérico que reflete a capacidade de incorporação de água que, por sua vez, é elemento cujo contato prolongado e repetitivo pode levar à deterioração do material.

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

onde:

M_{sec} : massa seca (g);

M_{sat} : massa saturada (g);

M_{sub} : massa submersa (g).

capilaridade



EN 1925

A absorção depende do sistema poroso da rocha, que é responsável pela permeabilidade à água, que por sua vez depende da estrutura capilar. A determinação do coeficiente de capilaridade indica a máxima absorção de uma rocha ao ser imersa em água por tempo previamente estabelecido.

Não se trata de ensaio rotineiro no Brasil, por não ser adequado para rochas com porosidade menor que 1%, ou seja, granitos, gnaisse e quartzitos, muito comuns no país.

dilatação térmica



NBR 15845:2010 (Anexo C)

EN 14581

Os materiais rochosos dilatam-se quando se aquecem e contraem-se ao esfriarem, implicando variações nas dimensões e no volume. Para o conhecimento destes parâmetros, para uma rocha que será empregada no revestimento de exteriores, são realizados ensaios para a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear, que consistem em submeter a rocha a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C.

$$\beta_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \times \Delta T} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- β : coeficiente médio de dilatação térmica linear (no aquecimento e resfriamento), em mm/m°C;
- ΔL : diferencial de comprimento do corpo de prova (no aquecimento e resfriamento), em mm;
- L_0 : comprimento inicial do corpo de prova, em m;
- ΔT : diferencial de temperatura (no aquecimento e resfriamento), em °C;

Os valores obtidos são utilizados para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos de pisos, paredes e fachadas. Quando estes não são adequadamente considerados pode ocorrer tensionamento das placas pétreas, que causa, ao longo do tempo, fissuramentos e até quebra, com risco de queda do material.

Dureza Knoop



EN 14205

- Dureza: corresponde à resistência do mineral ao risco ou abrasão, usualmente medida por meio da resistência que a superfície do mineral oferece ao risco por outro mineral ou outro material.

A determinação desta propriedade é referida a uma escala padrão de dez minerais, conhecida como Escala de Mohs (Tabela 11).

Tabela 11 - Escala de dureza Mohs.

Escala de Dureza	Minerais Padrões	Composição Química	Referências Relativas	Tipos de Minerais
1	Talco	$Mg_3SiO_4(OH)_2$	Riscam-se com a unha	Moles
2	Gipso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$		
3	Calcita	$CaCO_3$	Risca-se com objeto de cobre	
4	Fluorita	CaF_2	Riscam-se com canivete ou vidro	Semiduros
5	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$		
6	Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	Risca o vidro com dificuldade	
7	Quartzo	SiO_2	Riscam o vidro	
8	Topázio	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$		Duros
9	Coríndon	Al_2O_3	Riscam o vidro com facilidade	
10	Diamante	C		

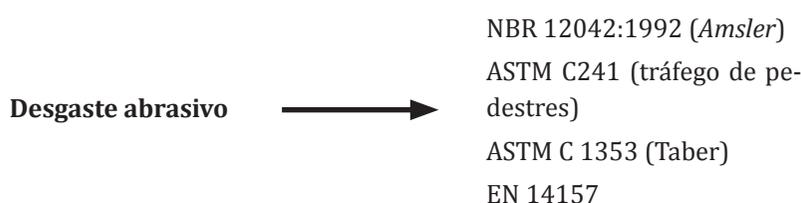
Relativamente às rochas ornamentais e para revestimento, dureza tem sido referida como:

- Resistência ao corte pelos instrumentos utilizados na lavra e processamento (corte e polimento) e, conseqüentemente, na velocidade de desgaste dos diversos insumos (lâminas, granalha etc.), ou
- resistência ao desgaste abrasivo pelo trânsito de pedestres ou veículos.

A microdureza Knoop (HK ou HKN) é uma das técnicas disponíveis para inferir a dureza das rochas. Realizada ao microscópio, consiste em pressionar a superfície polida da rocha com uma força conhecida, com uma ponta de diamante de formato piramidal, por um tempo definido, e medir a indentação resultante. Essa determinação é feita em 20 a 40 pontos e os valores obtidos para HK (*Hardness Knoop*) em geral situam-se no intervalo entre 1 GPa e 10 GPa.

Essa técnica ainda é pouco utilizada devido à difícil generalização para rochas pluriminerálicas (como granitos e gnaisses), pois as diferenças tanto nas proporções quanto na dureza dos minerais formadores interferem nos resultados. Por isto, na ausência de técnicas e ensaios amplamente adotados e sua extensão para a fabricação de insumos e equipamentos, é frequente se considerar a dureza dos diferentes minerais formadores e o seu estado de coesão e alteração, para inferir a dureza da rocha.

Assim, é possível, como orientação geral, se hierarquizar a “dureza” dos diferentes grupos de rochas: quartzitos > granitos/gnaisses > ardósias ≥ calcários e mármore (FRASCÁ 2004, 2010).



O desgaste abrasivo por atrito, devido ao tráfego de pessoas ou veículos, é objeto de várias normas distintas, conforme a entidade normalizadora e material, cujos resultados não são comparáveis entre si, pouco colaborando para o conhecimento do comportamento dos diferentes materiais rochosos.

No Brasil, adota-se a determinação de desgaste por meio do tribômetro *Amsler*, que consiste na medição da redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, com o uso de areia essencialmente quartzosa como abrasivo.

O desgaste, importante parâmetro para placas pétreas aplicadas no revestimento de pisos, é inicialmente notado pela modificação no brilho da face polida, sendo que a perda de material propriamente dita somente ocorre após um tempo relativamente longo de uso, desde que o material tenha sido adequadamente especificado para a intensidade de tráfego do local.

3.5. Propriedades mecânicas

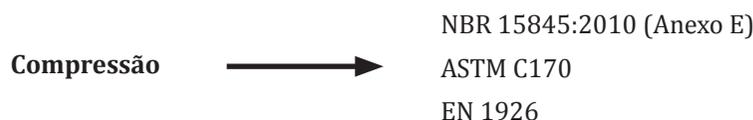
A resistência mecânica dos diferentes tipos rochosos é diretamente influenciada por algumas características que permitem antecipar o comportamento do material perante as diversas solicitações de carga ou esforços.

- **Estrutura:** a isorientação mineral decorrente das deformações tectônicas de parte das rochas metamórficas, e a estratificação presente em algumas rochas sedimentares conferem-lhes anisotropia, entendida como a variação espacial das propriedades mecânicas, conforme o plano considerado. Para conhecimento dos valores nos diferentes planos convencionou-se, nos ensaios laboratoriais, independentemente da entidade normalizadora, a determinação da resistência mecânica segundo aqueles que representariam os maiores e menores valores, quais sejam paralela e ortogonalmente à direção da estruturação principal.

A ASTM sugere a utilização dos menores valores na elaboração de projetos de revestimento, ampliando a segurança da obra.

- Granulação: rochas com granulação mais fina são, usualmente, relativamente mais resistentes que aquelas de granulação mais grossa. A heterogeneidade granulométrica, como nas rochas porfiríticas (ígneas) ou porfiroblásticas (metamórficas), também afeta a resistência mecânica, pois cristais com grandes dimensões tornam-se pontos de fraqueza (sujeitos à ruptura com menores cargas).

A ABNT e ASTM solicitam a realização de ensaios mecânicos em corpos de prova secos (em estufa) e saturados (em água), pois diversos estudos mostram que a presença da água na rocha provoca vários efeitos, dentre os quais a redução da resistência mecânica, provavelmente ligada à geração de tensões internas.



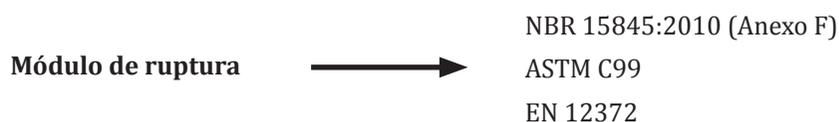
A resistência à compressão (MPa) é a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua determinação tem a finalidade de fornecer parâmetros para o dimensionamento do material rochoso a ser utilizado como elemento estrutural, ou seja, com a finalidade de suportar cargas.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad \text{Equação 8}$$

onde:

- σ_c : tensão de ruptura na compressão (MPa);
- P : força máxima de ruptura/ (kN);
- A : área da face do corpo de prova submetida a carregamento (m²).

Indiretamente, fornece informações acerca da integridade física da rocha, pois a obtenção de valores menores do que aqueles característicos para o tipo rochoso em questão sugerem a presença de descontinuidades (fissuras, fraturas), alteração intensa e outros.



O ensaio de determinação do módulo de ruptura (ou flexão por carregamento em três pontos) determina a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores (Fig. 25), no caso, também provocando esforços de tração na face oposta ao rolete superior. Permite se avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, possibilitando o cálculo de parâmetros, como espessura.

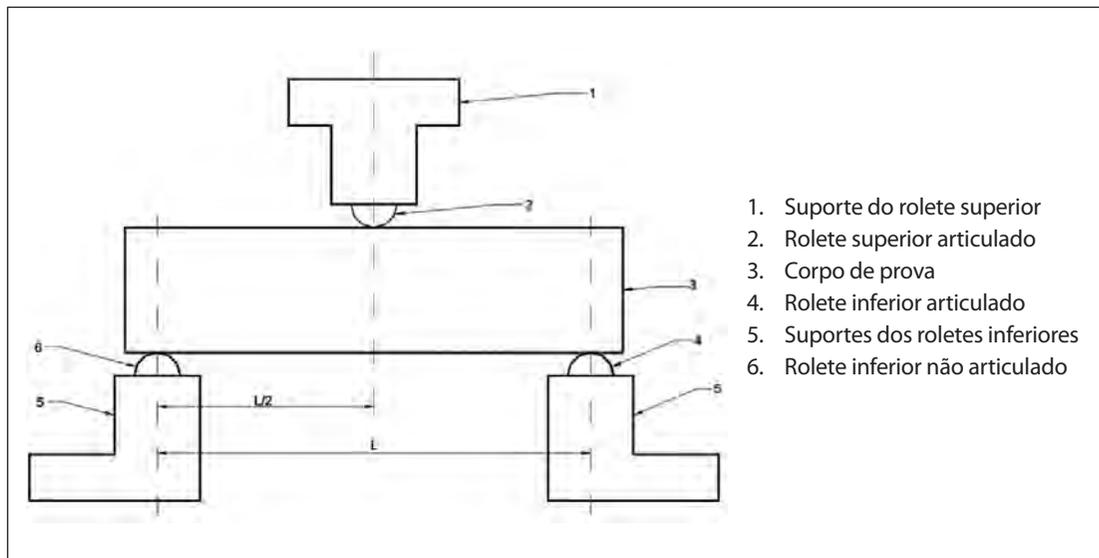


Figura 25 - Corpo de prova e dispositivo de ensaio para determinação do módulo de ruptura em rochas (Extraído de: ABNT NBR 15845:2010 - Anexo F).

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad \text{Equação 9}$$

onde:

- σ_f : valor numérico do módulo de ruptura (MPa);
- P : força de ruptura (KN);
- L : distância entre os roletes inferiores (m);
- b : largura do corpo de prova (m);
- d : espessura do corpo de prova (m).

As solicitações de flexão de rochas empregadas em edificações (por cargas ou outros esforços) ocorrem principalmente quando são utilizadas como telhas (ardósias), pisos elevados, degraus de escadas, tampos de pias e balcões.

flexão \longrightarrow NBR 15845:2010 (Anexo F)
ASTM C99
EN 12372

O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) simula os esforços flexores em placas de rocha, com espessura predeterminada (Fig. 26), no caso simulando efeito do vento em placas de rocha fixadas em fachadas com ancoragens metálicas. Por isso é obrigatório em rochas destinadas a esse fim, preferencialmente em amostras com as mesmas características (tamanho, espessura e acabamento) daquelas que serão utilizadas na obra.

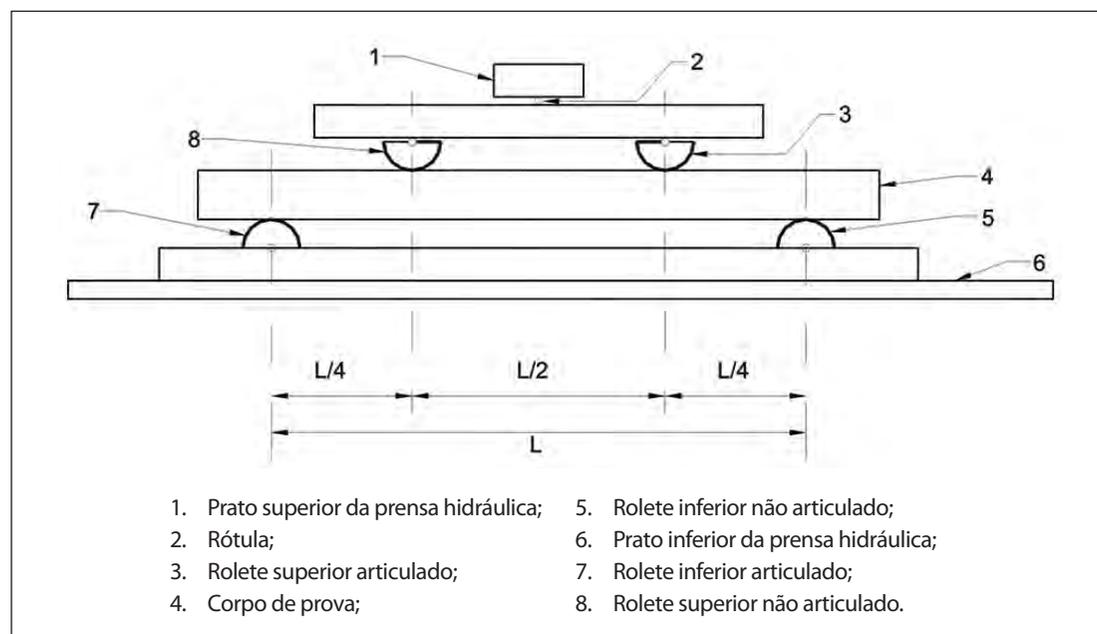


Figura 26 - Corpo de prova e dispositivo de ensaio para determinação da resistência à flexão em rochas (Extraído de: ABNT NBR 15845:2010 - Anexo G).

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{4 \times b \times d^2} \quad \text{Equação 10}$$

onde:

σ_f : módulo de ruptura (MPa);

P : força de ruptura (KN);

L : distância entre os roletes inferiores (m);

b é o valor numérico da largura do corpo de prova, expresso em metros (m);

d é o valor numérico da espessura do corpo de prova, expresso em metros (m).

3.6. Outros ensaios

Vários outros ensaios, alguns deles listados na Tabela 12, estão disponíveis nas diferentes entidades normalizadas para determinação de propriedades específicas, importantes, mas consideradas não tão fundamentais como as descritas nos itens anteriores.

Especial menção é feita à propagação de ondas ultrassônicas longitudinais, que permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, cuja relevância consiste em ser um dos ainda raros ensaios não destrutivos disponíveis para verificação de propriedades rochosas. Vários fatores influenciam a velocidade de propagação de ondas em uma rocha: composição mineralógica, granulização, textura, tamanho, porosidade, anisotropia, temperatura ambiente etc. Em um conjunto de corpos de prova de uma mesma amostra ou entre amostras de rochas semelhantes, valores relativamente mais altos, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão dos minerais, geralmente interpretados como indicadores de boa resistência mecânica.

Esta técnica é muito empregada na avaliação da degradação de rochas, especialmente em estudos de conservação de monumentos históricos. Também é bastante útil para avaliação de resultados laboratoriais inesperados em corpos de prova aparentemente homogêneos e similares.

Tabela 12 - Alguns exemplos de ensaios tecnológicos complementares.

Ensaio	Norma	
	ASTM	CEN
Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais	ASTM D 2845	EN 14579
Módulo de Elasticidade	ASTM C 1352 (na flexão)	EN 14146 (frequência de ressonância)
Resistência ao escorregamento	-	EN 14231
Resistência nos pontos de ancoragem	ASTM C1354	EN 13364
Impacto de corpo duro	ABNT NBR 15845:2010 (H)	EN 14158

3.7. Especificações e requisitos

Especificações constituem-se na proposição de valores limites, máximos e mínimos, para as propriedades determinadas nos diferentes materiais rochosos, com o objetivo de auxiliar a avaliação da qualidade tecnológica das rochas, independentemente, em princípio, do tipo de utilização futura dos produtos beneficiados. Têm sido alvo de trabalho de várias comissões e de publicações no âmbito da ABNT, da ASTM e do CEN, estas com características distintas no tratamento e entendimento dessa questão.

Pedras de alvenaria, seja na forma natural (sem aparelhamento ou processamento), seja como aproveitamento de resíduos de marmorarias, empregadas na construção ou revestimento de muros e paredes, não são objeto de normas ou especificações conhecidas. Porém, por se tratarem de materiais comumente usados em exteriores, eventualmente com função de suportar cargas, é importante que sejam inalterados e com dimensionamento adequado para a finalidade.

Normativas americana e brasileira

A normativa americana e a brasileira têm uma abordagem bastante semelhante. Ambas estabelecem valores típicos para propriedades físicas e mecânicas de grandes grupos de rochas para revestimento (Tabelas 13, 14, 15) visando orientar a avaliação tecnológica de um material pétreo com base na comparação com aqueles apresentados por rochas semelhantes. Assim, em caso de características muito discrepantes em relação às esperadas, são recomendáveis investigações complementares ou alterações no projeto arquitetônico, como, por exemplo, a readequação da espessura e/ou tamanho das placas pétreas.

Os valores expressos nestas especificações mostram que nas rochas ígneas e metamórficas a porosidade é relativamente mais baixa e as resistências mecânicas relativamente mais altas que nas rochas sedimentares, por serem mais compactas e coesas e por seu sistema poroso ser configurado pelas relações entre microfissuras, alterações em minerais (como, por exemplo, núcleos alterados de feldspatos) e não por espaços entre grãos (poros propriamente ditos).

Tabela 13 - Especificações para granitos – ABNT e ASTM.

Propriedade	Norma	
	ABNT NBR 15844	ASTM C 615
Densidade aparente (kg/m ³)	>2.550	≥2.560
Porosidade aparente (%)	1,0	n.e.
Absorção d'água (%)	<0,4	≤0,4
Compressão uniaxial (MPa)	>100	131
Módulo de ruptura (carregamento em três pontos) (MPa)	>10,0	10,34
Flexão (carregamento em quatro pontos) (MPa)	>8,0	8,27
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/(m x °C)]	<8,0	n.e.
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	n.e.
Desgaste Amsler (mm/1000 m)	<1,0	n.e.

Nota: n.e. = não especificado.

Tabela 14 - Especificações para mármore, calcários, travertinos, arenitos e quartzitos - ASTM.

Norma	Tipo de Rocha	Uso	ρ	α	σ_c	σ_{trf}	σ_f
ASTM C 503	Calcita Mármore	Exterior	≥2.595	≤0,20	≥52	≥7	≥7
	Dolomita Mármore		≥2.800				
ASTM C 568	Calcário	I - Baixa densidade	≥1.760	≤12	≥12	≥2,9	n.e.
		II - Média densidade	≥2.160	≤7,5	≥28	≥3,4	
		III - Alta densidade	≥2.560	≤3	≥55	≥6,9	
ASTM C 1527	Travertino	I - Exterior	≥2.305	≤2,5	≥52	≥6,9	≥6,9
		II - Interior			≥34,5	≥4,8	≥4,8
ASTM C 616	I - Arenito (≥60% sílica livre)		≥2.003	≤8	≥27,6	≥2,4	n.e.
	II - Arenito quartzítico (≥90% sílica livre)		≥2.400	≤3	≥68,9	≥6,9	
	III - Quartzito (≥95% sílica livre)		≥2.560	≤1	≥137,9	≥13,9	

Nota: ρ = densidade aparente (kg/m³); α = absorção d'água (%); σ_c = resistência à compressão uniaxial (MPa); σ_{trf} = resistência à tração na flexão (MPa); σ_f = resistência à flexão (MPa); n.e. = não especificado.

Tabela 15 - Especificações para ardósias - ASTM.

Norma	Uso	ρ	α	σ_c	σ_{trf}	σ_f	Profundidade de amaciamento ^(a) (mm)
ASTM C 629	I – Exterior	n.e.	0,25	n.e.	49,6* / 62,1**	n.e.	≤0,38
	II – Interior		0,45		37,9* / 49,6**		≤0,64
ASTM C 406	Grau S1(b)	n.e.	0,25	n.e.	62**	n.e.	≤0,05
	Grau S2(b)		0,38				≤0,20
	Grau S3(b)		0,45				≤0,36

Nota: ρ = densidade aparente (kg/m³); α = absorção d'água (%); σ_c = resistência à compressão uniaxial (MPa); σ_{trf} = resistência à tração na flexão (MPa); σ_f = resistência à flexão (MPa); n.e. = não especificado.

Normativa europeia

A normativa europeia, a partir do conhecimento das propriedades tecnológicas da rocha mediante ensaios em laboratório, procura estabelecer procedimentos de controle de fornecimento e recepção em obras, com o intuito de garantir estatisticamente os valores característicos e as propriedades do produto, conforme o uso e projeto arquitetônico a que se destinam.

As normas do CEN também introduzem a obrigatoriedade do fabricante ter um sistema de qualidade interno que permita facilitar e garantir aos clientes os parâmetros que definem as características da rocha. Estabelecem, conforme o uso, as propriedades para a caracterização inicial do material, a frequência do controle da produção de fábrica, procedimentos para atestados de conformidade e, por fim, as características essenciais que deverão acompanhar o produto.

4. Alteração e alterabilidade das rochas ornamentais

O processo de alteração das rochas se inicia, naturalmente, ao serem expostas na superfície terrestre, em resposta às novas condições atmosféricas e pela atuação do intemperismo.

São reconhecidos dois tipos principais de intemperismo: físico e químico, que embora com características distintas geralmente ocorrem concomitantemente, com a prevalência de um sobre o outro a depender dos agentes intempéricos atuantes (clima, relevo etc.), da composição e características intrínsecas das rochas e do tempo de atuação.

O intemperismo físico consiste em uma série de processos acumulativos que culminam na quebra mecânica (fraturamento) das rochas e sua desintegração. O químico ocorre por meio de reações químicas entre minerais e solventes (essencialmente água e demais componentes transportados em solução), controladas pelas condições de pH e Eh (potencial de oxidação) do meio, que provocam a decomposição química dos minerais e a formação de novos produtos, estáveis nas novas condições. Note-se que neste processo, as reações são controladas tanto pela solubilidade dos constituintes minerais, como pela porosidade da rocha.

Caracteristicamente, os processos intempéricos atuam lentamente, e as modificações e/ou alterações são notadas ao longo de um tempo em escala geológica, ou seja, de milhares ou milhões de anos.

4.1. Alterabilidade

Ao serem utilizadas na construção civil, as rochas são expostas a condições ambientais diferentes daquelas em que se encontravam, bem como a novas solicitações de uso, as quais passaram a atuar na sua alteração e, muitas vezes, a acelerá-la.

Introduziu-se, então, o conceito de alterabilidade, como a aptidão da rocha em se alterar em função do tempo mas, neste caso considerado em escala humana, ou seja, em períodos de dias a anos, nos quais os fenômenos ocorrem concomitantemente ao uso e às obras de engenharia (AIRES-BARROS, 1991).

Constituem, para isto, como já mencionado, como os fatores relevantes:

Características intrínsecas da rocha (tipo e natureza da rocha, grau de alteração e de fissuramento, porosidade e configuração do sistema poroso e outros), agora com especial relevância para aquelas existentes na superfície da rocha que será exposta à alteração; em geral a face polida.

Relativamente às rochas para revestimento, os impactos e desgastes a que são submetidas na sua produção, ou seja, o desmonte em blocos e seu subsequente desdobramento em chapas, resinagem⁴, acabamento de superfície, corte em placas e ladrilhos e processamento⁵, passam a ter grande influência, pois tendem a modificar as características naturais da rocha, como aumentar o microfissuramento, porosidade e outros (DIB *et al.*, 1999; FRASCÁ, 2002 a, b, 2003), favorecendo ou acelerando a alteração dos constituintes ao serem expostos a novas condições ambientais.

Fatores extrínsecos: relacionados às características ambientais em que ocorre a alteração (temperatura, pH, Eh, umidade, forças bióticas) e das solicitações da situação de uso (Fig. 27), bem como dos materiais e procedimentos para colocação (assentamento e fixação) e manutenção (FRASCÁ; QUITETE, 1999, FRASCÁ, 2010). Nestes processos, são relevantes não só a intensidade, como também o caráter cíclico dos fatores externos.

Os principais agentes antrópicos e atmosféricos que atuam diretamente nas rochas utilizadas em revestimento, exibidos na figura 27, são:

- Umidade, nas suas várias formas (chuva, névoa, umidade relativa do ar e outras), é considerada um dos mais importantes agentes deletérios, pois possibilita a reação química dos constituintes da rocha, o transporte de sais solúveis e a ação de poluentes atmosféricos;
- Temperatura, que pode acelerar as reações químicas na presença de umidade, em especial as de oxidação (transformação de Fe^{2+} em Fe^{3+});
- Insolação e resfriamento, responsáveis pelos movimentos térmicos (dilatação e contração e choques térmicos);
- Vento e energia cinética, que promovem ação abrasiva sobre as paredes e movimentos fletores; e
- Poluentes atmosféricos (gasosos e aerossóis), que aceleram e condicionam as alterações, especialmente as relativas à cristalização de sais.

⁴ Resinagem: processo de recuperação e valorização de chapas pétreas contendo cavidades, fissuras, fraturas ou outras irregularidades superficiais, que consiste na aplicação de uma resina adesiva à base de epóxi, poliéster ou acrílico na face da placa e aguardar sua cura para realização de polimento (ASTM, 2012).

⁵ Processamento: trabalhos envolvidos na transformação de blocos em rocha dimensionada, incluindo: serragem, levigação, furação, corte e outras operações necessárias para a colocação (ASTM, 2012).

A ação desses agentes isoladamente ou em conjunto pode provocar a deterioração da superfície exposta da rocha, por meio da modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e alteração de cor ou manchamentos) até sua danificação (esfoliações, escamações, quebras etc.).

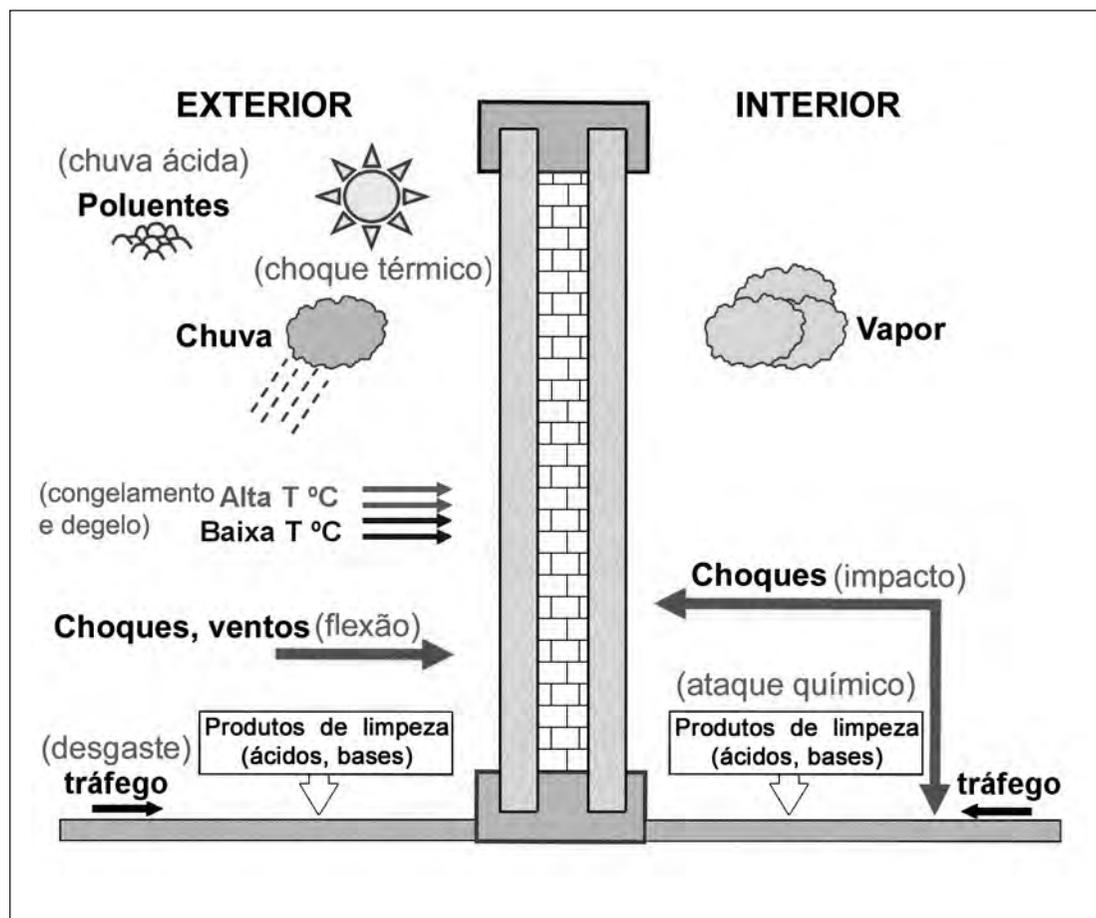


Figura 27 - Principais solicitações em rochas para revestimento (Frasca 2010).

A durabilidade, termo antônimo, é definida como a capacidade da rocha em manter a aparência e as características essenciais e distintivas de estabilidade e resistência à degradação ao longo do tempo (ASTM, 2008). Esse tempo depende do meio ambiente, do uso e da finalidade da rocha em questão (por exemplo, em exteriores ou interiores) e está fundamentalmente relacionado à adequada manutenção e conservação.

4.2. Deteriorações – mecanismos e condicionantes

A deterioração é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais de construção no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente natural. Implica na degradação e o declínio na resistência e aparência estética, nesse período (VILES, 1997).

As patologias, em especial nas rochas para revestimento, correspondem às degradações que podem ocorrer durante ou após a execução de uma obra, como resultado da utilização de procedimentos inadequados de colocação, de limpeza e de manutenção, muitas vezes em decorrência da adoção de critérios incorretos na escolha e dimensionamento da rocha (FRASCÁ 2003).

É importante ressaltar que modificações que ocorram ao longo do tempo, sob condições adequadas de uso e manutenção, são consideradas acomodações naturais (envelhecimento) da rocha e não devem ser classificadas como patologias.

Para que tanto a deterioração como as patologias se manifestem são necessários dois fatores: os agentes que as condicionam e os mecanismos para que ocorram.

Os estudos diagnósticos de patologias em rochas ornamentais, bem como das degradações de materiais rochosos empregados em construções e monumentos históricos, são realizados com o objetivo de caracterizar o processo de alteração e de identificar suas possíveis causas, ou seja, seus condicionantes e mecanismos.

A principal técnica para o estudo diagnóstico de degradações de materiais rochosos é a petrografia, auxiliada por outras técnicas como a difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de raios X, por dispersão de energia (EDS), acoplado (FRASCÁ; QUITETE 1999).

Em geral, as patologias são mais comumente relatadas em rochas empregadas no revestimento de pisos e, menos comumente, paredes e fachadas. A seguir, citam-se como exemplos, as deteriorações por manchamentos e cristalização de sais.

Manchamentos

Manchamentos geralmente constituem áreas irregulares, dispostas pela superfície exposta da rocha, exibindo mudanças de tonalidade ou de coloração. Normalmente representam uma deterioração predominantemente estética, pois na maioria dos casos não resultam em decaimento de propriedades físicas e mecânicas.

Decorrem da ação da umidade, geralmente em conjunto com a utilização de materiais inadequados para o assentamento e/ou a manutenção e podem ocorrer em períodos de dias a até poucos meses após a colocação.

Amarelecimento ou manchamento ferruginoso por vezes com tonalidades esverdeadas, em pisos, é um dos mais comuns. Ocorre principalmente em rochas de cor branca, sejam mármore ou granitos.

- Condicionantes: ainda não se dispõe de dados conclusivos sobre os agentes ou conjunto de fatores que desencadeia esta alteração. Entretanto, parece decorrer da ação da água da argamassa, percolando ascendentemente a placa pétrea, tanto “pura” como em solução com impurezas da própria argamassa ou outros elementos presentes na própria água ou em materiais a que estiveram expostas durante o assentamento;
- Mecanismos: evidências apontam dois possíveis mecanismos:
 1. alteração das condições físico-químicas, induzindo mudanças no ferro naturalmente presente na rocha, do estado ferroso para o férrico (Fe^{2+} para Fe^{3+}).
 2. “deposição” de impurezas, provavelmente óxidos ou hidróxidos de ferro carregados pela água, em microdescontinuidades presentes nos minerais formadores da rocha.

Clareamento, branqueamento ou descoloração: modificação de cor que pode ocorrer em rochas escuras, comum em granitos, especialmente os “granitos pretos” e “pedra Miracema”, esta comumente aplicada em calçamentos públicos.

- Condicionantes: exposição a substâncias com pH ácido (ácido clorídrico, sulfúrico, dentre outros) e, mais raramente, com pH muito básico (soda cáustica, por exemplo), utilizadas na limpeza ou manutenção.
- Mecanismo: estudos petrográficos demonstraram que a mudança de cor se relaciona à oxidação e/ou lixiviação do ferro presente nos minerais máficos (principalmente biotita), que tendem a empobrecer nesse elemento (FRASCÁ 2004, 2010).

Considera-se manchamento o aparecimento de áreas com aspecto molhado ou “escurecimento” ao redor de juntas, em pisos, paredes e fachadas, se rejuntadas com materiais à base de silicone. Provavelmente resulta da absorção de componentes dessas resinas, que não se esvaecem, permanecendo no material, a despeito do aquecimento solar ou da chuva.

Cristalização de sais

A cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois promove a degradação de rochas em ambientes marinhos, climas úmidos e ambientes poluídos. Sua ação em um meio poroso causa a perda de coesão entre os grãos.

Em uma edificação, nas proximidades do solo, uma solução salina pode ascender através da rocha por capilaridade até a altura potencial de ascensão capilar, denominada zona capilar, na qual ocorre a evaporação e conseqüente cristalização dos sais.

A zona capilar, que depende do sistema poroso da rocha, é onde ocorrem as eflorescências (quando sais se cristalizam na superfície da rocha) e subeflorescências (quando sais se cristalizam abaixo da superfície exposta da rocha) (Fig. 28).



(a)



(b)



(c)

Figura 28 - Efeitos de degradações por subeflorescência em edificação histórica (a) e em piso residencial recente (b). Em (c), exemplo de eflorescência em muro. FOTOS: M.H.B.O.Frascá.

Os sais solúveis podem ser originários do solo ou da argamassa de assentamento. Sua cristalização dentro de poros ou microdescontinuidades gera pressões capazes de superar os limites elásticos do material, causando sua quebra. Esse mecanismo pode levar à completa degradação e destruição da rocha.

Subeflorescências: é uma patologia que provoca desde modificações estéticas até a desintegração das rochas. É um fenômeno verificado predominantemente em rochas graníticas, de procedências geológicas e locais de processamento distintos, destacadamente quando assentadas com argamassa, em pisos térreos de edificações – residenciais ou comerciais (Frasca 2004, 2010; Frasca; Yamamoto, 2004, 2006, 2008).

- Condicionantes: presença de elementos químicos (principalmente sulfatos) em solução e carregados com a água da argamassa em movimentação ascendente pela placa ou ladrilho.
- Mecanismo: é a pressão de cristalização dos sais em microfissuras subparalelas à face polida da placa de revestimento, cuja intensidade depende do grau de saturação da solução salina e do tamanho do poro ou capilar. A deterioração inicia-se pelo aspecto de umidade nas bordas de ladrilhos, próximas às juntas. Com o decorrer do tempo verifica-se a perda de brilho da face polida, em áreas de dimensões e formas variáveis, conferindo-lhe aspecto opaco. Na sequência, há o inchamento, que é o surgimento de protuberâncias em pontos aleatoriamente distribuídos e, finalmente, a escamação, que é o despegamento de fragmentos de minerais, resultando em cavidades.

Eflorescências: fenômeno mais comumente observado em paredes (exteriores), nas quais as pedras foram colocadas com argamassa. Constitui na cristalização de material, usualmente esbranquiçado, que aflora a partir das juntas, na superfície da rocha, formando crostas salinas que chegam a recobrir parte das placas de revestimento.

4.3. Ensaios de alteração acelerada

Uma importante propriedade das rochas para revestimento é sua durabilidade, que pode ser comprometida pela interação com fenômenos externos.

O conhecimento dos mecanismos e da taxa de atuação dos agentes degradadores é muito útil para a seleção da rocha para determinado empreendimento e para o estabelecimento de medidas preventivas e de proteção do material rochoso para aumento da vida útil. Com esse intuito, são elaborados e realizados ensaios de envelhecimento ou alteração acelerada, em laboratório, que simulam situações potencialmente degradadoras, por meio da exposição da rocha a agentes intempéricos e poluentes atmosféricos (Tabela 16).

A avaliação dos efeitos geralmente é feita por inspeção visual ao final do ensaio, por comparação com corpos de prova padrão que não foram ensaiados; mas também pode ser realizada pela verificação da modificação na resistência mecânica após os ensaios.

O desenvolvimento dos ensaios é objeto de várias pesquisas e ações que, geralmente, resultam em normas, muitas já disponíveis pelo CEN, que os denominam ensaios de envelhecimento.

Ressalta-se que os ensaios de alteração acelerada compõem o quadro de ensaios de caracterização tecnológica e que visam o reconhecimento do potencial desempenho de materiais rochosos nas condições de aplicação e atmosféricas previamente ao seu uso e que não objetivam o reconhecimento das causas e mecanismos de degradações já ocorridas, para o que existem os estudos diagnósticos.

Tabela 16 - Ensaios de alteração acelerada em rochas ornamentais.

Ensaio	Objetivo
Intempéries	
Congelamento e degelo (ABNT NBR 15845 – Anexo C / EN 12371)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após 25 ciclos de congelamento e de degelo.
Choque térmico (EN 14066)	Verificação da eventual queda de resistência da rocha (por ensaios mecânicos) após simulação de variações térmicas bruscas que propiciem dilatação e contração constantes (Frasca; Yamamoto 2010)
Exposição a atmosferas salinas (EN 14147)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes marítimos ricos em sais e potencialmente degradadores e verificação visual das modificações decorrentes.
Ação de Poluentes	
Exposição a atmosferas de dióxido de enxofre (FRASCÁ, 2003)	Simulação, em câmaras climáticas, de ambientes urbanos poluídos (umidade e H_2SO_4), potencialmente degradadores de materiais rochosos, e verificação visual das modificações decorrentes.
Cristalização de Sais	
Imersão parcial (EN 13919 / FRASCÁ, 2003)	Imersão parcial de corpos de prova em soluções de natureza ácida (ácido sulfúrico) para simulação da cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências) na face polida dos ladrilhos.
Saturação e secagem (EN 12370)	Consiste em número determinado de ciclos de imersão de corpos de prova em solução salina e secagem em estufa. Rochas porosas (arenitos, por exemplo) podem se desintegrar antes do final do ensaio. Pouco apropriado para granitos.

4.4. Ensaios para orientação de manutenção

A principal regra da conservação é a da mínima intervenção, e a prevenção é a ação mais indicada, quando efetivada por meio de procedimentos adequados de manutenção e limpeza.

A limpeza é fundamental para valorizar as qualidades arquitetônicas das edificações e para uma adequada conservação dos materiais que as compõem. É uma operação delicada e realizada incorretamente, poderá danificar o material de maneira irreversível.

Com o intuito de orientar a limpeza e manuseio da rocha após sua aplicação, especialmente em pisos e balcões, tem sido rotineiramente utilizados ensaios laboratoriais (Tabela 17) com o objetivo de verificar a susceptibilidade das rochas a reagentes químicos presentes em produtos de limpeza aos quais pode ser exposta durante seu uso, manutenção e limpeza. Mais recentemente, passa a ser realizada a determinação da resistência ao manchamento visando avaliar, sob o ponto de vista estético, a ação deletéria de agentes manchantes, quando acidentalmente em contato com a rocha.

Para a conservação das obras e dos materiais de construção empregados, existe atualmente uma enorme oferta de produtos químicos, especialmente silicones e resinas de base acrílica, epóxi etc., que se propõem a preservá-los das intempéries e ações antrópicas, por meio de ações hifrofugantes, impermeabilizantes, consolidantes e outras. É um vasto campo em que as rochas também estão inseridas.

A despeito da importância destas ações, ainda há uma lacuna de conhecimento sobre os efetivos benefícios e a durabilidade desses produtos, especialmente nas rochas graníticas, visto que a maior parte das informações disponíveis sobre a utilização desses produtos é na conservação e recuperação de monumentos históricos europeus, predominantemente construídos com arenitos e calcários.

Com a finalidade de avaliar a efetividade de resinas aplicadas em materiais pétreos destinados a revestimentos de exteriores, experimentalmente recorre-se a ensaios de intemperismo artificial (FRASCÁ, 2004), que não tem norma específica, realizados em câmaras de condensação e radiação de luz ultravioleta que, por exposição a ciclos de umedecimento e secagem simulam as intempéries, e objetivam verificar a possível fotodegradação das resinas.

Tabela 17 - Ensaio de resistência ao ataque de produtos químicos e agentes manchantes.

Ensaio	Objetivo
Resistência ao ataque químico (ABNT NBR 13.819, Anexo H, modificado)	Consiste na exposição, por tempos predeterminados, da superfície polida da rocha a alguns reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza, para verificar-se a susceptibilidade da rocha ao seu uso.
Resistência ao manchamento (ABNT NBR 13.819, Anexo G, modificado)	Verificação da ação deletéria de agentes manchantes selecionados, de uso cotidiano doméstico e/ou comercial, quando acidentalmente em contato com a rocha. Objetiva à orientação do uso da rocha como tampos de pias de cozinha ou de mesas residenciais ou de escritórios.

5. Considerações

Neste capítulo, entre outros, pretendeu-se demonstrar a extensão e complexidade do mundo das rochas, no qual as rochas ornamentais acham-se inseridas e se destacam por sua resistência e beleza, que ensejaram sua utilização, pelo homem, tanto para expressão artística e cultural como para incremento de seu bem-estar, em suas moradias.

Embora o setor de rochas ornamentais e para revestimento venha exibindo notável avanço tecnológico e continuamente incrementando a variedade de materiais pétreos ofertados, ainda se verifica que as informações tecnológicas são relativamente pouco utilizadas para a correta seleção e aplicação desses materiais, de forma a alcançar mercados mais diversificados e a durabilidade desejada de seus produtos.

Assim, almejando contribuir para o desenvolvimento do setor, no espaço disponível, abordou-se a variedade e as propriedades dos diferentes tipos de rochas, dos recursos tecnológicos disponíveis para a caracterização destes parâmetros e sua importância na seleção e uso nas diferentes aplicações em revestimentos.

6. Bibliografia e referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2010. Informe ABIROCHAS 01/2011. São Paulo: ABIROCHAS. Disponível em http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/9576/Exporta_2010.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012/13. Rochas para revestimento de edificações – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT. 2013.

AIRES-BARROS, L. Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 1991. 384p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. C1528/09. Standard guide for selection of dimension stone for exterior use. West Conshohocken: ASTM, 2009.

____. C119/12: Standard terminology relating to dimension stone. West Conshohocken: ASTM, 2012.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS EN 1341/2000: Slabs of natural stone for external paving: requirements and test methods. London: BSI, 2000.

____. BS EN 1342/2001: Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods. London: BSI, 2001a.

____. BS EN 1343/2001: Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods. London: BSI, 2001b.

____. BS EN 12670/2002: Natural stone: terminology. London: BSI, 2002.

COSTA, A. G. Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas. Rio de Janeiro: Bem-Te-Vi, 2009. 291p.

DIB, P.P.; FRASCÁ, M.H.B.O.; BETTENCOURT, J.S. Propriedades tecnológicas e petrográficas do “Granito Rosa Itupeva” ao longo dos estágios de extração e beneficiamento. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., 1999, São Pedro. Boletim de Resumos... São Pedro: SBG/UNESP. p.154. 1999.

FEILDEN, B.M. Conservation of historic buildings. Oxford: Reed Educational and Professional Publish, 1994. 345p.

FRASCÁ, M.H.B.O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. III SRONE, Recife-PE/Brasil, 2002a.

FRASCÁ, M.H.B.O. Porosity and technological properties of granite dimension stone and polished tiles In: 9th International Congress of the IAEG - Engineering Geology for Developing Countries, 2002, Durban. 9th Congress - Engineering Geology for Developing Countries. Pretoria: SAIEG. p. 2475-2484. 2002b.

FRASCÁ, M.H.B.O. Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. São Paulo: USP, 2003. 281p. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FRASCÁ, M.H.B.O. Rocha como material de construção. In: Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo : IBRACON, 2010, v.1, p. 437-479.

FRASCÁ, M.H.B.O.; SARTORI, P.L.P. Minerais e rochas. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.) Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 15-38.

FRASCÁ, M.H.B.O.; QUITETE, E.B. Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. In: CONGRESSO IBERAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES, 7., 1999, Montevideo. Memórias... Montevideo: Asiconpat/CIB. v.2, 1999. p. 1367-1373.

FRASCÁ, M. H. B. O., MELLO, I. S. C., QUITETE, E. B. Rochas Ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo. São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CD_ROM, 2000.

- FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Efflorescence simulation on granite building stone In: II ICDS - II International Congress on Dimension Stone, 2008, Carrara. Dimension Stones - XXI Century Challenges - Proceedings. , 2008. p. 345 – 348.
- FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Ageing tests for dimension stone - experimental studies of granitic rocks from Brazil In: IAEG 2006 - 10th International Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, 2006, Nottingham - UK. IAEG 2006 Pre-Congress proceedings. Londres: The Geological Society of London, 2006.
- FRASCÁ, M. H. B. O., YAMAMOTO, J. K. Accelerated weathering of granite building stone by sulfur dioxide exposure In: STONE 2004 - 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 2004, Stockholm. 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Stockholm: ICOMOS, Sweden, 2004. v.1. p. 67 – 74.
- KLEIN, C.; HURLBURT JR., C.S. Manual of mineralogy (after James D. Dana). 21st ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 681p.
- LE MAITRE, R.W. (Ed.). A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell Scientific Publ, 1989. 193p.
- LÓPEZ JIMENO, C. (Ed.). Manual de rocas ornamentales: prospección, explotación, elaboración y colocación. Madrid: Entorno, 1996. 696p.
- MELLO, I.S.C., CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K. Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira. São Paulo: CPRM, 2011. 300p.
- MESONES, F.L.G, VILLÁN, J.E., AGGUIRRE, G.N. Manual para el uso de la piedra em la arquitectura. Bilbao: IT & B, S.L., 2001. 400p.
- MONTANI, C. Stone 2010: world marketing handbook. Faenza: Gruppo Editoriale Faenza, 2010. 265p.
- NEUENDORF, K. K. E., MEHL, J. P., Jr.; JACKSON, J. A. (ed). Glossary of Geology. American Geological Institute. <http://glossary.agiweb.org/> 2011.
- PETTIJOHN, F.J. (ed.). Sedimentary Rocks. 3rd ed. New York: Harper & Row, 1975. 628p.
- RIBEIRO, A.F. *et al.* 2002. Mármore Bege Bahia em Orolândia-Mirangaba-Jacobina, Bahia: geologia, potencialidade e desenvolvimento integrado. Salvador: CBPM. 56p. (Série Arquivos Abertos; 17).
- SILVA, Z. C. O Lioz português – De lastro de navio a arte baiana. Lisboa: Versal/Afrontamento, 2007.
- SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317p.
- TEIXEIRA, W. *et al.* (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557p.
- UNITAR – United Nations Institute of Training and Research. Stone In Brazil. 1988. 63p.
- VILES, H.A. Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: BRUNE, D. *et al.* (Ed.). The global environment: science, technology and management. Weinheim: Scandinavian Science Publ.; VCH, 1997, p. 599-609.
- WINKLER, E.M. Stone in architecture: properties, durability. 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 313p.
- WINKLER, H.G. Petrogenesis of metamorphic rocks. 4. ed. New York: Springer-Verlag, 1976. 334p.

NORMAS TÉCNICAS PARA ROCHAS ORNAMENTAIS - vigentes e em elaboração / outubro 2012 -

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)	
NBR 15012	Rochas para revestimento de edificações: terminologia
NBR 15844	Rochas para revestimento - Requisitos para granitos
NBR 15845	Rochas para revestimento - Métodos de ensaio Anexo A: Análise petrográfica Anexo B: Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água Anexo C: Coeficiente de dilatação térmica linear Anexo D: Resistência ao congelamento e degelo Anexo E: Resistência à compressão uniaxial Anexo F: Módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos) Anexo G: Flexão por carregamento em quatro pontos Anexo H: Resistência ao impacto de corpo duro
NBR 15846	Rochas para revestimento - Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos Anexo A: Projeto de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos Anexo B: Execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por insertos metálicos

CEN (European Committee for Standardization)	
EN 12670	<i>Natural stone. Terminology</i>
EN 12440	<i>Natural stone. Denomination criteria</i>

Ensaio tecnológicos	
EN 1925	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient by capillarity</i>
EN 1926	<i>Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength</i>
EN 1936	<i>Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity</i>
EN 13373	<i>Natural stone test methods. Determination of geometric characteristics on units</i>
EN 12372	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under concentrated load</i>
EN 12407	<i>Natural stone test methods. Petrographic examination</i>
EN 13161	<i>Natural stone test methods. Determination of flexural strength under constant moment</i>
EN 13364	<i>Natural stone test methods. Determination of the breaking load at dowel hole</i>
EN 13755	<i>Natural stone test methods. Determination of water absorption at atmospheric pressure</i>

EN 14146	<i>Natural stone test methods. Determination of the dynamic elastic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)</i>
EN 14157	<i>Natural stones. Determination of abrasion resistance</i>
EN 14158	<i>Natural stone test methods. Determination of rupture energy</i>
EN 14205	<i>Natural stone test methods. Determination of Knoop hardness</i>
EN 14231	<i>Natural stone test methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester</i>
EN 14579	<i>Natural stone test methods. Determination of sound speed propagation</i>
EN 14580	<i>Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus</i>
EN 14581	<i>Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient</i>

Requisitos

EN 1341	<i>Slabs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1342	<i>Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1343	<i>Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods</i>
EN 1467	<i>Natural stone. Rough blocks. Requirements</i>
EN 1468	<i>Natural stone test methods. Rough slabs. Requirements</i>
EN 1469	<i>Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12057	<i>Natural stone products. Modular tiles. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12058	<i>Natural stone products. Slabs for floors and stairs. Requirements - revisão em aprovação</i>
EN 12059	<i>Natural stone products. Dimensional stone work. Requirements</i>
Sem número	<i>Prescriptions for use of natural stones – em elaboração</i>

Envelhecimento acelerado

EN 12370	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallization</i>
EN 12371	<i>Natural stone test methods. Determination of frost resistance</i>
EN 13919	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing</i>
EN 14066	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by thermal shock –revisão em aprovação</i>
EN 14147	<i>Natural stone test methods. Determination of resistance to ageing by salt mist</i>
EN 16140	<i>Natural stone test methods. Determination of sensitivity to changes in appearance produced by thermal cycles</i>
11/30246675	<i>EN 16306. Natural stone test methods. Determination of resistance of marble to thermal and moisture cycles –revisão em aprovação</i>
11/30245859	<i>EN 16301. Natural stone test methods. Determination of sensitivity to accidental staining – revisão em aprovação</i>

Ardósias

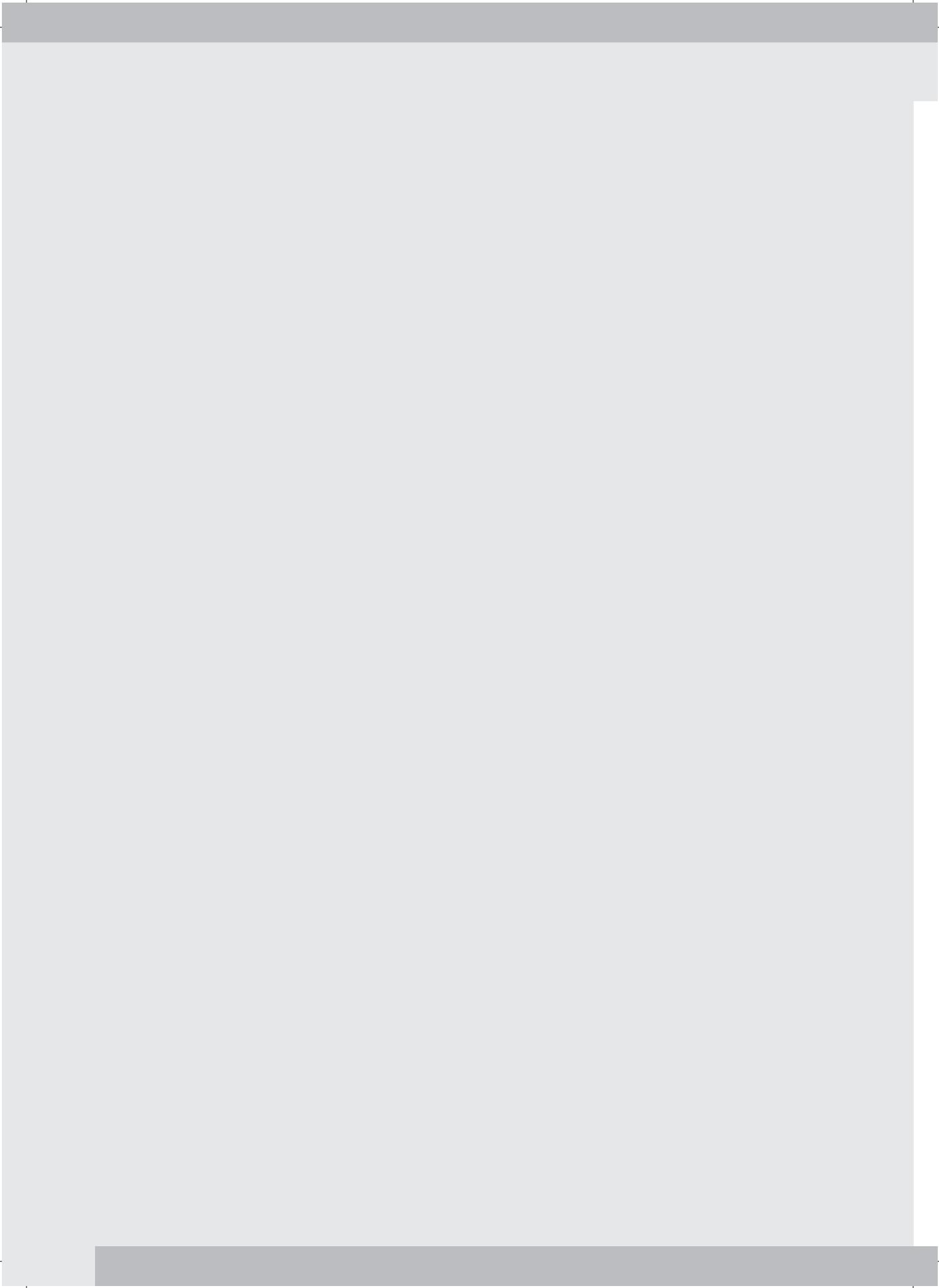
EN 12326-1	<i>Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding. Product specification</i>
EN 12326-2	<i>Slate and stone for discontinuous roofing and external cladding. Methods of test for slate and carbonate slate</i>

ASTM (American Society for Testing and Materials)	
ASTM C119	<i>Standard terminology relating to dimension stone</i>
Guias	
ASTM C1242	<i>Standard guide for selection, design, and installation of dimension stone attachment systems</i>
ASTM C1496	<i>Standard guide for assessment and maintenance of exterior dimension stone masonry walls and facades</i>
ASTM C1515	<i>Standard guide for cleaning of exterior dimension stone, vertical and horizontal surfaces, new or existing</i>
ASTM C1528	<i>Standard guide for selection of dimension stone</i>
ASTM C1722	<i>Standard guide for repair and restoration of dimension stone</i>
Especificações	
ASTM C406	<i>Standard specification for roofing slate</i>
ASTM C503	<i>Standard specification for marble dimension stone</i>
ASTM C568	<i>Standard specification for limestone dimension stone</i>
ASTM C615	<i>Standard specification for granite dimension stone</i>
ASTM C616	<i>Standard specification for quartz-based dimension stone</i>
ASTM C629	<i>Standard specification for slate dimension stone</i>
ASTM C1526	<i>Standard specification for serpentine dimension stone</i>
ASTM C1527	<i>Standard specification for travertine dimension stone</i>
Métodos de ensaio	
ASTM C97	<i>Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of dimension stone</i>
ASTM C99	<i>Standard test method for modulus of rupture of dimension stone</i>
ASTM C170	<i>Standard test method for compressive strength of dimension stone</i>
ASTM C241	<i>Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic</i>
ASTM C880	<i>Standard test method for flexural strength of dimension stone</i>
ASTM C1201	<i>Standard test method for structural performance of exterior dimension stone cladding systems by uniform static air pressure difference</i>
ASTM C1352	<i>Standard test method for flexural modulus of elasticity of dimension stone</i>
ASTM C1353	<i>Standard test method for abrasion resistance of dimension stone subjected to foot traffic using a rotary platform, double-head abraser</i>
ASTM C1354	<i>Standard test method for strength of individual stone anchorages in dimension stone</i>
ASTM C1721	<i>Standard guide for petrographic examination of dimension stone</i>
Ardósias	
ASTM C120	<i>Standard test methods of flexure testing of slate (breaking load, modulus of rupture, modulus of elasticity)</i>
ASTM C121	<i>Standard test method for water absorption of slate</i>
ASTM C217	<i>Standard test method for weather resistance of slate</i>

Capítulo 3

Pesquisa de rochas ornamentais

*Vanildo Almeida Mendes, Geólogo, CPRM/MME
Maria Angélica Batista Lima, Geóloga, CPRM/MME
Marcos Nunes Marques, Eng. de Minas, Consultor UNIMINAS*



1. Tipos e características dos depósitos

1.1. Considerações gerais

Este capítulo contempla a natureza geral dos depósitos de materiais rochosos, abordando de forma sequenciada as definições, o estudo e a identificação de um depósito com o propósito de transformá-lo em um empreendimento mineiro. A tentativa de realizar classificações precisas dos depósitos de rocha é uma tarefa árdua: todos os depósitos são diferentes, razão pela qual as pedreiras, desenvolvidas a partir deles, apresentam diferentes configurações. Ao elaborar um esboço é útil fazer referência aos principais grupos comerciais (mármore, granito e outros materiais rochosos), com ênfase nos mármore e granito.

A carência de conhecimentos prospectivos na identificação dos caracteres geológicos e tecnológicos, no sentido de qualificar e quantificar os mais variados litotipos para fins ornamentais, constitui fator marcante deste segmento produtivo brasileiro. O texto em evidência visa mostrar a importância da atividade de pesquisa, no âmbito desses empreendimentos mineiros abordando as tipologias e forma dos jazimentos, a relação entre os eventos tectônicos atuantes e a formação das ocorrências. Foram, também, feitos comentários sobre o conhecimento dos fatores geológicos, sua avaliação e colocação em bases técnicas adequadas durante a elaboração dos trabalhos de pesquisa regional. Discorre sobre a sistemática da pesquisa geológica de detalhe e da necessidade da realização do levantamento estrutural do depósito. Em sequência enfatiza-se o tratamento dos parâmetros obtidos, mediante projeção estereográfica, visando definir o campo de tensões atuantes sobre a jazida e a partir da elaboração do bloco de partição verifica-se a melhor direção para o corte, de forma a propiciar a abertura da frente de extração.

1.2. Tipologia dos jazimentos

Os jazimentos de rochas ornamentais acham-se intensamente controlados pelos eventos tectônicos atuantes em determinada região. Portanto, para o perfeito conhecimento e estudo de uma jazida deve-se levar em consideração o contexto tectônico-estrutural da área a ser prospectada e sua ambiência geológica, fatores estes que interferem diretamente na formação da ocorrência a ser trabalhada, tipologia, formato e dimensões do corpo.

No setor das rochas ornamentais, os denominados granitos constituem, na realidade, as litologias ricas em silicatos, sendo também denominadas por esse motivo, por alguns autores, como rochas silicáticas. Englobam o granito propriamente dito e outras rochas como granodioritos, gabros, sienitos, monzonitos, dioritos, gnaisses, migmatitos, xistos, quartzitos, metaconglomerados, calcossilicáticas e milonitos.

Em virtude de sua maior continuidade espacial, os depósitos de granito podem ser considerados como maciços montanhosos isotrópicos; além das irregularidades genéticas do material, eles apresentam características espaciais muito mais constantes. Do ponto de vista morfológico, os depósitos de granito apresentam-se com formas arredondadas, geralmente precedidas pela presença de massas subsferoidais com volume variando desde poucos a centenas ou milhares de metros cúbicos, separadas, por processos físico-químicos, do afloramento rochoso no qual se encontravam. Esses corpos, conhecidos como matacões, são remanescentes dos processos de alteração superficial, essencialmente visíveis nas descontinuidades das rochas cujas superfícies (jun-

tas, fraturas) geram planos de fraqueza dentro da rocha direcionando a alteração e, separando a porção delimitada por estes planos do restante da massa rochosa. Posteriormente, desenvolve-se uma esfoliação concêntrica que conduz, de forma mais ou menos rápida, à formação de corpos subarredondados a arredondados de diferentes dimensões. Devido à tipologia dos depósitos, a extração de blocos de granitos ornamentais, no Brasil, é feita a partir de jazimentos a céu aberto, associados a maciços rochosos (*stocks*, batólitos etc.) ou a grandes praças de matacões. Em muitos casos, a lavra se inicia nos matacões dispostos no terreno constituindo uma praça, evoluindo para a lavra em maciço por meio de bancadas, onde é formada a pedreira propriamente dita. A altura, disposição das bancadas e profundidade das pedreiras variam em função do condicionamento geológico de cada jazida.

No que concerne às rochas cristalinas ditas metamórficas, tais como metaconglomerados, quartzitos, gnaisses e migmatitos, a forma de ocorrência pode variar desde bolsões, lentes a grandes estratos de amplitude regional, resultantes da ação dos processos metamórficos atuantes em determinada região. No caso das grandes unidades geológicas aflorantes, como os terrenos gnáissico-migmatíticos, as condições para a existência de jazimentos de rochas ornamentais vem determinadas, essencialmente, pela mineralogia que define a cor do litotipo e pela ação dos eventos tectônicos que imprime o padrão estrutural à rocha.

As tipologias dos jazimentos de calcários cristalinos associam-se em sua grande maioria ao tipo lenticular havendo porém casos de depósitos relacionados à forma estratiforme, exemplificados pelos mármore Rosa Precioso e Imperial Pink, localizados no interior do Estado da Bahia. Tratando-se de depósitos de mármore de origem sedimentar, em geral, as ocorrências são do tipo estratiforme e pertencem às grandes unidades geológicas que compõem a cobertura fanerozoica das bacias sedimentares do escudo brasileiro. Como exemplos desses jazimentos têm-se o Crema Marfim extraído da Formação Jandaíra na Bacia do Apodi, no território cearense, e o denominado Bege Bahia, que constitui um calcário de idade quaternária pertencente à Formação Caatinga aflorante em áreas dos municípios de Ouroândia e Juazeiro no Estado da Bahia.

1.3. Os eventos tectônicos atuantes e a formação dos jazimentos das rochas ornamentais brasileiras

O território brasileiro, devido à excepcional diversidade geológica do seu embasamento cristalino, evidencia uma ampla vantagem competitiva em termos de rochas ornamentais, mais precisamente de litotipos ricos em minerais silicáticos, conhecidos como granitos. Os mármore encontram-se dispostos em reservas tanto de origem sedimentar, quanto metamórficas, sendo estas últimas localizadas em rochas do embasamento Pré-cambriano. Vale ressaltar que a grande incidência de eventos tectônicos atuantes em nosso território, notadamente durante o Proterozoico, favoreceu a formação de depósitos com rochas ornamentais de excepcional beleza, constituídas por tipos considerados exóticos, de reconhecida aceitação no mercado internacional de materiais pétreos.

Em termos geológicos, o país mostra uma diversidade de ambientes geotectônicos, cuja história se estende do Arqueano ao recente. Sua evolução é marcada por uma grande mobilidade tectônica com alternância de regimes compressivos e distensivos. A cratonização de seu embasamento e a consequente formação de jazimentos de rochas com fins ornamentais ocorreram de maneira progressiva e cíclica, em pelo menos cinco eventos tectonomagmáticos, relacionados ao Arqueano,

Paleoproterozoico, Mesoproterozoico, Neoproterozoico e Mesozoico. Tais eventos propiciaram a consolidação do continente, por meio da colagem de núcleos arqueanos de grande extensão com fragmentos menores, envolvidos por faixas dobradas proterozoicas, e pela formação de bacias sedimentares cretácicas, em sua borda leste, portadoras de mármore de boa qualidade.

Tabela 1 - Exemplos de Jazimentos de rochas ornamentais no Brasil.

Classificação petrográfica	Província geológica	Idade da rocha	Nome comercial	Estado e município
Álcali feldspato Riolito	Amazonas	Paleoproterozoico	Pau-Brasil	Vila do Canoas-AM
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Branco Ceará	Santa Quitéria-CE
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Branco Cristal Quartzo	Forquilha-CE
Trondhjemito	Borborema	Paleoproterozoico	Casablanca	Pedra Branca-CE
Migmatito metatexitico	Mantiqueira	Paleoproterozoico	Preto Indiano	Cach. Itapemirim-ES
Leucogranito Gnaissificado	São Francisco	Paleoproterozoico	Branco Kashmir	Jequié-BA
Leucogranito	São Francisco	Paleoproterozoico	Cacatua Bahia	Anguera-BA
Sienito	São Francisco	Paleoproterozoico	Café Bahia	Riacho Santana-BA
BIF - Itabirito	São Francisco	Paleoproterozoico	Iron Red	Itabirito-MG
Ortognaisse Migmatizado	São Francisco	Paleoproterozoico	Kinawa Bahia	Rui Barbosa-BA
Ortognaisse	São Francisco	Paleoproterozoico	Macajuba	Rui Barbosa-BA
Charnockito	São Francisco	Paleoproterozoico	Verde Candeias	Candeias-MG
Charnockito	Amazonas	Mesoproterozoico	Blue Star	Machadinho d'Oeste-RO
Monzogranito	Amazonas	Mesoproterozoico	Café da Amazônia	Paraíso-MT
Ortognaisse Migmatizado	Borborema	Mesoproterozoico	Rosa Imperial	Garanhuns-PE
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Amarelo Sta Cecília	Ecoporanga-ES
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Amarelo Veneziano	Nova Venécia-ES
Ortognaisse	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Arabesco	Águia Branca-ES
Mármore	Mantiqueira	Mesoproterozoico	Pinta Verde	Cach. de Itapemirim- ES
Dumortierita- Quartzito	São Francisco	Mesoproterozoico	Azul Imperial	Macaúbas-BA
Monzogranito	Amazonas	Neoproterozoico	Forest Green	Rio Crespo-RO
Dacito	Borborema	Neoproterozoico	Azul Sucuru	Serra Branca-PB
Pegmatito	Borborema	Neoproterozoico	Branco Fuji	Parelhas-RN
Sienito	Borborema	Neoproterozoico	Marrom Imperial	Bom Jardim-PE
Gabro-norito	Borborema	Neoproterozoico	Preto San Marcos	Casserengue-PB

Biotita Granito	Borborema	Neoproterozoico	Verde Ceará	Meruoca-CE
Granito Grosseiro	Borborema	Neoproterozoico	Verde Meruoca	Alcântaras-CE
Biotita Granito Vermelho	Borborema	Neoproterozoico	Vermelho Filomena	Alcântaras-CE
Granada Sienogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Amarelo Ornamental	Barra de São Francisco-ES
Leucosienogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Branco Dallas	Barra de São Francisco-ES
Leucogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Branco Marfim	Barra de São Francisco-ES
Granito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Cinza Andorinha	Castelo-ES
Biotita Granito Porfírico	Mantiqueira	Neoproterozoico	Cinza Corumbá	Castelo-ES
Norito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Preto São Gabriel	São Gabriel da Palha-ES
Charnokito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Verde Labrador	Baixo Guandu-ES
Monzogranito Porfírico	Mantiqueira	Neoproterozoico	Vermelho Bragança	Bragança Paulista-SP
Biotita Monzogranito	Mantiqueira	Neoproterozoico	Vermelho Capão Bonito	Capão Bonito-SP
Nefelina-Sodalita-Sienito	São Francisco	Neoproterozoico	Azul Bahia	Itaju de Colônia-BA
Metaconglom. Polimítico	São Francisco	Neoproterozoico	Marinace	Ibotirama-BA
Arenito	São Francisco	Neoproterozoico	Rosa Bahia	Palmeiras-BA
Calcário Sedim.r Biocrítico	Borborema	Cretaceo Inferior	Bege San Marino	Limoeiro do Norte-CE.
Calcário Brechado	São Francisco	Quaternário	Bege Bahia	Ourolândia-BA.

Elaboração dos autores, Atualização de Hieres Vetorazzi e Nuria Castro (CETEM/MCTI, 2013).

No que concerne à geotectônica, o território brasileiro está dividido em 8 (oito) Províncias Geológicas, todas passíveis de conter jazimentos de rochas ornamentais (Tabela 1). Os estados situados na Província Mantiqueira (Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) respondem por 58% da produção nacional, seguidos dos pertencentes à Província São Francisco (Bahia e Minas Gerais) com cerca de 30%. A Província Borborema, que abrange os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e porção norte da Bahia, é responsável por 10%, enquanto as Províncias Tocantins (Goiás e Mato Grosso do Sul), Amazonas Norte e Amazonas Sul, contemplam 2% do total da produção brasileira. As Províncias do Paraná e Paraíba também apresentam uma diversidade geológica favorável à ocorrência de rochas ornamentais, apesar de não apresentarem grandes produções desse bem mineral.

O Arqueano acha-se representado por terrenos antigos, constituintes da infraestrutura de dois extensos núcleos cratônicos, denominados de Amazônico e São Francisco, além de uma série de fragmentos menores de composição gnáissico-migmatítico e migmatítico-granitoide, metamorfisa-

dos na fácies anfibolito alto a granulito, onde dominam ortognaisses bandados de composição tonalito-trondhjemito-granodiorítica com alternância de bandas máficas e félsicas (BIZZI *et al.*, 2001). Esta associação litológica encerra um ambiente propício à ocorrência de rochas ornamentais de alta cotação internacional, notadamente em leucogranitos (granitos brancos), em áreas onde afloram rochas de composição trondhjemítica e rochas verdes movimentadas (terrenos charnoquíticos).

Ainda no Arqueano, inclusos nos terrenos gnáissicos-migmatíticos, despontam terrenos tipo “Greenstone Belts”, caracterizados por conter sedimentos imaturos e vulcanismo máfico e félsico, metamorfisados na fácies xisto verde, sendo intrudidos por um cortejo de granitoides sódicos, tonalíticos e granodioríticos. No que tange a granitos ornamentais, o baixo grau de recristalização metamórfica desta sequência confere a tais rochas poucas propriedades para este uso. Como exceção, têm-se os corpos de composição tonalito-granodiorítica, resultantes dos processos de fusão parcial das sequências vulcano-sedimentares de baixo grau, cujo aspecto textural lhes pressupõe um bom aproveitamento para fins ornamentais. Associadas aos terrenos arqueanos, mais precisamente em zonas rifteadas da crosta continental, têm-se sequências metassedimentares paleoproterozoicas, contendo vulcanismo e sedimentos pelítico-psamíticos, metamorfisados na fácies xisto verde a anfibolito, com intrusões máfico-ultramáficas. Tais mafitos apresentam possibilidades de encerrar excelentes jazimentos de granitos ornamentais de tonalidades escuras, notadamente preta a verde-escura, de grande aceitação no mercado.

O Paleoproterozoico está representado por faixas móveis, envolvendo os núcleos e fragmentos cratônicos primitivos. São resultantes da agregação de continentes preexistentes, durante a Tectogênese Transamazônica, sendo constituídos por terrenos metamórficos de alto grau (fácies anfibolito superior a granulito). Em função do intenso regime tectônico compressivo atuante nesses cinturões, notadamente nas zonas sujeitas a subducção, teve início a reagregação das massas continentais, produzindo deformações nas rochas (DELGADO; PEDREIRA, 1994). A culminação de tais processos resultou no desenvolvimento de expressivos arcos magmáticos, caracterizados por uma associação plutônica cálcioalcalina, contendo tipos dioríticos, gabros, tonalitos, charnokitos e granodioritos. Tais cinturões, constituídos principalmente por gnáissicos, migmatitos e ortognaisses de composição variada, encerram, juntamente com os núcleos e fragmentos cratônicos antigos, uma grande variedade de tipos litológicos com notória perspectiva de aproveitamento para fins ornamentais.

Os terrenos gnáissicos de alto grau, em conjunto com os termos charnokíticos, granulíticos e anortosíticos, catalogados em ambiência semelhante nas Províncias São Francisco (amplas porções da Bahia e Minas Gerais), Mantiqueira (Norte de São Paulo) e Borborema (Maciço de Santa Quitéria-Ceará e Maciço Pernambuco-Alagoas) constituem áreas com notória vocação para materiais nobres, tipo exportação, formando litotipos exóticos sem equivalentes nos mercados europeus e norte-americano. Como exemplo de tais jazimentos destaca-se o Verde Boa Nova e o Dourato, ambos na Bahia, as ocorrências de rochas esverdeadas tipo Verde Candeias e Verde Lavras aflorantes no sul de Minas Gerais, os brancos Kashmir e Cacatua Bahia, expostos no estado homônimo e os tipos Casa Blanca e Branco São Paulo, oriundos do Estado do Ceará.

Associados aos migmatitos e ortognaisses migmatizados têm-se os denominados granitos fantasia, que constituem litotipos de estruturas complexamente dobradas, decorrentes de um avançado estágio de deformação tangencial que lhes empresta uma feição designada comercialmente como “movimentada”. Dentre as rochas dessa família, atualmente lavradas e comercializadas, destacam-se o Granito Mogno Bahia, o Kinawa Bahia e o Macajuba, produzidos em Rui Barbosa, e o Tropical Bahia extraído em Monte Santo; além dos granitos movimentados de cor-de-rosa tipo

Kinawa oriundos de Minas Gerais e dos denominados Rosa Imperial e Relíquia, lavrados em exposições do Complexo Belém do São Francisco, em Pernambuco. Também pertencentes a estes cinturões, tem-se os ortognaisses migmatizados comercialmente conhecidos como Red Symphony, Yellow Symphony e Coliseum Gold, explorados no Ceará. Inclusos neste período, têm-se os ortognaisses leucocráticos do Espírito Santo, conhecidos no mercado pelos nomes de Granito Amarelo Veneziano, Arabesco e Amarelo Santa Cecília Clássico.

Circunscritos a essa fase de cratonização à qual foi submetida à crosta, notadamente nas áreas de domínio cratônico e dos cinturões móveis de alto grau, têm-se intrusões de sienitos, gabros, piroxenitos, anfíbolitos, anortositos e serpentinitos. Este evento datado do final do Paleoproterozoico foi responsável pela formação de rochas com elevado interesse comercial, exemplificados pelos sienitos aflorantes em Riacho Santana e conhecidos pelo nome de Granito Café Bahia.

Ainda relacionados a essa fase, têm-se os granitos verdes oriundos de magmas charnokíticos, aflorantes na região de Jequié-Bahia, sul de Minas Gerais (Província São Francisco), norte de São Paulo (Província Mantiqueira) e em exposições de fragmentos cratônicos, detectados nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba (Província Borborema). Também pertencente a esse período, registra-se a ocorrência do granito Preto Solimões catalogado na Província Amazonas Sul, mas precisamente nos plutonitos da Suíte Intrusiva Jamari.

Após a cratonização das faixas móveis paleoproterozoicas iniciou-se, no Mesoproterozoico, um novo ciclo de sedimentação acompanhado em certos casos de vulcanismo. Tal sedimentação processou-se em áreas periféricas e intracratônicas, cuja evolução resultou nos Cinturões Móveis Meso a Neoproterozoicos e nas faixas de Dobramentos Brasileiras. Tais terrenos acham-se expostos em áreas do Nordeste, Sul e Centro-Oeste do Brasil (Províncias Borborema, São Francisco, Mantiqueira e Tocantins). Vem a se constituir de extensos pacotes de metassedimentos finos a grossos com intercalações de vulcânicas máficas e riolitos, contendo variações granulométricas que vão desde o filito ao metaconglomerado. Em termos de aproveitamento ornamental destaca-se neste contexto o metarenito Rosa Bahia da Região de Lençóis; os riolitos, com quartzo azulado de Paramirim, denominados de Azul Paramirim, além dos internacionalmente conhecidos dumortierita-quartzitos, comercializados com a denominação de Azul Macaúba ou Azul Imperial. Associados a este período, ocorrem os granitos Amazon Star, Marrom Castor, Amazon Flower e Blue Star, pertencentes à suíte intrusiva Serra da Providência no Estado de Rondônia.

Relacionados ao Neoproterozoico, mas associados às faixas dobradas, têm-se os granitos Tropical Fashion, Tropical Gaugan, Verde Reis Imperial, Marinace e Verde Marinace, extraídos a partir de metaconglomerados, localizados em exposições nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia. Pertencentes a essa fase, ocorre à formação de ardósias e quartzitos da região de Papagaio em Minas Gerais, que constitui o maior produtor nacional de pedras naturais, seguido dos estados nordestinos.

A culminação dos eventos do Neoproterozoico, na estabilização da infraestrutura do embasamento cristalino brasileiro, resultou na deposição de sedimentos de ambiência marinha marginal em zonas pericratônicas, originando faixas de dobramentos marginais constituídos por sequências metassedimentares com denominações litoestratigráficas diversas. Como exemplos de rochas ornamentais, resultante deste contexto geológico, citam-se o mármore rosado designado comercialmente de Rosa Patamuté e Flor de Pêssego, aflorantes respectivamente em Itapebi e Patamuté, todas no Estado da Bahia, além dos mármore brancos do Espírito Santo e dos calcários pretos catalogados em Frecheiras no Ceará, Irecê na Bahia e em áreas de Goiás.

Durante o Neoproterozoico, ocorreram intensos processos de granitização ao longo do escudo brasileiro, fato este, que resultou na formação de inúmeras jazidas de rochas ornamentais, representadas pelos granitos cinzas e leucocráticos do Espírito Santo (Cinza Andorinha, Cinza Ocre, Cinza Corumbá e Branco Marfim). Têm-se ainda os granitos vermelhos tipo Capão Bonito, Bragança Paulista e Colorado Gaúcho, aflorantes na Província Mantiqueira (São Paulo e Rio Grande do Sul), o Red Brasil, oriundo de Goiás (Província Tocantins), além dos Granitos Vermelho Ventura e Ipanema, explorados em Pernambuco, e dos granitos Verde Meruoca, Filomena, Verde Ceará e Rosa Iracema, explorados na Serra da Meruoca, no Estado do Ceará (Província Borborema).

Posicionados nesse período ocorrem os “cumulatus” de mela-sienito aflorantes em Bom Jardim, no Estado de Pernambuco, e conhecidos internacionalmente como Granito Marrom Imperial. Datadas do final do Neoproterozoico, têm-se as intrusões gabro-noríticas da Província Borborema (Casserengue-Paraíba), que resultaram no Granito Preto São Marcos, equivalente a outros tipos similares do país como o Preto Tijuca, aflorante na Província Mantiqueira. Dessa época datam as intrusões charnokíticas que resultaram na formação do Granito Verde Ubatuba em São Paulo, e de tipos similares detectados em outros pontos do território nacional, mais particularmente, em exposições intrudidas em terrenos antigos da Província Borborema, em áreas do Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará.

Datados do final do Neoproterozoico, mais precisamente da fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro, afloram nas regiões Nordeste e Sudeste do país boas exposições de rochas de textura grosseira, constituindo corpos de granitos pegmatoides e de pegmatitos homogêneos. Estes litotipos estão sendo atualmente explotados para fins ornamentais, constituindo rochas de elevada cotação internacional, devido principalmente a grande dimensão dos seus constituintes minerais, aliado ao seu aspecto heterogêneo e multicolorido de que lhes confere características peculiares interessantes. Como exemplos podem ser citados o Rosa Florença e o Rosa Algodão, extraídos na Paraíba, além do Branco Fuji, lavrado em pedreiras localizadas no Rio Grande do Norte (Província Borborema).

Associados a essa fase da evolução da nossa plataforma, mais precisamente em zonas de rifteamento em um ambiente de intraplacas tectônicas com magmas sub-saturados em sílica, se têm corpos de sodalita-nefelina sienitos conhecidos internacionalmente como “Azul Bahia” e catalogados em Itaju de Colônia e Itarantim na Bahia. Datados dessa fase, afloram os diques de riodacitos porfiríticos azulados, conhecidos como “Azul Sucuru”, oriundos de Serra Branca e Sumé, ambas no Estado da Paraíba.

Durante o Fanerozoico, o território brasileiro foi submetido a um regime de extensão crustal, que deu origem a amplas bacias sedimentares intracratônicas. No Juro-Cretáceo, seguiu-se a formação de estreitas bacias tipo rifte com gênese ligada aos esforços tensionais que culminaram com a separação das massas continentais africana e sul-americana e, conseqüentemente, com a abertura do Atlântico-Sul. Essas bacias acumularam espessa seqüência de sedimentos clásticos e carbonáticos, cujas litologias apontam para um baixo aproveitamento para fins ornamentais, com exceção dos calcários da Formação Jandaíra, aflorantes em parte da Bacia do Apodi no Estado do Ceará, onde são explorados os mármorees Crema Porto Fino e Bege San Marino (MENDES, 2002).

Posteriormente, depósitos continentais de idade Paleógeno, Neógeno e Quaternário formaram extensos tabuleiros, além de acumulações aluvionares e eólicas restritas aos vales atuais. Como representante desse período ocorrem os calcários travertinos da Formação Caatinga, originados a partir do retrabalhamento fluvial dos carbonatos existentes na Chapada Diamantina. Esses mármorees são conhecidos nacionalmente como Bege Bahia ou Mármore Travertino e constituem uma das mais importantes e tradicionais frentes de exploração de mármore do país.

2. Pesquisa regional

O setor de rochas ornamentais compreende uma série de segmentos, tais como: pesquisa geológica, caracterização tecnológica, operações de lavra, transporte, beneficiamento e comercialização, cujo conhecimento integrado possibilita a realização de bons negócios para a região ou país que assim procede.

Neste tópico é abordada a pesquisa geológica regional para rochas com fins ornamentais. Esta atividade no âmbito institucional tem por finalidade auxiliar as pesquisas geológicas em nível de detalhe e conseqüentemente, a geração de novas pedreiras. Por conseguinte, os programas exploratórios regionais constituem uma importante ferramenta para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais em determinada região.

A finalidade de uma prospecção deste âmbito é gerar informações de cunho geológico que possibilitem a elaboração de políticas públicas para o setor, assim como o investimento de recursos privados na pesquisa e exploração de novas pedreiras. Os objetivos primordiais desta atividade estão concentrados na avaliação do potencial geológico regional em termos de rochas ornamentais e na elaboração da carta geológica previsionial ou de potencialidades dessas rochas. Tal documento deverá conter informações sobre direitos minerários, situação das condições de infraestrutura, tipos possíveis de rochas a serem detectadas em determinada área, seguida da definição dos principais centros produtores naquela região.

Como resultado desta atividade prospectiva, três aspectos do problema deverão ser observados e trabalhados de forma sistemática visando propiciar o desenvolvimento e consolidação de um programa exploratório com o intuito de atrair capitais públicos e privados de forma a consolidar um futuro polo produtor:

1. Divulgação apropriada das informações, em catálogos e mapas de atratividade, nos setores interessados, de forma a obter uma avaliação comercial dos tipos detectados, além de atrair investimentos na pesquisa e lavra de novos materiais.
2. Realização de diagnósticos setoriais sobre a questão da pesquisa, condições de lavra, infraestrutura, transporte, beneficiamento e comercialização.
3. Execução de um documento temático sobre cada região estudada contendo a descrição geológica dos tipos prospectados, fotos das placas polidas, resultados de avaliações petrográficas e dos ensaios de caracterização tecnológica, com parecer sobre cada material pesquisado. Incluindo, ainda, a sua aplicabilidade, reservas geológicas, perspectivas de mercado, possibilidades de exploração, além de fotos dos litotipos e dos locais previamente selecionados para implantação de possíveis frentes de exploração.

2.1. Sistemática para pesquisa de âmbito regional

Sabe-se que fatores de cunho geológico interferem diretamente na existência de faixas potenciais, na forma e distribuição das rochas para fins ornamentais e na vocação dos terrenos para a presença de materiais nobres ou comuns. Em termos exploratórios regionais é de suma importância a definição do arcabouço tectônico estrutural e dos ambientes geológicos existentes, uma vez que permite a elaboração de mapas previsionais e de ocorrências para os diversos tipos de rochas.

Pode-se concluir que a análise e interpretação de bons mapas geológicos regionais, atrelados aos trabalhos de interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélites e dos dados aerogeofísicos disponíveis, permitem definir os fatores geológicos intervenientes na formação dos jazimentos de rochas ornamentais e as zonas prospectáveis em nível regional para materiais nobres ou comuns.

Convém frisar que fatores tais como: cor, tonalidade, textura, formação estrutural, o aspecto estético da rocha, assim como o aparecimento de feições indesejáveis nas operações de lavra são controlados pela geologia e devem ser avaliados em um estudo geológico de cunho regional, sendo em seguida colocados em bases técnicas adequadas visando atribuir índices de favorabilidade a determinada área.

Para a perfeita compreensão do potencial geológico de determinada região, em rochas ornamentais, faz-se necessário obter os controles geológico, estrutural, litológico e estratigráfico das ocorrências detectadas e conseqüentemente dos prováveis tipos litológicos prospectáveis.

2.2. Conceito do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG)

Levando em consideração os fatores acima mencionados e com a finalidade de avaliar a qualidade e dar uma ideia de valor de mercado das rochas ornamentais em uma pesquisa geológica regional, Barbosa e Paiva (1998) criaram o conceito de índice de Atratividade Econômico-Geológica. Este consiste na hierarquização dos tipos graníticos selecionados em mapas de potencialidade de rochas para fins ornamentais, mediante as notas atribuídas a um conjunto de fatores intervenientes na avaliação destes jazimentos. Este índice baseia-se na soma dos pesos considerados para cada um dos seguintes fatores: cor da rocha (FC), textura (FT), homogeneidade (FH), dureza (FD), nobreza (FN), infraestrutura (FI), estrutura (FE) e modo de ocorrência (FM). Desta forma quanto maior o IAEG, mais atraente será a rocha para o mercado. Na tabela 2, encontram-se especificadas as pontuações atribuídas a cada fator considerado, visando à avaliação mercadológica da rocha.

Salienta-se que, além da adoção deste índice, cuja pontuação das rochas catalogadas deve acompanhar a nota explicativa contida na margem esquerda do mapa previsional de atratividade econômico-geológica, faz-se necessário também a elaboração de uma legenda elucidativa, que contemple a descrição da unidade geológica e o tipo de rocha ornamental cadastrada a qual está associada. Tal sistemática deve-se a necessidade de tornar o mapa prospectivo autoexplicativo de fácil compreensão e manuseio pelo setor empresarial.

2.3. Controles litoestratigráfico e estrutural dos jazimentos

Em uma prospecção geológica regional, torna-se imprescindível definir as relações entre as unidades geológicas mapeáveis, seu contexto tectono-estrutural e as ocorrências de rochas ornamentais passíveis de serem detectadas. Como resultado desta assertiva, podem ser estabelecidos os controles geológicos e estruturais dos jazimentos e a continuidade dos mesmos, facilitando a descoberta e pesquisa de tipos similares aos catalogados.

Inicialmente tem que se definir o arcabouço tectônico da região estudada, seu contexto geológico e estratigráfico regional, seguido do conhecimento textural, petrográfico, mineralógico, estrutural das unidades mapeadas e do posicionamento cronológico das mesmas. Posteriormente, estes parâmetros devem ser interpretados e correlacionados com as ocorrências já conhecidas,

com o objetivo de obter o condicionamento geológico que as originou. Para exemplificar melhor o conceito escolheu-se o denominado granito “Rosa Imperial”, cujo arcabouço geológico é formado por migmatitos ortoderivados de textura homogênea, com neossoma de cor-de-rosa suave, estando o mesossoma relacionado com rochas de composição quarto-diorítica. Com base nestes dados pode-se programar a prospecção destas rochas ditas movimentadas, tendo como área alvo os migmatitos de neossoma róseo-avermelhado, ricos em feldspato potássico, aflorantes nas áreas de terrenos antigos do Pré-Cambriano brasileiro.

Tabela 2 - Índices de Atratividade Econômico-Geológica. Modificado de Paiva e Barbosa, 2000.

Índices de atratividade econômico-geológica (IAEG)	
Fator Cor – FC (cores credominantes)	Valores do FC
Azul	17
Branca a Amarela	14
Verde ou Marrom	14
Rochas Movimentadas de Cores Vermelhas e Rosa	10
Salmão	7
Vermelha	6
Rosa	6
Fator Textura-FT (texturas predominantes)	Valores do FT
Equigranular e Porfírica	0 a 10
Porfírica Serial a Equigranular e Lamelar	0 a 10
Fator Homogeneidade – FH (veios, xenólitos e marcas de oxidação)	Valores do FH
Alta	0 a 10
Média	0 a 10
Baixa	0 a 10
Fator Fraturamento – FF (densidade do fraturamento)	Valores do FF
Densidade Baixa (extração de blocos p/teares)	10
Densidade Média (extração de blocos p/talha bloco)	8
Densidade Alta	5
Muito Alta	4
Altíssima	0
Fator Modo de Ocorrência – FM (modo de ocorrência)	Valores do FM
Maciço + Matacões	10
Maciço	6 a 8
Matacões Grandes	5
Matacões Menores	4
Fator Estrutura – FE (estruturas predominantes)	Valores de FE
Dobradas ou Movimentadas	10
Orientada ou Foliada	5
Maciça	0

Fator de Nobreza – FN (posicionamento da rocha no mercado)	Valores do FN
Mercado externo, sob a forma de blocos, chapas e padronizados	20
Mercado externo, sob a forma de blocos	18
Mercado interno, por vezes externo, sob a forma de blocos, chapas e padronizados	14 a 15
Mercado interno na forma de chapas e padronizados	10 a 12
Mercado interno de padronizados	0 a 5
Fator Dureza – FD (dureza relativa)	Valores do FD
Mármore (dureza baixa)	7
Sienitoide (dureza média)	6
Granitoide (dureza alta)	5
Quartzito (dureza muito alta)	2
Fator Infraestrutura – FI (infraestrutura disponível)	Valores do FI
Distância menor que 10km e dispendo de toda infraestrutura	8
Distância igual ou maior do que 10km	6
Distância maior do que 20km	5
IAEG= FC+FT+FH+FM+FR+FN+FD+FI	

As rochas representadas em mapas são avaliadas qualitativamente e quantitativamente segundo os seguintes intervalos do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG): muito alto entre 80 e 100, alto entre 70 e 80, médio entre 60 e 70, e baixo entre 40 e 60.

As rochas representadas em mapas são avaliadas qualitativamente e quantitativamente segundo os seguintes intervalos do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG): muito alto entre 80 e 100, alto entre 70 e 80, médio entre 60 e 70, e baixo entre 40 e 60.

Esta conceituação aplica-se a todos os tipos de controle geológico-estratigráfico relativo a outros litotipos semelhantes tais como: Frevo, Kinawa, Juraparaná e Relíquia.

Outro exemplo de controle litológico são os melasienitos aflorantes em Bom Jardim e Toritama, ambas situadas no Agreste setentrional do estado de Pernambuco. Estes litotipos acham-se encaixados por quartzo-sienitos ricos em potássio, constituindo rochas shoshoníticas peralcalinas, cor lilás a amarronzada. O litotipo denominado “Marrom Imperial” compreende cumulus ricos em k-feldspatos de textura porfírica e coloração marrom escura, aflorantes sobre a forma de lentes encaixadas nos quartzo-sienitos de amplitude regional.

O contexto tectônico atuante em uma determinada região, também constitui uma tipologia de controle na formação de jazimentos de rochas para fins ornamentais. Como exemplos têm-se o “Granito Via Láctea”, aflorante no Agreste de Pernambuco, cuja tonalidade azulada resultou do aumento de temperatura provocada pela ação de falhamento transcorrente atuante naquela região. Ainda associados ao controle tectônico das falhas transcorrentes têm-se os granitos Sunset Red e Red Brown. O primeiro tipo compreende uma rocha de coloração vermelha milonitizada, com textura porfírica, rica em feldspato potássico, constituindo um álcali-feldspato granito pertencente à Suíte Itaporanga, resultante da ação de falhas transcorrentes que imprimiram estruturação e feições típicas de zonas miloníticas, gerando um excelente efeito estético e decorativo. O mesmo ocorre com o segundo tipo originado da atuação de falhas transcorrentes sobre os plutonitos da

Suíte Peralcalina Vila Moderna. Com base no exposto, verifica-se que o melhor local para encontrar litotipos semelhantes aos referenciados constituem as falhas transcorrentes atuando por sobre rochas plutônicas, especialmente nas zonas de transtração.

Outros exemplos de controle tectônico-estratigráfico são as rochas associadas à fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro, exemplificadas nos diques de riodacitos azulados e nos granitos grosseiros de textura pegmatoide, ambos aflorantes nos terrenos proterozoicos da Província Borborema. Tipos semelhantes podem ser encontrados em eventos relacionados ao mesmo período geológico, em terrenos aflorantes nos Estados da Bahia e Ceará.

2.4. Fatores geológicos a serem considerados numa pesquisa geológica regional

Os elementos geológicos identificados durante os trabalhos de fotointerpretação e compilação bibliográfica, junto com os elementos observados *in situ* nos estudos de afloramentos, tais como: frequência, densidade e espaçamento do fraturamento existente, presença de enclaves e veios quartzo-feldspáticos, constância litológica e deformação dúctil, aliados aos caracteres mineralógicos e petrográficos das rochas, podem ser extrapolados para todo corpo rochoso. Faz-se necessário observar durante os trabalhos de campo se os caracteres geológicos identificados, nos diversos afloramentos estudados de uma determinada unidade geológica, possuem uniformidade e continuidade, parâmetros necessários para a implantação de uma pedreira de rocha ornamental.

A pesquisa regional tem por finalidade fornecer elementos para uma melhor compreensão sobre o posicionamento geológico das ocorrências a serem detectadas e os fatores intervenientes na sua geração, como a cor, textura, padrão estrutural, homogeneidade, existência de variações faciológicas e enclaves, fatores estes que influem diretamente no aspecto estético da rocha. Salienta-se que o controle destes fatores constitui o norte científico para orientar a pesquisa de rochas ornamentais, em uma determinada região, propiciando a descoberta de novos depósitos.

A contínua evolução do setor e a aceitação de novos tipos de rochas, tais como milonitos e xistos, levou os prospectores ao estudo das faixas dobradas e zonas de cisalhamento. Nestas últimas, é importante caracterizar e separar nos mapas geológicos ou de potencialidades as zonas de transpressão e de transtração, as quais por terem sofrido uma menor ação dos esforços cisalhantes e rúpteis, apresentam uma melhor condição para a futura exploração de blocos brutos e canteirados.

A exploração de rochas gnáissicas, xistosas e de quartzitos de alto grau metamórfico levou a necessidade da realização do estudo dos pontos de fraqueza destas rochas, tais como: planos de foliação e clivagens de fratura, os quais juntamente com os fatores de cunho petrográfico, incluindo a existência de minerais deletérios, permitem compreender o comportamento físico-mecânico da rocha e a melhor sistemática de extração a ser adotada.

É importante frisar a necessidade de avaliação da intensidade do metamorfismo atuante, associada ao quimismo das rochas mapeadas, pois tal apreciação pode ser indicativa da existência de uma série de litotipos prospectáveis, tais como: as rochas vermelhas associadas aos plutonitos de composição cálcio-alcálica de alto potássio; os tipos cinza-esbranquiçados relacionados aos granitoides a duas micas de caráter peraluminoso, resultante da fusão parcial de supracrustais, posteriormente intrudidos em níveis crustais mais superiores.

O estudo do grau metamórfico também nos permite avaliar, caso seja de alto grau, a presença de rochas dobradas e foliadas de caráter gnáissico migmatítico que constituem os tipos movimentados. Se o metamorfismo atingir o fácies granulito podem ser encontrados materiais esverdeados bastante deformados de composição charnokítica.

2.5. Caracterização tecnológica das rochas ornamentais

Com a finalidade de obter a definição dos caracteres composicionais e físico-mecânicos da rocha catalogada, em um programa regional de pesquisa, faz-se necessário a elaboração de análises petrográficas e dos ensaios de caracterização tecnológica, cujos resultados propiciam o conhecimento dos caracteres petrográficos das rochas e a previsão do seu desempenho, quando aplicadas. A importância do conhecimento desses caracteres constituem parâmetros fundamentais para a sua utilização em serviço, influenciando diretamente na segurança e padrão de qualidade da obra.

Em síntese, os resultados dessas análises, além de fornecerem a classificação petrográfica e composição mineralógica do material, contêm informações que permitem definir a melhor sistemática de aplicação a ser adotada. Permite, também, definir o ambiente de aplicação que melhor se adapta aos caracteres físico-mecânicos encontrados na rocha, de forma a evitar o aparecimento de futuras patologias e, conseqüentemente, comprometer o bom desempenho do material pétreo. Salienta-se que os resultados desses ensaios e análises deverão acompanhar sempre o catálogo e o relatório integrado de um programa prospectivo a nível regional.

Dentre os estudos de laboratório a serem realizados destacam-se: as análises petrográficas e as determinações dos índices físicos da rocha, de desgaste Amsler, da dilatação térmica linear, da resistência à flexão, resistência à compressão, ensaios de gelo e degelo, além da resistência ao impacto e dos ensaios de alterabilidade e ataque químico. Tais ensaios permitem conhecer os caracteres físico-mecânicos das rochas ornamentais, os quais constituem elementos importantes para a escolha do método e dimensionamento das futuras operações de lavra e do emprego do material pétreo como revestimento de edificações.

Dentre os ensaios de caracterização tecnológica, a análise petrográfica constitui o primeiro a ser efetuado e permite obter-se a composição mineralógica da rocha, a classificação, textura, hábito, formato e dimensões dos minerais constituintes, seu estado de alteração, existência de microfissuras, além da presença de minerais deletérios. Propiciam também a identificação da natureza ou tipo da rocha, sua gênese e os prováveis eventos tectono-termais atuantes. A análise em lâmina delgada permite quantificar o percentual de minerais friáveis, alterados ou alteráveis, que possam comprometer o brilho, a durabilidade ou o desempenho da rocha.

Com base nos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica pode-se afirmar que melhor será a rocha para fins ornamentais a que apresentar baixo percentual de minerais deletérios e menor for os seus índices de absorção, porosidade, desgaste Amsler (resistência ao atrito) e do seu coeficiente de dilatação térmica linear. Ao contrário, melhor será o litotipo que mostrar maiores valores de resistência a compressão, a flexão e ao impacto.

Com a finalidade de facilitar a classificação petrográfica das rochas ornamentais, no caso específico para rochas ígneas, notadamente as plutônicas, pode-se utilizar o diagrama de Streckeisen (1976). Este diagrama foi apresentado pela subcomissão da International Union of Geological Sciences (IUGS), tendo se tornado o método de classificação de rochas mais utilizado no mundo, sobretudo para rochas félsicas. Um dos principais parâmetros de classificação utilizados é a abundância volumétrica (modal), relativo aos minerais félsicos, isto é, quartzo (Q), feldspato potássico (A), plagioclásio (P) e feldspatoides (F).

Na figura 1, tem-se o citado diagrama e os campos de plotagem dos resultados da análise modal. De acordo com ele, as rochas félsicas situam-se entre os campos 1 a 8, enquanto as rochas dioríticas e gabroides se enquadram no intervalo entre os campos 9, 10, 10' e 9', sendo subclassificados de acordo com a composição do plagioclásio incluídos no caso das rochas ricas em feldspatoides

situada nos campos 6', 7', 8', 9', 10', 11, 12, 13, 14 e 15. Para a classificação final utiliza-se também o nome do feldspatoide presente, tais como nefelina sienito, nefelina monzogabro. No caso das rochas félsicas com hiperstênio (rochas charnokíticas) são normalmente rochas metamórficas de origem ígnea. Na tabela 3 têm-se a classificação de rochas e o campo em que elas situam-se no diagrama. Normalmente as rochas com alta proporção de QAP são originadas de alta temperatura, enquanto as com teor elevado em F implica magmas subsaturados em sílica, passíveis de gerar jazimentos de granitos tipo Azul Bahia. Com base no exposto conclui-se que este diagrama constitui uma ferramenta importante para a classificação das rochas ígneas, sobretudo para as plutônicas félsicas, sendo indicada sua utilização numa pesquisa de âmbito regional para rochas com fins ornamentais.

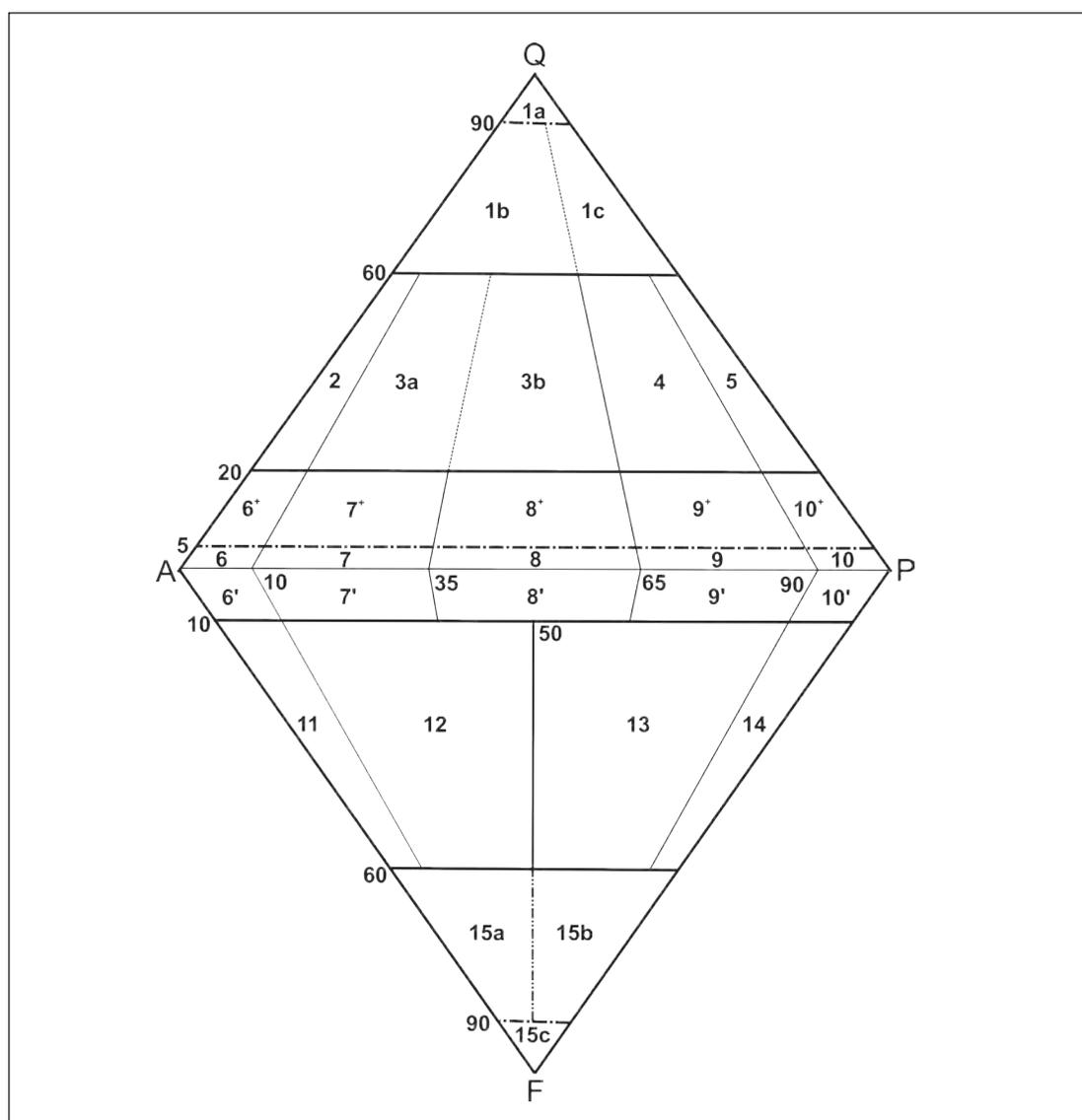


Figura 1 - Diagrama de Streckeisen, 1976.

Tabela 3 - Classificação das rochas e o Campo de Situação no Diagrama de Streckeisen, 1976.

	Granulometria Grossa	Granulometria Fina	Rochas com Hiperstênio
1a	Quartzolito		
1b	Quartzo granito		
1c	Quartzo granodiorito		
2	Álcali granito	álcali riolito	álcali charnockito
3a	Granito (sienogranito)	Riolito	charnockito
3b	Granito (monzogranito)	Riodacito	charnockito
4	Granodiorito	Dacito	opdalito
5	M > 10, tonalito M < 10, trondhjemitó	quartzo andesito	enderbitó
6*	Quartzo álcali sienito	quartzo álcali traquito	hiperstênio álcali sienito
7*	Quartzo sienito	quartzo traquito	hiperstênio sienito
8*	Quartzo monzonito	quartzo latito	hiperstênio monzonito
9*	An < 50, quartzo monzodiorito An > 50, quartzo monzogabro	Andesito	jotunito
10*	An < 50, quartzo diorito An > 50, quartzo gabro	Basalto	hiperstênio diorito
6	Álcali sienito com quartzo	álcali traquito com quartzo	
7	Sienito com quartzo	traquito com quartzo	
8	Monzonito com quartzo	latito com quartzo	
9	An < 50, monzodiorito com quartzo An > 50, monzogabro com quartzo	andesito com quartzo	
10	An < 50, diorito An > 50, gabro	andesito, basalto	
6'	Álcali sienito com foides	álcali traquito com foides	
7'	Sienito com foides	traquito com foides	
8'	Monzonito com foides	latito com foides	
9'	An < 50, monzodiorito com foides An > 50, monzogabro com foides	andesito traquítico com foides	
10'	An < 50, diorito com foides An > 50, quartzo gabro com foides	basalto traquítico com foides	
11	Foide sienito	Fonolito	
12	Foide monzosienito	fonolito tefrítico	
13	An < 50, foide monzodiorito An > 50, foide monzogabro	basalto, foide basalto	

14	An<50, foide diorito An>50, foide gabro	Basanito	
15a	Foidito foiaítico	foidito fonolítico	
15b	Foidito teralítico	foidito tefrítico	
15c	Foidito	foidito extrusivo	

2.6. Ambiente geológica e controle dos jazimentos

Em âmbito regional a variação de unidades litológicas e litoestratigráficas nos permitem interpretar, antever e fixar, em bases previsionais, os diferentes tipos de rochas possíveis de serem detectados. Dentre os “granitos” ditos nobres, a cor azul está associada à presença de magmas subsaturados em sílica, onde a ausência de sílica livre leva a formação de feldspatoides contendo nefelina e sodalita, notadamente intrudidos em ambientes de rifteamento intraplacas, relacionados à fase pós-tectônica dos eventos compressivos. Ocorre também em quartzitos à dumortierita, associados à metapsamitos com alto teor em boro e em rochas vulcânicas a sub-vulcânicas contendo quartzo azulado típico de cristalização, em altas temperaturas. Também associados às fases pós-tectônica dos eventos orogênicos atuantes em âmbito regional.

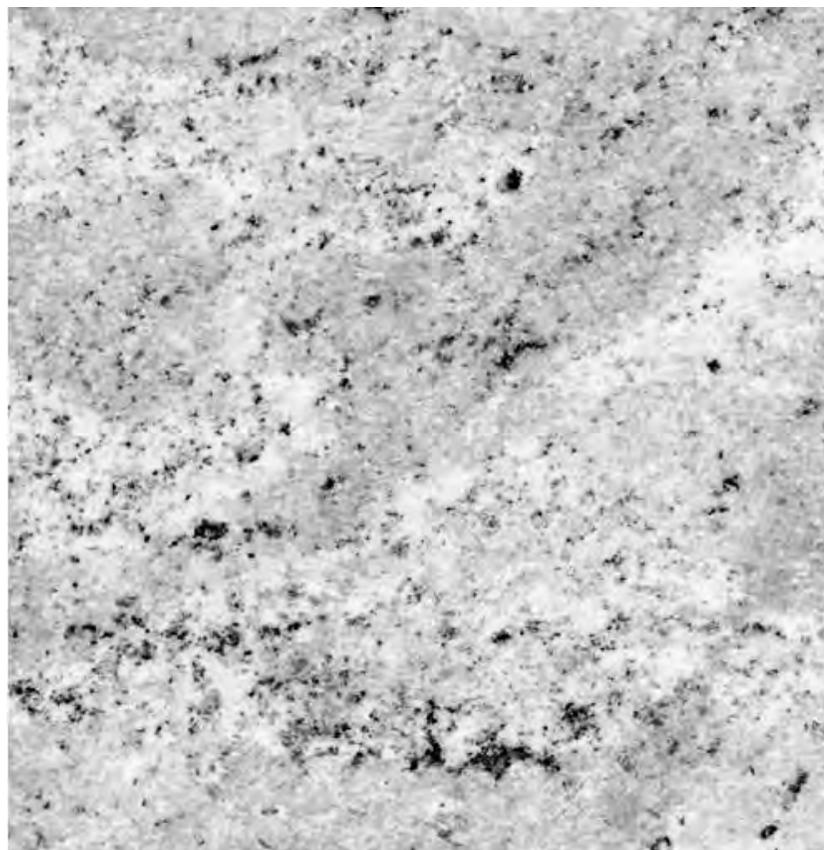


Figura 2 - Granito Tipo Rosa Imperial - exibindo foliação e aspecto movimentado.

No caso dos granitos conhecidos como movimentados, tipos Samba, Kinawa e Relíquia ocorrem em terrenos gnáissicos-migmatíticos de alto grau metamórfico, relacionados à migmatitos homogêneos (diatexitos), bastante deformados e dobrados, gerados em ambiente de alta temperatura e plasticidade, associados às condições de metamorfismo alto na fácies anfibolito. São passíveis de serem prospectados nas faixas antigas do embasamento, principalmente em ambientes Arqueano-Paleoproterozoicos e Mesoproterozoicos. O aspecto multicolorido, foliado e dobrado desses migmatitos, resulta da existência de neossomas bastante deformados e ricos em feldspato potássico, responsáveis pela coloração rosa-avermelhada dos litotipos (Fig. 2). Em função do menor ou maior teor em feldspato calcossódico, no neossoma da rocha, é possível se encontrar tipos nas cores cinza-esbranquiçado a bege, incluindo certos tons de cor-de-rosa suave em função do aumento do teor em feldspato potássico.

Os granitos verdes, quando homogêneos e de textura grosseira, relacionam-se a magmas charnoquíticos, que constituem rochas metamórficas geradas em ambientes de alto grau (fácies granulitos), caracterizados por apresentar hiperstênio na sua composição. Associam-se por vezes a terrenos granulítico-charnoquíticos antigos, exemplificados pelos denominados verdes movimentados, tipo Candeias. Ocorrem ainda os tipos homogêneos tipo Verde Ubatuba, inclusos durante os eventos Neoproterozoicos. Têm-se ainda materiais multicoloridos com predominância da cor verde, tanto em rochas calcissilicáticas, quanto em metaconglomerados polimíticos e monomíticos (Fig. 3) inclusos nos cinturões metamórficos regionais.

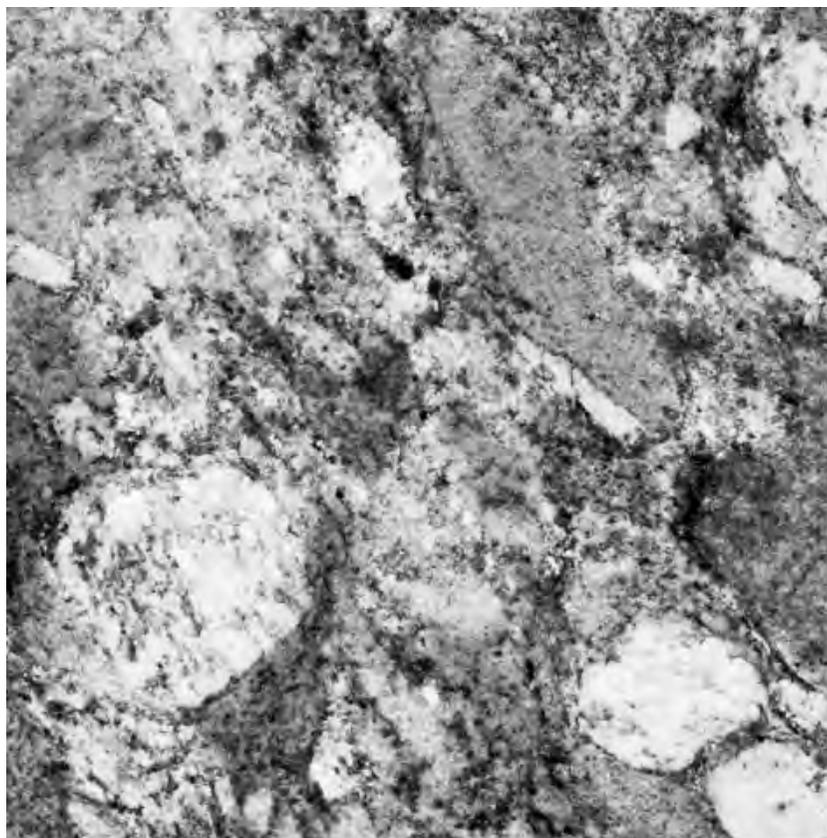


Figura 3 - Granito Verde Fashion - metaconglomerado polimítico mostrando seixos e fragmentos de composição variada, dispostos em matriz fina esverdeada.

Os granitos leucocráticos, denominados comercialmente de granitos brancos, ocorrem em terrenos de magmas trondhjemíticos e em exposições de albita granito (Fig. 4). Os granitos cinza-claro, exemplificados no tipo Ouro Branco, constituem afloramentos de granitos classificados como "S", de origem crustal e composição metaluminosa a peraluminosa leucocrática (MENDES *et al.*, 2002). Formados por leucogranitoides a duas micas, resultantes da fusão de metassedimentos dispostos nos níveis mais inferiores da crosta terrestre (processo de anatexia). Comumente ocorrem encaixados em metapelitos por vezes migmatizados.

O granito preto verdadeiro ou absoluto constitui afloramentos de rochas máficas. No caso de apresentar textura equigranular média a grossa ou porfirítica, corresponde a exposições de rochas de composição diorítica a gabro-norítica de textura grosseira, pertencentes a complexos plutônicos intrusivos. Quando homogêneos e destituídos de foliação associam-se ao magmatismo máfico pós-tectônico aos eventos tectono-termais atuantes. Como exemplo tem-se o preto São Marcos, relacionado ao magmatismo máfico precoce atuante na denominada Província Borborema de idade neoproterozoica. Pode ocorrer também em rochas vulcânicas máficas de composição basáltica e em diques de diabásio, onde o espaçamento das fraturas de alívio existentes definirá o seu uso como rocha ornamental.

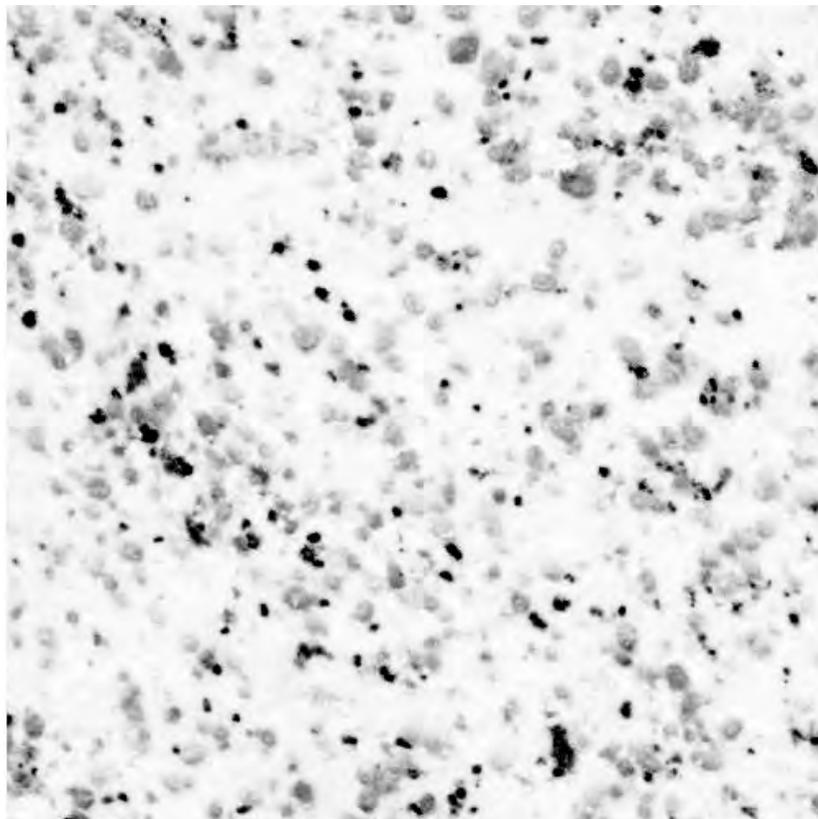


Figura 4 - Granito Branco Ceará - coloração esbranquiçada em função da composição rica em albita.

As rochas ornamentais destituídas de foliação associam-se a corpos plutônicos intrusivos, constituindo estruturas circulares e semicirculares, com forma em geral variando de arredondada a elíptica. Os tipos de coloração rósea e avermelhada ocorrem geralmente em complexos graníticos de composição alcalina ricos em ortoclásio e microclina. Geralmente relacionam-se aos plutonitos

de Suíte Potássica Calcioalcalina (MENDES; PAIVA, 2003). No que concerne ao granito Marrom Imperial, estas rochas constituem cumulus de k-feldspatos envolvidos por uma aureóla de microclina rósea em torno dos grãos, contendo ainda anfíbolo e piroxênio. Ocorrem encaixadas em quartzo-sienitos de alto potássio, que constitui o seu controle litológico. Apresentam aspecto homogêneo, destituídos de foliação. No caso do granito Marrom Imperial associam-se aos sienitos de idade neoproterozoicas, enquanto o denominado Café Bahia encaixam-se em plutonitos de composição semelhantes, mas datados do Paleoproterozoico. Em geral as rochas de tonalidade marrom e granulação grosseira relacionam-se a plutonitos de Suíte Shoshonítica e composição sienítica com alto teor em feldspato potássico. Os granitos amarelos resultam da alteração do feldspato pela ação do intemperismo químico. Na pesquisa deste litotipo, é importante a elaboração de furos de sondagem com o intuito de se definir a espessura da porção intemperizada e, conseqüentemente, o volume da fácies amarela e a viabilidade econômica de sua exploração.

Têm-se ainda rochas ornamentais associadas a metapsamitos (metarenitos, quartzitos) e metaconglomerados os quais, de acordo com a composição, apresentam cores variadas. São exemplificados por litologias escuras como o Chocolate Brasil e de tons claros, como o Rosa Bahia. Estes litotipos ocorrem nas faixas dobradas. Associam-se a metassedimentos de coloração, composição e granulometria variável.

Existem casos em que o controle dos jazimentos acha-se condicionado não apenas ao tipo litológico, mas também ao tectonismo atuante. Como exemplo, tem-se o “Granito Via Láctea” aflorante na região de Belo Jardim - Estado de Pernambuco, cuja tonalidade azulada resultou do aumento da temperatura provocada pela ação mecânica, ocorrida durante o cisalhamento transcorrente atuante naquela área.

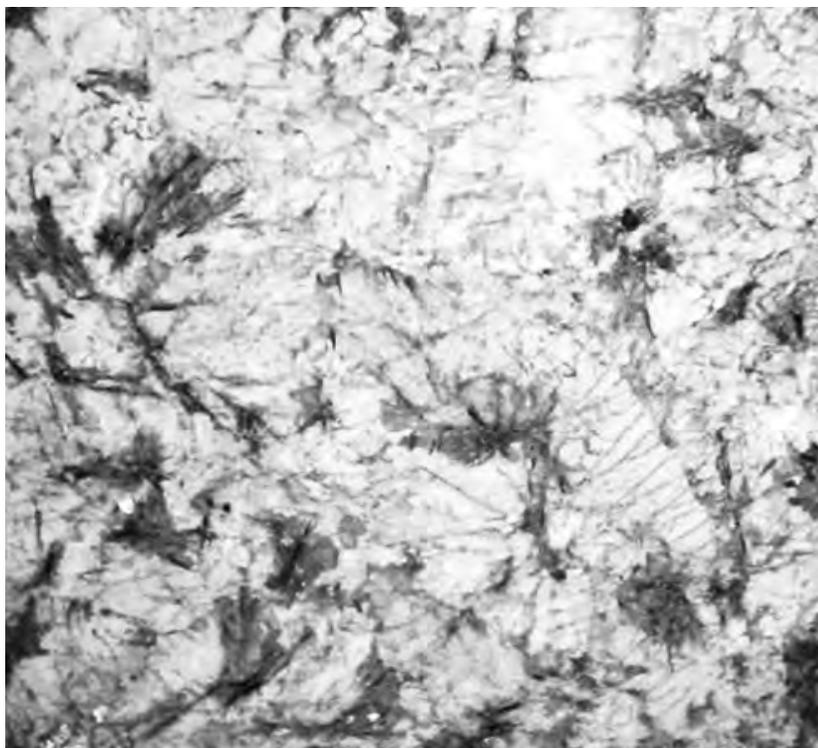


Figura 5 - Granito Tipo Rosa Vesúvio – exibindo textura pegmatoide.

Tem-se ainda o controle tectônico-estratigráfico, o qual pode ser exemplificado pelo Granito Azul Sucuru, associado a riodacitos porfiríticos, intrudidos durante a fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro. Eventos semelhantes ocorrem em Paramirim, no Estado da Bahia. Relacionados ao mesmo evento, ocorrem ainda os granitos multicoloridos, grosseiros, de textura pegmatóide, não deformados, expostos em terrenos da Subprovíncia Rio Grande do Norte, e considerados como pós-tectônicos ao Ciclo Brasileiro, exemplificados pelos tipos Bourdon, Branco Borborema e Vesúvio (Fig. 5).

Os condicionantes presentes nos granitos aplicam-se também aos mármore, os quais constituem exposição de rochas calcárias metamorfasadas ou sedimentares com diagênese alta, além de outros condicionantes capazes de interferir no aspecto estético, como:

- Presença de estruturas estromatolíticas, associadas a paleoambientes específicos, detectáveis nas faixas dobradas portadoras de rochas carbonáticas, por vezes apresentando padrões estéticos movimentados, bastante apreciados no mercado.
- O teor em magnésio, pois os mármore dolomíticos apresentam granulação fina e são mais competentes, enquanto os calcários calcíticos são mais plásticos e sujeitos a dobramentos. Salienta-se que a maior plasticidade provoca o aparecimento de dobras e desenhos, resultando em diferentes padrões estético-decorativos; são também sujeitos a uma maior recristalização e conseqüentemente tendem a apresentar uma granulação mais grosseira. Diferentemente, nos dolomíticos, por serem mais rúpteis, a tendência é apresentar fraturas frequentemente percoladas por veios de quartzo.
- Concentrações de matéria orgânica e demais impurezas nos sedimentos devem ser observadas, pois elas podem originar mármore escuros ou com padrões cromáticos diferentes, muito valorizados comercialmente.

Assim como nas rochas silicáticas, os parâmetros mencionados para os diferentes tipos de mármore podem também serem colocados em bases de caráter prospectivo regional. Logo, os fatores de cunho geológico e demais parâmetros atuantes na formação dos jazimento de rochas ornamentais, devem ser averiguados tanto na pesquisa de rochas silicáticas, quanto carbonáticas.

2.7. Estudo geológico regional e importância dos mapas previsionais

Programas prospectivos regionais constituem um importante instrumento de apoio oficial ao desenvolvimento do setor de rochas ornamentais. Tais programas têm por objetivo aferir o potencial geológico de determinada região, além de gerar informações sobre infraestrutura, áreas aflorantes, painel de direitos minerários, amostras e conteúdo fotográfico sobre litotipos catalogados, propiciando ao setor privado subsídios técnicos que minimizem os riscos de investimento no desenvolvimento de novas jazidas.

Durante a fase inicial dos trabalhos de mapeamento voltada para a pesquisa de rochas ornamentais, deve-se utilizar a interpretação de fotografias aéreas e de imagens de satélite mediante análise de sensoriamento remoto. Tais metodologias nos permitem a definição e a cartografia preliminar dos principais domínios litológicos, a localização das áreas com rochas aflorantes, incluindo setores com matacões e maciços, além da avaliação do arcabouço tectônico-estrutural da região estudada. Salienta-se que os trabalhos de fotointerpretação permitem também a descrição das formas de relevo, sua evolução, paisagens geradas e principalmente informações sobre a existência de áreas desnudadas. Após a elaboração do mapa fotogeológico preliminar, deve-se avaliar e integrar os estudos aerogeofísicos disponíveis, interpretá-los e correlacioná-los com os elementos obtidos durante a fase de compilação bibliográfica e interpretação de aerofotos.

A elaboração de programas de pesquisa regional deve contemplar três etapas de trabalho: estudo preliminar, levantamento de dados em campo e consolidação dos dados.

A primeira etapa, o estudo preliminar, consiste na elaboração de um mapa prospectivo, uma carta sobre as condições de infraestrutura e um painel sobre os direitos minerários. Durante sua execução, devem ser elaboradas a montagem e a confecção das fichas para cadastro das ocorrências e adquiridos os equipamentos necessários à execução dos trabalhos de campo.

Na segunda fase, de campo, devem ser checados e estudados os diferentes domínios litológicos fotointerpretados, incluindo cadastro, análise estrutural e amostragem das ocorrências conhecidas e inéditas. Esta etapa inclui, ainda, a avaliação *in situ* dos aspectos geológicos e geomorfológicos, além da análise das feições litológicas e tectônicas dos diferentes domínios detectados.

Durante a fase três, denominada de consolidação de dados, as amostras coletadas deverão ser enviadas para o laboratório, visando à realização de análises petrográficas, ensaios de caracterização tecnológica e confecção de chapas serradas e polidas. Nesta fase, após a avaliação e integração de todos os elementos disponíveis, deve ser elaborada a versão definitiva do mapa de potencialidade para rochas ornamentais de amplitude regional, acompanhado da nota explicativa, fichas de cadastro e catálogo das ocorrências estudadas, contendo o acervo fotográfico das feições de campo e das peças do mostruário. O mapa deve ser acompanhado de um painel sobre os direitos minerários das ocorrências detectadas, além de diagnósticos setoriais e discussões sobre ações complementares a serem desenvolvidas. As figuras 6 e 7 mostram modelos de mapa e da legenda que deve ser utilizada na elaboração de uma carta de potencialidades para rochas ornamentais.

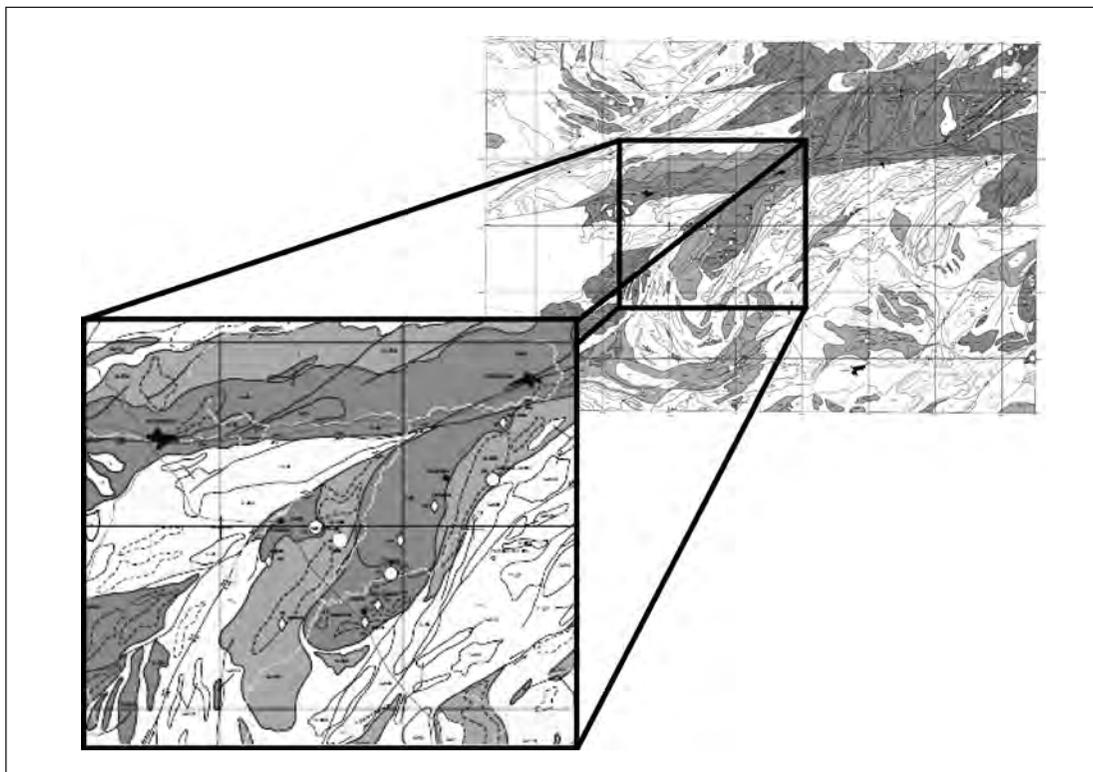


Figura 6 - Exemplo de Mapa de potencialidade de rochas ornamentais. Mendes & Paiva, 2003.

	Simbologia IAEG	Fatores de atratividade										Corpo granítico	Características gerais dos corpos graníticos (jazimentos contidos)	Condicionante litológico do jazimento (Unidade geológica prospectável)
		FC	FT	FH	FF	FM	FE	FN	FD	FI				
Rochas ornamentais tipo exportação (granitos nobres)	G-84	14	10	9	10	1	5	20	5	8	Sienito de Toritama	Granito tipo Marrom Imperial de composição sienítico monzonítica e cor marrom escuro. Jazimentos 1, 2 e 3 sob a forma de lentes.	Quartzosienito aflorante em Toritama e Cachoeirinha. Suite shoshonítica.	
	G-80	12	8	5	8	5	10	20	6	6	Migmatito de Garanhuns	Granito movimentado tipo Rosa Imperial, cor-de-rosa bastante suave. Exportado na forma de blocos Jazimentos 11,12,14,15 e 66	Complexo Belém do São Francisco. Jazimentos controlados pela sequência de migmatitos rosa-avermelhado.	
	G-76	12	8	6	5	6	10	20	5	6	Ortognaisse migmatito de São Francisco	Granito movimentado de cor cinza a cor-de-rosa suave, com estrutura nebulítica/dobrada. Mina 62.	Ortognaisse migmatizado de composição granítica a granodiorítica.	
Mercado interno e eventualmente externo	G-68A	7	8	8	10	10	0	12	5	8	Granito de Pedra	Granito equigranular de granulação média, rosa-avermelhado. Tipo Vermelho Ipanema. Mercado interno e eventualmente externo. Jazimentos 29 e 30.	Granitos pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa, incluindo os tipos de cores amêndoa a cinza.	
	G-67	7	7	8	10	10	0	12	5	8	Sienito de Toritama	Quartzosienito de cor marrom, textura porfírica média. Passível de emprego no mercado interno. Jazimento 26, sob a forma de matacões e maciços.	Suite shoshonítica peralcalina (encaixante dos granitos tipo marrom imperial)	
	G-62B	6	7	8	10	10	0	10	5	6	Granito de Jurema	Granito equigranular de cor cinza-amarelado. Ocorre sob a forma de maciços e matacões. Mina núm. 35.	Sequência peraluminosa leucocrática formada por metaluminosa, leucogranitos e granitos a duas micas.	

	Simbologia IAEG	Fatores de atratividade									Corpo granítico	Características gerais dos corpos graníticos (jazimentos contidos)	Condicionante litológico do jazimento (Unidade geológica prospectável)
		FC	FT	FH	FF	FM	FE	FN	FD	FI			
Mercado interno	G-51	6	5	10	10	5	0	5	5	5	Granito de Fazenda Nova	Granito grosseiro, porfírico de cor cinza-rosado, com matriz rica em máficos. Jazimentos 54, 55 4 56.	Pertencentes à suite k-calcialcalina metaluminosa. Incluindo tipos de cores amêndoa a cinza.
	G-46	6	5	5	5	5	5	5	5	5	Sienito de Cachoeiri- nha	Sienito rosa, textura porfírica destitu- ída de orientação. Jazimento núm. 63.	Pertencente à suite shoshonítica aflo- rante em Toritama e Cachoeirinha.
	G-41	6	5	5	5	5	0	5	5	5	Granito de Paranata- ma	Granito cinza-claro a escuro, de textura equigranular mé- dia, a duas micas. Jazimento núm. 53.	Pertencente à se- quência peralumi- nosa leucocrática.
	G-40B	10	5	5	0	5	0	5	5	5	Diques de Diabásio	Rocha de cor verde, de excelente aspecto estético decorativo, passível de ser aproveitada na produção de ladrilhos.	Jazimento em dique de diabásio. Diques de diabásio inclusos na sequên- cia sedimentar.

Figura 7 - Modelo de legenda do mapa de potencialidades. Elaboração dos autores.

2.8. Objetivos a serem alcançados

Fornecer ao setor empresarial informações de cunho geológico confiável e que servirão de suporte a investimentos futuros na geração e desenvolvimento de novos jazimentos de rochas ornamentais.

Divulgar informações técnicas junto aos setores interessados sobre o potencial geológico em rochas ornamentais de uma determinada região, contribuindo assim para a atração de novos investimentos e geração de emprego e renda.

Confeccionar um catálogo sobre as ocorrências cadastradas, o qual deverá incluir fotos dos jazimentos e das placas polidas, dados sobre a localização, resultados de análises, ensaios tecnológicos, aplicações recomendadas, comentários acerca das reservas potenciais, perspectivas de mercado, preços prováveis, além de tópicos sobre a geologia de cada setor estudado.

3. Pesquisa geológica de detalhe

3.1. Considerações gerais

Esta fase tem por objetivo quantificar e qualificar os materiais rochosos selecionados durante a etapa de pesquisa geológica regional e verificar a viabilidade técnica e econômica de sua ex-

plotação. Os trabalhos a serem executados abrangem: reconhecimento e mapeamento geológico-estrutural dos depósitos; amostragem dos diversos litotipos aflorantes; análise petrográfica e caracterização tecnológica das rochas selecionadas; tipificação e avaliação comercial dos litotipos de interesse; e amostragem industrial.

A execução de tais serviços visa fornecer ao investidor uma radiografia do jazimento, propiciando a execução de um melhor planejamento operacional das futuras operações de lavra, com a escolha adequada do método e dos equipamentos que melhor se adaptem às características geológicas da jazida. É nítido que a falta de conhecimento geológico relativo à área da pedreira tem sido a causa do insucesso de várias empresas que atuaram no setor de exploração de rochas ornamentais.

Sabe-se que a extração de rochas ornamentais em matacões e em maciços pelo método de bancadas abertas, depende de um criterioso trabalho de pesquisa de detalhe, o qual propiciará ao minerador o completo conhecimento das características físico-mecânicas da rocha a ser extraída. A obtenção de tais parâmetros é, portanto, de fundamental importância para o bom desempenho das futuras operações de lavra e contribuirá de forma significativa para o bom êxito do empreendimento.

Por desconhecimento, falta de interesse ou impulsionados pela ideia de pular etapas, os empresários não dão a devida atenção à pesquisa geológica de detalhe e preferem realizar investimentos na aquisição de modernos equipamentos de lavra com a perspectiva de se tornarem competitivos. Acontece que na maioria das vezes, tais máquinas não correspondem favoravelmente às expectativas depositadas, pelo simples fato de não serem compatíveis com as características geológicas do jazimento.

A falta de pesquisa geológica de detalhe tem conduzido à lavra predatória de matacões e maciços rochosos, gerando grande volume de rejeitos, baixa recuperação das pedreiras, diminuição do percentual de lucratividade e perda de competitividade, ocasionando, inclusive, em certos casos, o abandono das frentes de exploração. Tal fato, além do prejuízo econômico-financeiro e das frustrações causadas no investidor, ocasiona danos irreparáveis ao meio ambiente e desalento nas comunidades locais que na sua grande maioria veem na mineração uma oportunidade de crescimento econômico-social.

Portanto, faz-se necessário difundir nas empresas e entre os técnicos atuantes no setor a importância da realização de trabalhos de pesquisa geológica de detalhe, incluindo, além do mapeamento geológico-estrutural de detalhe, o emprego de métodos geofísicos e a execução de sondagens rotativas, com o objetivo de se obter dados litoestruturais da rocha em subsuperfície. É igualmente importante a definição da presença e distribuição espacial e quantitativa das fraturas e demais descontinuidades (falhas, veios e planos de foliação). Devem ser observadas, também, as variações faciológicas e a presença de massas pegmatoides, veios, enclaves, xenólitos e nódulos de oxidação, pois tais irregularidades interferem no padrão estético-decorativo da rocha e conseqüentemente na sua comercialização.

Todos estes fatores referenciados, além de condicionarem o padrão estético dos materiais rochosos e a sua aplicação, interferem diretamente na taxa de recuperação da jazida, na vida útil do depósito e, conseqüentemente, no resultado dos impactos ambientais decorrentes de tal atividade.

3.2. Características, aspectos e feições relevantes para a pesquisa e a exploração

Conhecer as reais dimensões dos jazimentos é de suma importância, pois permite calcular a reserva útil do maciço a ser explorado e o tempo de vida útil da pedreira que deve ser superior a 20 anos, em média, para dar o retorno do investimento e ao investidor. Caso a pedreira seja em matacões, seus volumes devem ser superiores a 100 m³ para viabilizar sua exploração. Em função

da geometria dos matacões e de encontrarem-se, muitas vezes, alterados; esta sistemática de lavra tende a provocar baixa recuperação, sobretudo durante as operações de esquadramento e desbaste para a elaboração de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Os fatores condicionantes das operações de lavra dizem respeito aos aspectos de acesso, condições de infraestrutura, aspectos topográficos do local do jazimento, reservas e tempo de vida útil do depósito. Deve-se levar em consideração também a espessura da cobertura de solo e de estéril, que deverá ser removida, e a sua distância em relação a rodovias, vias férreas e portos por onde será escoada a produção.

O processo inicial de uma pesquisa geológica de detalhe é fundamentado no conhecimento prévio de alguns aspectos essenciais, que a jazida e a rocha possuem e que a condicionam para o uso como material ornamental, quando interferem diretamente na formação do jazimento. O correto estudo desses aspectos propiciará o planejamento adequado das futuras operações de lavra e será determinante para o sucesso do futuro empreendimento mineiro. Esses aspectos condicionantes das operações de lavra podem ser subdivididos em dois grupos: geológicos e não geológicos.

3.3. Aspectos geológicos

Esses fatores podem ser classificados segundo as propriedades específicas das rochas e também serão condicionantes no processo de exploração. Em relação às propriedades específicas das rochas, os fatores que interferem diretamente na formação dos depósitos e condicionam o uso da rocha para fins ornamentais são:

- Composição da rocha;
- cor e tonalidade;
- textura e granulometria;
- homogeneidade litológica;
- nível de oxidação;
- grau de fraturamento e densidade de fraturas;
- densidade da presença de veios, enclaves e xenólitos;
- grau de deformação estrutural (presença de dobras, foliação, eixos e lineações); e
- características físico-mecânicas da rocha.

O estudo do fraturamento tem por objetivo definir o número de famílias de fraturas, suas direções e o espaçamento entre elas. Salienta-se que sistemas de cisalhamentos numerosos e pouco espaçados inviabilizam o uso da rocha para fins ornamentais; um fraturamento medianamente espaçado permite a extração de blocos comerciais, somente em certos setores do maciço, o que ocasiona a formação de grandes volumes de rejeitos e o conseqüente aumento do impacto ambiental; já um fraturamento escasso e bastante espaçado facilita a obtenção de blocos com dimensões e qualidade compatíveis com as especificações do mercado, propiciando um aumento da taxa de recuperação da pedreira.

Ressalta-se também que a presença de veios, enclaves e xenólitos em grande quantidade atua negativamente na exploração da rocha e de acordo com as quantidades e dimensões esses fatores podem inviabilizar o uso da rocha para fins ornamentais.

A análise do grau da deformação estrutural atuante sobre o jazimento é de suma importância, pois em gnaisses migmatíticos a presença de dobramentos desarmônicos e convolutos, aliada à tonalidade e à alternância sutil de níveis félsicos e máficos intensamente dobrados, emprestam

à rocha um notável efeito estético-decorativo que se constitui em fator de interesse comercial. Salienta-se, ainda, que para rochas miloníticas, tais como o “Red Brown”, que ocorrem associadas a zonas de cisalhamento é de suma importância a identificação das zonas de transtração e transpressão, uma vez que nos denominados locais de transtração, devido a menor intensidade do esforço atuante, pode-se encontrar materiais deformados e de aspecto exótico interessante, porém com um menor grau de cataclase, o que permite uma maior recuperação da pedreira.

A definição da petrografia, composição mineralógica, textura, granulometria e cor são de grande interesse, uma vez que são propriedades que imprimem o caráter ornamental da rocha, sendo esta última uma das propriedades mais significativas e decisivas do ponto de vista comercial. A definição de suas características físico-mecânicas, por meio da análise petrográfica e dos ensaios de caracterização tecnológica, é que condicionará sua utilização e conseqüentemente as metodologias de aplicação na condição de revestimento na construção civil. A constância litológica do afloramento, aliada a baixa concentração de veios, enclaves e xenólitos é bastante importante do ponto de vista técnico, pois o mercado prima cada vez mais pela qualidade dos materiais. Portanto, a alta incidência desses fatores e a falta de uma análise racional dos mesmos ocasionam uma baixa recuperação do material lavrado, o que pode inviabilizar as operações de lavra e deixar um passivo ambiental irrecuperável.

Outro fator importante a ser observado é a presença da oxidação, já que a sua existência e distribuição podem resultar na inviabilidade e abandono de uma pedreira. Caso a oxidação ocorra de forma bem distribuída e homogênea ao longo da rocha, dando uma tonalidade amarelada aspecto envelhecido, o valor de mercado passará a ser bastante atrativo.

3.4. Aspectos não geológicos

Clima, leis, transporte, logística, realidades políticas e comerciais, contexto da infraestrutura e disponibilidade de serviços são alguns dos fatores que podem permitir, facilitar, dificultar, ou impedir o desenvolvimento de um empreendimento no setor de rochas ornamentais. Os aspectos econômicos são os principais elementos envolvidos em cada etapa e em cada nível do processo de forma a garantir a exequibilidade do mesmo. Conseqüentemente, no estudo do potencial de uma área, este elemento deve ser considerado desde os procedimentos iniciais. Ênfase particular é dada a este ponto uma vez que, na grande maioria dos casos, os estudos e a análise de uma área são conduzidos dentro de limites de tempo disponível e em relação a um orçamento financeiro definido; a execução de cada atividade relaciona-se obviamente com os critérios básicos do gerenciamento econômico regulados pelo custo, retorno e lucro. Uma alusão particular deve ser feita à legislação, ao clima e ao meio ambiente, fatores que podem inviabilizar um empreendimento mesmo sendo viável sob o ponto de vista técnico-econômico.

Aspectos legais

A legislação em cada país define os critérios que devem ser observados em relação às atividades preliminares de um empreendimento mineiro (pesquisa, prospecção, exploração), à lavra e ao processamento. Os critérios compreendem a documentação, regulamentos que envolvem as concessões de lavra e autorizações, regulamentações aduaneiras vigentes para importação e exportação, sistemas fiscais e leis da moeda para operadores estrangeiros, critérios de saúde, higiene e segurança no local de trabalho, os quais são mais abrangentes e rigorosos em países industrialmente avançados etc.

Para a abertura de uma nova pedreira é necessário adquirir uma licença para a pesquisa inicial e outra para a exploração. A obtenção das licenças é um processo que costuma demorar anos. Em determinados países, algumas licenças têm durações muito limitadas, de modo que a exploração, pesquisa e testes para que os quais tal autorização foi solicitada devem ser finalizados o mais rápido possível, enquanto em outros pode ser adiada por um tempo maior sem que a autorização expire. Cada um destes direitos envolve obviamente custos, procedimentos burocráticos, obrigações e limitações que variam de um país para outro em função dos regulamentos da mineração vigentes naquele país. No entanto, a legislação deve ser rigorosamente observada e seguida.

No Brasil, o primeiro passo para o empreendedor interessado em explorar qualquer substância mineral é a obtenção de autorização federal a partir de um requerimento ao Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, do Ministério de Minas e Energia MME. O direito de prioridade à obtenção de autorização de pesquisa ou do registro de licença para fins de exploração mineral de uma determinada área é concedido ao interessado cujo requerimento tenha por objeto área considerada livre, para a finalidade pretendida, à data da protocolização do requerimento no DNPM. O direito de exploração de recursos minerais, dependendo do tipo de substância mineral, pode ser obtido pelos regimes de concessão de lavra, licenciamento, registro de extração ou autorização de lavra garimpeira. As rochas ditas ornamentais – Mármore e Granito – estão sujeitas aos regimes de concessão e autorização, enquanto as ditas de revestimento estão sujeitas aos três primeiros regimes de aproveitamento acima citados.

De modo geral, a mineração brasileira está submetida a um conjunto de regulamentações, no qual os três níveis de poder estatal possuem atribuições com relação à mineração e ao meio ambiente. Assim, em face da legislação federal vigente os empreendimentos mineiros estão submetidos ao duplo licenciamento, à concessão federal referente aos aspectos da exploração da lavra (licenciamento mineral) e à licença ambiental estadual no que tange ao controle e proteção do meio ambiente. O processo de licenciamento ambiental realiza-se em três etapas: a Licença Prévia - LP, a ser concedida na fase preliminar da atividade; a Licença de Instalação - LI, a ser concedida na fase de implantação do empreendimento, com o detalhamento de projetos, obras de engenharia e processos de controle ambiental a serem utilizados e a Licença de Operação - LO, que autoriza o início de qualquer atividade ou equipamento potencialmente poluidor.

Aspectos climáticos

As características climáticas de uma área na qual as reservas estão localizadas podem ter impacto significativo na viabilidade econômica e técnica de um projeto de exploração. As diversas restrições impostas por situações climáticas desfavoráveis têm repercussões na produtividade, com consequentes despesas financeiras extras ou desequilíbrio econômico. Chuva e neve, especialmente quando concentradas em determinados períodos do ano, geralmente forçam a paralisação das operações por longo e variado período de tempo; por outro lado, a ausência total de precipitações pode causar problemas em virtude do escasso suprimento de água, gerando a necessidade de obtenção de abastecimento de outras fontes.

Situações nas quais as atividades são restritas pela presença de neve e congelamento do solo são encontradas em muitas pedreiras em vários países, as quais têm, evidentemente, sua produção organizada considerando essas limitações. Contudo, a natureza rara de certos materiais requer que eles estejam, em muitos casos, disponíveis no mercado mesmo quando a produção é interrompida. Da mesma maneira, existem muitos países em regiões equatoriais e tropicais onde intensas

chuvas sazonais restringem o trabalho nas pedreiras e o trânsito ao longo das estradas de acesso. A localização de pedreiras em altitudes elevadas restringe a capacidade de produção dos maquinários utilizados, junto com as dificuldades de trabalho sob tais circunstâncias: os maquinários perdem, em média, 10% da capacidade de produção a cada 1.000 m acima do nível do mar, dessa forma é necessário instalar sistemas muito mais eficazes para conseguir obter resultados e produtividade aceitáveis.

Além dos problemas já mencionados, os efeitos decorrentes do volume excessivo das precipitações impossibilitam o acesso aos depósitos, uma vez que as estradas ficam muito danificadas e necessitam de substancial trabalho de reconstrução e manutenção, contribuem para o surgimento de problemas técnicos envolvendo equipamento e comprometem claramente a segurança do trabalho em função do volume e fluxo d'água e da quantidade de lama gerada.

Aspectos ambientais

Os aspectos ambientais são ligados ao impacto do trabalho da pedreira e do processamento, estes últimos sendo executados em instalações (serrarias, fábricas etc.) envolvendo grande volume de maquinários industriais.

As pedreiras modificam a paisagem, às vezes em grande escala, e alteram o equilíbrio geomorfológico, eco-biológico e hidrogeológico. Alguns impactos são poluição sonora, especialmente nos lugares onde as perfuratrizes, *flame-jet* e explosivos são usados, emissões atmosféricas, poeira, vibrações, problemas de estabilidade, variações morfológicas e assoreamento de cursos d'água.

As indústrias de processamento também geram impactos ambientais, tais como as quantidades elevadas dos materiais residuais como, por exemplo, "lascas" e lamas, ruídos, poeira. Existem inúmeras consequências para o ambiente, variando do simples distúrbio em áreas povoadas à vulnerabilidade das reservas de água, da redução da capacidade de autodepuração de rios à destruição de ambientes biológicos e de micro-habitat inteiros. A extensão dos danos e mudanças que esses aspectos podem provocar na vida de cada indivíduo é frequentemente ignorada ou não imediatamente compreendida pelos leigos, mas as repercussões sociais são, às vezes, muito importantes. A tarefa do crescimento consciente e da ponderação com o impacto ambiental talvez esteja na ampliação de soluções mais eficientes, na tentativa de conciliar crescimento sustentável com a proteção do ambiente em que vivemos. Vale ressaltar que nações emergentes ou menos industrializadas podem aproveitar a experiência dos países nos quais o impacto ambiental alcançou algum limiar de perigo, abordando desde o início os tópicos de proteção e prevenção, durante os estágios de projeto ou de desenvolvimento, reduzindo consideravelmente as consequências futuras para o ambiente. Entretanto, esta vantagem potencial é ignorada com frequência, especialmente tendo em conta que a legislação e os padrões em tais países não são tão severos e articulados quanto nos países nos quais o processamento da rocha já tem um desenvolvimento significativo. O Brasil, que conta com uma legislação ambiental muito rígida, tem avançado muito neste sentido nos últimos anos. Atualmente quase todas as empresas de beneficiamento de rochas recirculam a água de processo e depositam seus resíduos em aterros licenciados, buscando soluções técnicas para seu aproveitamento.

Ainda no tocante à localização, a análise das condições morfológicas da futura pedreira é muito importante, sobretudo em relação aos danos ambientais que a sua exploração poderá causar.

Em relação ao relevo as pedreiras podem se situar: no sopé da serra, no talude, no topo da elevação e em planícies. Aquelas localizadas no sopé da elevação apresentam impactos ambientais modestos e podem se desenvolver mais na horizontal do que na vertical. As pedreiras dispostas no talude

provocam, durante o seu desenvolvimento, um forte impacto visual, o manejo do capeamento é dificultado e costumam apresentar baixa recuperação. As jazidas situadas no topo da elevação são menos visíveis à distância, entretanto os resíduos da produção são lançados nas encostas resultando em um impacto visual grande. Já as pedreiras localizadas em planícies apresentam fácil acesso, facilidade de movimentação de equipamentos e blocos, baixo impacto visual e elevada taxa de recuperação.

3.5. Sistemática de trabalho proposta para uma pesquisa geológica de detalhe

O planejamento de uma pesquisa geológica de detalhe deve englobar não apenas o estudo *in loco* do jazimento, mas também a elaboração das análises mercadológicas do produto, o impacto ambiental a ser gerado e a sistemática de exploração que melhor se adapte às características geológicas do depósito. Para melhor delinear as ações a serem desenvolvidas durante a pesquisa de detalhe, os trabalhos de pesquisa devem ser divididos em três etapas.

A primeira etapa compreende os chamados trabalhos de escritório, quando serão desenvolvidas as atividades de interpretação fotogeológica a partir de fotografias aéreas existentes e de imagens de satélites disponíveis sobre a região a ser estudada. Em paralelo serão realizados trabalhos de compilação bibliográfica do acervo geológico existente sobre a região a ser pesquisada, com a finalidade de reunir dados sobre a estratigrafia, petrografia, tectônica, ambiência geológica regional, além da análise e avaliação dos dados aerogeofísicos disponíveis. Tal atividade tem por finalidade permitir um conhecimento geológico prévio sobre a área a ser trabalhada, propiciar a elaboração do mapa geológico preliminar e, conseqüentemente, com os parâmetros a serem obtidos planejar a execução dos trabalhos de campo na pesquisa de detalhe propriamente dita nos locais do depósito a ser prospectado.

A etapa seguinte corresponde aos trabalhos de campo no local do jazimento, em que serão levados a efeito os serviços de reconhecimento geológico da área de interesse, selecionados os alvos a serem detalhados, seguido do levantamento topográfico, mapeamento geológico e levantamento estrutural de detalhe na escala 1:1.000 da área alvo, amostragem dos diversos litotipos mapeados, execução de trabalhos de geofísica terrestre, análise e avaliação da quantidade e espaçamento do fraturamento observado e das demais descontinuidades existentes. Em seguida serão providenciadas as amostragens para a preparação do mostruário e execução das análises laboratoriais, incluindo o estudo petrográfico e a elaboração dos ensaios de caracterização tecnológica dos litotipos de interesse comercial. Ainda nesta fase serão realizados serviços de amostragem industrial da futura pedreira, a qual incluirá a retirada de blocos dentro dos padrões exigidos pelo mercado, seguido dos serviços de serragem dos mesmos e produção de chapas serradas, polidas e de padronizados, com a posterior entrega a potenciais compradores para a devida avaliação mercadológica do produto.

A etapa terceira constitui a fase de consolidação dos dados e demais parâmetros obtidos nas etapas anteriores, os quais serão avaliados, analisados, interpretados, integrados e reunidos em um relatório final de pesquisa. Esse relatório abordará todos os elementos pertinentes à geologia do depósito, incluindo ainda a avaliação das reservas economicamente explotáveis e o tempo de vida útil do jazimento. Conterá também informações sobre as possibilidades de extração da rocha pesquisada, com comentários sobre seus parâmetros petrográficos e físico-mecânicos, além do tratamento dos elementos de ordem comercial obtidos sobre a avaliação mercadológica do produto. Tecerá também considerações sobre os parâmetros econômico-financeiros do futuro empreendimento mineiro, do tempo de retorno do capital a ser investido e da melhor sistemática de exploração a ser adotada.

3.6. Etapas a serem seguidas numa pesquisa geológica de detalhe

Conforme o exposto no item anterior, a finalidade de uma pesquisa geológica de detalhe é a de obter-se o conhecimento das características físico-mecânicas do maciço rochoso, suas reservas explotáveis e os condicionantes geoeconômicos necessários ao bom êxito do futuro empreendimento. Para a execução destes serviços deve-se seguir uma sistemática de trabalho, subdividida em itens, como veremos a seguir.

Consultas bibliográficas

Inicialmente deve ser realizado um levantamento e análise bibliográfica das publicações referentes aos trabalhos geológicos desenvolvidos anteriormente na região a ser estudada, incluindo teses, dissertações de mestrado, monografias, mapeamentos geológicos, relatórios de pesquisa geológica e artigos de congresso, com o objetivo de coletar informações sobre a geologia da região. De maneira especial, dados de estratigrafia, tectônica, parâmetros estruturais, geofísicos e metalogenéticos regionais, com a finalidade de se obter uma primeira avaliação das zonas que apresentem um melhor potencial de interesse para uma posterior análise de detalhe.

Fotointerpretação geológica

Faz-se necessário a execução de serviços de fotointerpretação a partir de fotografias aéreas e de imagens de satélites disponíveis, nos quais se procurará identificar as unidades litológicas nas áreas a serem pesquisadas, seus padrões estruturais, os principais caracteres fisiográficos, áreas de afloramento, bem como a reprodução, em maior detalhe, da planimetria da área. Posteriormente, em conjunto com os parâmetros coletados na compilação bibliográfica, será elaborado o mapa fotogeológico preliminar.

Reconhecimento geológico

Em seguida aos trabalhos de revisão bibliográfica e estudo fotogeológico, deve ser realizado um reconhecimento geológico da área a ser requerida, que servirá para programar os trabalhos posteriores, além de propiciar a identificação de locais de interesse contendo praças de matacões e maciços, com boas condições para explotabilidade. Nesta fase deverá ser observada uma série de feições, tais como: morfologia e dimensões dos afloramentos, características da rocha, incluindo a cor, textura, homogeneidade, variação de fácies, nível do fraturamento e demais descontinuidades. Serão também tecidas considerações sobre o nível de alteração e de oxidação observado, espessura da cobertura do estéril, condicionamento topográfico dos afloramentos, condições de acesso e de infraestrutura. Esses dados deverão ser condensados, preferencialmente, em forma de uma ficha de afloramento.

Levantamento topográfico

Após a conclusão dos trabalhos de reconhecimento geológico serão iniciados os trabalhos de topografia, que incluirão levantamentos na escala 1:5.000 da área requerida para pesquisa, detalhados para a escala 1:500 nos setores escolhidos para a realização das futuras operações de lavra. O levantamento topográfico serve para elaborar uma base planialtimétrica para plotar as informações que serão coletadas nas prospecções geológicas posteriores.

Mapeamento geológico de detalhe e semidetalhe.

Ao término da fase inicial do levantamento topográfico e reconhecimento geológico, serão elaboradas as primeiras bases planialtimétricas, tendo início o mapeamento geológico das áreas com

interesse na escalas 1:1000 ou 1:500 para a plotação das informações geológicas obtidas durante os serviços do mapeamento geológico e do levantamento estrutural de detalhe.

Durante a execução desta atividade, será analisada, em profundidade, a forma de ocorrência do litotipo pesquisado, com ênfase no aspecto estético-decorativo, presença e densidade de feições indesejáveis, tais como: fraturas, veios, enclaves, corpos pegmatoides e aplitos de composição granítica. Proceder-se-á, também, a escolha de setores favoráveis para implantação de possíveis frentes de lavra, com a avaliação de suas reservas, das condições de acesso, facilidade de embarque do material produzido e observação das condições mínimas de infraestrutura local. Em paralelo será elaborada uma análise das fraturas e veios, foliação, eixos de dobramentos e demais lineações, seguido do seu tratamento por meio da projeção estereográfica, com vistas à elaboração de blocos de partição, os quais permitirão orientar o processo de abertura das frentes de lavra.

Levantamento geofísico

O levantamento geofísico será feito com GPR (Ground Penetrating Radar), para auxiliar na detecção de fraturamentos e veios, em subsuperfície, do maciço a ser estudado, definição da espessura do capeamento e da geometria dos corpos subjacentes, tais com a presença de matacões e maciços enterrados. Pode ser empregado também no planejamento operacional e consequentemente na redução dos impactos ambientais a serem produzidos durante as futuras operações de exploração. O emprego de tal método será de suma importância na definição do processo de abertura ou não de uma pedreira.

Sondagem

Baseado nas informações adquiridas durante a execução dos mapeamentos geológico e estrutural de detalhe e com a finalidade de se obter dados de subsuperfície deve ser efetuado furos de sondagem, com profundidade média entre 20 a 30 metros e amostragem efetuada a cada 0,50 metros. Esses furos deverão ser nivelados e amarrados topograficamente. O número de furos não deve ser inferior a três, já que a partir deles espera-se conseguir informações tridimensionais para auxiliar no futuro planejamento das ações de lavra.

A sondagem servirá tanto para a definição do volume de reservas, quanto para a obtenção dos parâmetros estruturais, de variações litológicas e de padrões estéticos em profundidade. Devem ser utilizados barriletes com diâmetro em torno de 10 cm, de forma a serem obtidos testemunhos mais resistentes a quebramentos resultantes da vibração ou impactos da sonda. A descrição dos testemunhos de sondagem deverá ser feita em escala de centímetros, sendo amostrado e analisado todos os fatores estruturais e geológicos observáveis nas amostras obtidas. É muito importante a definição dos ângulos existentes entre os planos de acamamento, xistosidade e de toda estrutura detectada, principalmente os fraturamentos e zonas de milonitização, os quais devem ser correlacionados com os elementos obtidos em superfície.

Amostragem

Após a definição dos caracteres geológicos e estruturais será processada a coleta de amostra, para estudos petrográficos, estimando-se a confecção de uma lâmina por litologia mapeada. Em consonância, será efetuada a retirada de bloquetes para produção de placas padronizadas de 30 cm x 30 cm x 01 cm, com um total de 50 placas. Tais placas, depois de devidamente polidas, serão

destinadas a usuários de rocha ornamentais, os quais deverão dar um parecer inicial sobre a aplicação das rochas aflorantes, na área objeto deste relatório, como material de revestimento. Ainda, durante esta fase, deverá ser coletada amostra do litotipo de interesse para elaboração de ensaios tecnológicos, segundo as normas da ABNT que regem o assunto.

Análises petrográficas

As amostras coletadas durante o mapeamento geológico serão submetidas à análise de lâminas em secção delgada, visando à caracterização petrográfica do litotipo em pesquisa, determinação de suas composições, textura, granulometria, caracteres microestruturais, porcentagem dos minerais constituintes, detecção de possíveis microfraturamentos, presença de minerais deletérios, além da identificação dos indícios de processos de alteração em andamento.

Ensaio tecnológicos

Serão efetuadas amostragens do material, visando à realização de um conjunto de ensaios de caracterização tecnológica que incluem: massa específica aparente, absorção de água, porosidade aparente, compressão uniaxial simples, módulo de elasticidade na compressão, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, desgaste Amsler, alterabilidade e ensaios de gelo e degelo. Os resultados desses ensaios permitirão estabelecer um diagnóstico eficaz e preciso das condições de aproveitamento desse material, como rocha ornamental de revestimento, e nortear sua aplicação nos diversos campos da arquitetura e da construção civil.

Análise de mercado

A obtenção de resultados positivos nos estudos até então realizados, conduzirá à elaboração de uma pesquisa de mercado em nível interno e externo, objetivando, principalmente, a detecção e comparação com produtos já existentes e comercializados no momento. Isso inclui contatos com compradores potenciais, formas de apresentação do produto e a análise do confronto com o Markup de vendas, para avaliar a lucratividade já esperada do empreendimento.

Serviços de escavações

Durante os trabalhos de campo e com o objetivo de dar início ao processo de abertura do maciço ou do matacão, para a execução dos trabalhos de amostragem industrial devem ser realizados trabalhos de limpeza e retirada do solo do maciço existente. Caso seja necessário, deve ser efetuada a abertura de trincheiras, para analisar o comportamento da rocha em subsuperfície.

Coleta de amostras para fins industriais

A exploração de rochas para fins ornamentais será conduzida em pedreiras abertas em maciços rochosos e matacões, dos quais serão extraídos blocos dentro dos padrões e exigências do mercado para posterior aparelhagem, serragem de chapas e polimento, visando à obtenção de chapas e padronizados em regime industrial. A execução de tais serviços permitirá uma avaliação industrial segura, quanto às reais possibilidades de emprego de uma rocha para fins ornamentais. Salienta-se que a abertura da pedreira para a execução desses testes permitirá a obtenção dos seguintes elementos:

- Observação detalhada do comportamento da rocha no seu interior;
- obtenção de informações quanto ao método mais adequado e os equipamentos necessários para as futuras operações de lavra;

- extração de blocos dentro do padrão exigido pelo mercado;
- definição dos custos de extração e dos parâmetros necessários à lucratividade do empreendimento; e
- preparação da equipe e seu aprimoramento na condução dos trabalhos de lavra.

Em síntese; a elaboração dos testes de amostragem e produção industrial permitirá a definição do custo de produção do material, incluindo as fases de extração e beneficiamento.

Relatório de pesquisa

Os dados obtidos no decorrer de todas as atividades de campo serão analisados, interpretados, corrigidos, integrados, avaliados e plotados em mapas. Em seguida será efetuado o cálculo da reserva da ocorrência e definido o tempo de vida útil do jazimento, culminando com a elaboração do relatório final de pesquisa, incluindo um plano de viabilidade econômico-financeira para exploração do material.

3.7. Importância da aplicação dos métodos de prospecção geofísica

O uso de técnicas geofísicas, especialmente métodos sísmicos, é recomendado na prospecção de rochas ornamentais. Estes métodos geofísicos podem ser aplicados em estudos preliminares de maciços e matacões visando à detecção de fraturamentos, veios e enclaves, definição da espessura do capeamento e verificação da geometria de corpos subjacentes, tais como maciços e matacões soterrados.

O método geofísico baseia-se no princípio de que um corpo sólido, como uma rocha, pode transmitir em seu interior ondas elásticas que podem ser geradas por detonação, vibrações e impactos mecânicos. Existem dois tipos de ondas elásticas: as ondas longitudinais (P), onde as partículas do meio vibram na direção da propagação e as chamadas ondas transversais (S), que constituem ondas cuja vibração das partículas do meio se desenvolve perpendicular à direção de propagação.

Os métodos sísmicos de prospecção geofísica se fundamentam na análise do comportamento das ondas (P) e (S), sendo que a onda longitudinal (P) é mais utilizada na avaliação sísmica. A análise do método baseia-se no estudo do tempo de chegada dessas ondas, em um certo número de pontos escolhidos, sendo possível deduzir as posições das diferentes interfaces de contato, em que as ondas se refletem, refratam ou são amortecidas, quando encontram heterogeneidades ou descontinuidades no meio em que se propagam. Essas variações são representadas por xenólitos, enclaves, veios, massas pegmatoides e presença de sistemas de fraturas.

Salienta-se que nas rochas granitoides a velocidade de propagação dessas ondas situa-se no intervalo de 5.000 m/s a 6.000 m/s. No caso da rocha ser bastante homogênea e destituída de fraturas, as velocidades acima podem ser obtidas e se manterem constantes nas diferentes medidas. No caso do material conter xenólitos, veios, enclaves e variações litológicas, as variações observadas na velocidade de propagação das ondas longitudinais situam-se na faixa de 14%. Entretanto, quando a frente da onda encontra planos de fraturas, suas trajetórias sofrem significativos desvios, o que provoca retardo dessas ondas em até 40%, na base de recepção. Tal atraso constitui uma queda de velocidade, interpretada como presença de fraturas e de falhamentos.

A experiência operacional mostra que a utilização de métodos sismológicos na pesquisa de detalhe de rochas ornamentais é de suma importância para o conhecimento em profundidade do comportamento estrutural do maciço e, conseqüentemente, no processo de planejamento para escolha do melhor local para a abertura da pedreira.

Uso da Projeção Estereográfica na Interpretação dos Elementos Estruturais na Pesquisa de Rochas Ornamentais

Durante a execução dos serviços de mapeamento geológico de detalhe e do levantamento sistemático dos dados estruturais deve-se efetuar um minucioso estudo do fraturamento e falhamentos observados, incluindo a sua distribuição espacial: geometria, direções, planos de mergulho e frequência. Posteriormente, as famílias de fraturas observadas podem ser interpretadas mediante o emprego de projeções estereográficas, as quais são elaboradas a partir de um número relativo (frequência) de fraturas existentes em cada direção.

O emprego do método de projeção estereográfica permite o tratamento dos dados coletados, inclusive à elaboração dos elipsoides de tensão e deformação obtidos a partir de indicadores cinemáticos, culminando com a definição dos campos de tensão atuantes sobre o maciço a ser pesquisado. Com essa sistemática de trabalho pode-se elaborar seu bloco de partição, o qual fornecerá a direção mais adequada para abertura da pedra (MENDES, 2008). Sua utilização auxiliará na definição das superfícies de longante, tricante e levante, propiciando o planejamento correto das futuras operações de lavra.

O método consiste, primeiramente, em mapear e definir os sistemas de fraturas observados no jazimento. Em seguida, criar um banco de dados com esses elementos e, posteriormente, com o auxílio do "Software Stereonet", obter os diagramas de rosetas e de polos com a rede de Schmidt. Estes diagramas mostram tanto a direção do fraturamento estudado, quanto à distribuição dos diferentes planos de cisalhamento.

A análise dos diagramas de projeção estereográfica permite deduzir o par conjugado formado pelas direções dos cisalhamentos, cuja bissetriz do ângulo formado pelo cruzamento desses planos coincide com a direção de compressão máxima atuante (σ_1). A interpretação desses diagramas permite visualizar o eixo de compressão ou tensão mínima atuante e também as direções das fraturas de tensão e distensão que afetaram o jazimento.

Convém frisar, que após a obtenção destes parâmetros e com a elaboração dos elipsoides de tensão e do bloco de partição pode-se definir com segurança a melhor direção de abertura da pedra. Com base em critérios mecânicos e levando em consideração a dinâmica de deformação dos corpos, sugere-se inicialmente a execução de cortes perpendiculares à direção de compressão máxima que atua sobre o maciço, com o objetivo de criar um campo de alívio. Em seguida dar continuidade ao processo de abertura da pedra, cuja direção de corte deve coincidir com a do eixo de compressão mínima ou de máxima deformação dos elipsoides de esforço e de deformação (MENDES, 2010).

A aplicação de tal sistemática de trabalho permitirá a redução das tensões de alívio atuantes sobre o maciço, durante a fase inicial do processo de abertura da pedra, propiciando assim uma diminuição no aparecimento das fraturas de alívio decorrentes desta fase. A adoção de tal sistemática de trabalho propiciará sem dúvida, um aumento da taxa de recuperação das operações de lavra contribuindo para a redução do volume de resíduos gerados.

3.8. Estudo das tensões atuantes e o uso do elipsoide de tensão

Nos corpos rochosos deformados, em estruturas diversas, a distribuição das tensões é na maioria das vezes complexa. Para exemplificar o raciocínio examina-se a distribuição das tensões em um elemento cúbico unitário do corpo. Em cada um dos lados do cubo a tensão pode ser decomposta em três componentes a X, Y, e Z. Dessa forma, ter-se-á uma componente normal a

cada um dos lados e duas a ele paralelas, designadas de tensões cisalhantes representadas por σ . Haverá assim um total de nove tensões, que podem ser adicionadas e definem a condição de tensão do cubo (Fig. 8). Contudo, várias condições de tensão são interdependentes, algumas tendem a girar o cubo, mas supondo que o estado é de equilíbrio, as tensões que provocam rotação deverão se anular ou compensar.

Imaginando-se uma rotação em torno de "Z" provocada, por exemplo, pelas tensões cisalhantes tendem a se anular por terem sentidos opostos. Por conseguinte, somente seis das nove componentes de tensão são interdependentes e o estado de tensão em um elemento inteiro pode ser definido por meio de seis componentes. Como o componente inteiro cúbico encontra-se em equilíbrio, todas as tensões aplicadas podem ser decompostas assim como as tensões normais ao longo dos três eixos ortogonais, que representam os eixos principais de tensão. Segundo tais direções as tensões cisalhantes são nulas. Via de regra, as tensões, segundo essas três direções, são de magnitudes diferentes tendo a seguinte notação:

- σ_1 - Direção de tensão máxima;
- σ_2 - Direção de tensão intermediária;
- σ_3 - Direção de tensão mínima.

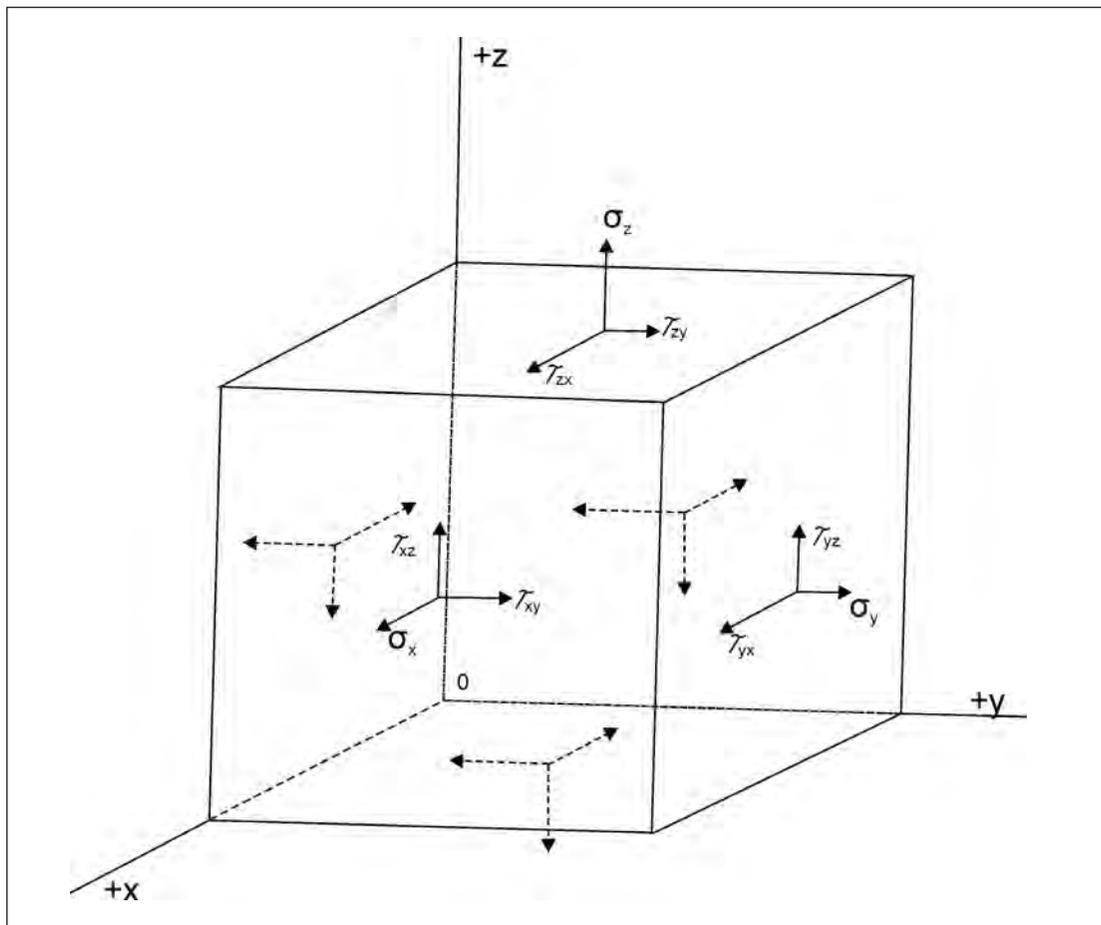


Figura 8 - Resolução do campo de tensões, segundo os eixos cartesianos X, Y, e Z.

Em termos tridimensionais, a tensão num ponto pode ser convenientemente representada pelo elipsoide de tensões, conforme as concepções de Jaeger (1962), Nadai (1950), Ransay (1967), e Ransay & Huber (1983). Dessa forma, qualquer plano cuja atitude for paralela a dois dos três eixos principais será solicitado apenas por uma tensão normal σ , idêntica à terceira. Em qualquer outro plano arbitrário, as solicitações incluirão uma tensão normal, de magnitude intermediária entre σ_1 e σ_3 e uma tensão cisalhante t , cuja atuação é paralela ao plano.

Obviamente as intensidades de σ e t são funções não só dos valores das tensões principais, mas também do plano em relação às mesmas. Em termos teóricos, a tensão máxima cisalhante sucede-se ao longo de duas superfícies que fazem um ângulo de 45° com a direção de tensão máxima. O estudo de corpos rochosos mostra que, na prática, este ângulo é de 33° .

3.9. Dinâmica do fraturamento e interpretação estrutural dos parâmetros obtidos

Os estudos e ensaios em laboratório do fraturamento observado em materiais rochosos têm gerado um grande acervo de dados de real interesse para aplicações na mecânica de rochas e, principalmente, na lavra de maciços para fins ornamentais. Tais trabalhos têm esclarecido muitas das relações observadas em campo. Dentre os estudos desenvolvidos sobre este tópico, citam-se os de: Hubbert (1937 e 1951), Hubbert e Willis (1957), Handin (1957), Handin e Hager (1957 e 1958), Patterson (1958), Griggs e Handin (1960), Handin *et al* (1963), Patterson (1958) e Rocha (1971). Estes autores demonstraram, de forma clara e surpreendente, as relações constantes existentes entre as zonas de fraturas e a direção axial da tensão atuante.

Considerando-se que um corpo rochoso, funcionando como corpo de prova, seja submetido a uma ação compressiva, ocorre o desenvolvimento de numerosas fraturas, que podem ser agrupadas em quatro conjuntos principais. Tais cisalhamentos aumentam em número e dimensões até que o corpo se rompa definitivamente. Esses rompimentos ocorrem pelo aproveitamento de fraturas longitudinais à direção principal de tensão ou pelo desenvolvimento de superfícies de cisalhamento com ângulo teórico de 45° com a direção de compressão máxima. Pelo exposto, conclui-se que a direção de tensão máxima s_1 constitui a bissetriz do ângulo que os planos de cisalhamento fazem entre si, o qual é menor que 90° e em geral próximo a 60° .

As fraturas de tensão são geradas paralelas à direção de tensão máxima. Em muitos ensaios de compressão em corpos rochosos, em formatos prismáticos ou cilíndricos, estes se rompem por meio de fraturas ou lascas paralelas à clivagem de fratura e às faces verticais do prisma. Em outros casos, após a ação do esforço compressivo devido ao alívio gerado, as fraturas se dispõem perpendiculares ao eixo de compressão. Têm-se também o rompimento através de superfícies diagonais à direção do eixo de compressão máxima, em geral formando um ângulo teórico de 45° com a direção principal de tensão, que constituem as direções teóricas das fraturas de cisalhamento.

Além das fraturas de tensão ou extensão e de cisalhamento descritas, têm-se as fraturas de acomodação. Ensaios de laboratório descritos em Loczy & Ladeira (1978) mostram que se um prisma submetido a uma carga compressiva estiver em meio fluido, que lhe exerça uma pressão hidrostática elevada, encerrada a compressão e retirando-se o prisma da máquina observar-se-ão numerosas fraturas normais ao eixo de compressão. O mesmo acontece com o corpo rochoso em profundidade, quando sofre alívio de carga causado pela retirada do capeamento rochoso que o comprimia, passa a apresentar fraturas paralelas à superfície do relevo. Tais fraturas são denominadas de alívio ou de acomodação (Fig. 9).

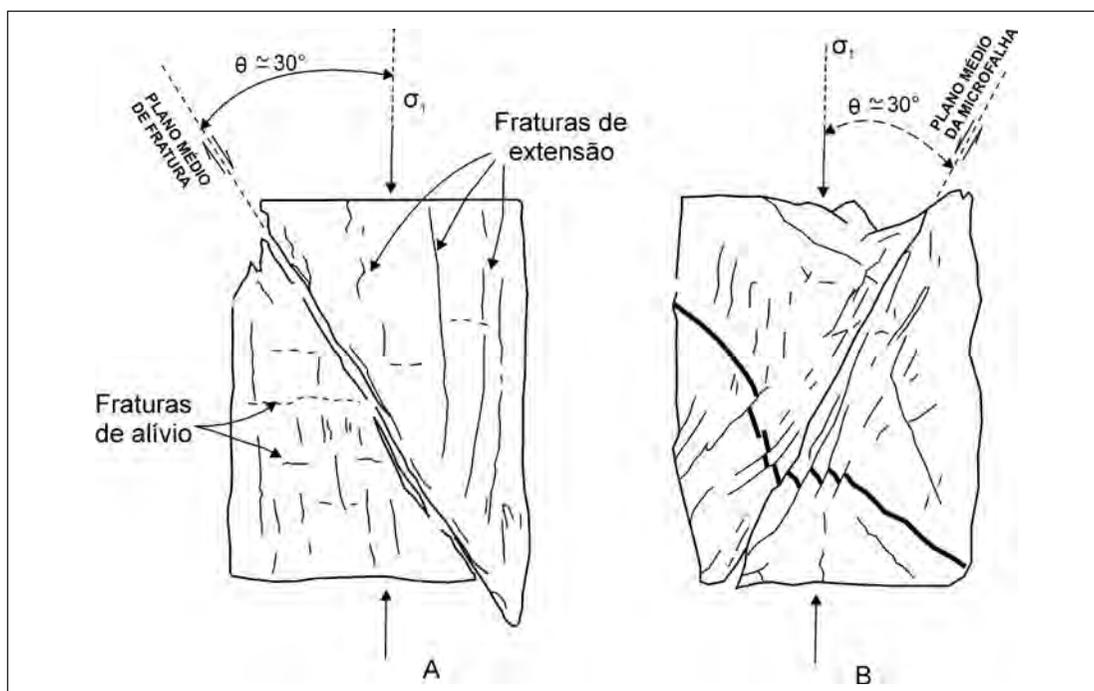


Figura 9 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécimes rochosos submetidos à compressão. (A) granodiorito; observam-se fraturas subsidiárias. (B) granito; mostra que a fratura de cisalhamento principal constitui uma microfalha. Tais testes foram realizados por Borg e Handin (1966), simulando-se uma situação de crosta a 17,7 km de profundidade, correspondente a uma pressão de 5 Kb e a uma temperatura de 500°C Extraído de: Loczy & Ladeira, 1978.

As fraturas de acomodação ou alívio constituem fraturas de tensão geradas pela expansão do corpo rochoso, após se suprimir a atuação da tensão compressiva. Mas como os nomes anteriores são mais usuais, adota-se a terminologia já consagrada. Interpretando o estudo representado pela figura 9, compreende-se perfeitamente o mecanismo de geração das fraturas de cisalhamento desenvolvidas em rochas plutônicas (graníticas e granodioríticas).

Correlacionando os elementos obtidos a partir do estudo teórico da dinâmica do fraturamento, com parâmetros de um mapeamento geológico e estrutural de detalhe realizado num maciço rochoso podem ser definidas as direções principais de cisalhamento (par conjugado). Quanto à bissetriz do ângulo formado por essas direções, a mesma corresponde ao eixo de compressão máxima atuante σ_1 .

Tal disposição permite obter as orientações de fraturas de tensão observadas na área em questão, as quais deverão se mostrar paralelas à direção de compressão máxima e perpendiculares à foliação SN. As fraturas paralelas à foliação SN constituem também fraturas de tensão geradas durante o alívio da fase compressiva, isto é, já no início do processo distensivo que afetou o maciço.

Convém salientar que, além das fraturas de tensão, ocorrem ainda fraturas de alívio sub-horizontais e horizontais, somente detectadas nos corte de bancadas, não visualizadas nos afloramentos ou em planta. Estes cisalhamentos constituem fraturas sub-paralelas ao relevo geradas por alívio de carga durante os processos erosivos e de decapeamento do maciço rochoso. Em certos casos, tais fraturas encontram-se preenchidas por material argiloso e, ocasionalmente, o espaçamento entre elas pode facilitar a exploração do material rochoso.

3.10. Influência das tensões confinantes no processo de abertura de uma frente de lavra para rochas ornamentais

Na natureza, um corpo rochoso é submetido a uma série de tensões confinantes denominadas de pressão litostática. O desconhecimento desses campos de paleotensões e a abertura pura e simples de uma pedreira em maciço podem resultar no aparecimento de um grande número de fraturas de tensão e alívio que, às vezes, chegam a inviabilizar as operações de lavra do jazimento. No Brasil, várias pedreiras constituídas por materiais considerados nobres, de larga aceitação no mercado internacional, já foram inviabilizadas por este problema. Portanto, o estudo das tensões, além de ser importante no planejamento das futuras operações de lavra, contribui para o aumento da taxa de produtividade da pedreira e na redução do volume de rejeitos gerados.

Sabe-se que o padrão de fraturamento estudado em uma pedreira está estreitamente ligado à orientação dos esforços que atuaram diretamente numa determinada região, e contribuíram para a estruturação do maciço. Portanto, somente a partir do estudo dessas estruturas, do seu tratamento com métodos de projeção estereográfica e da confecção do elipsoide de tensão, as orientações dos esforços que as geraram podem ser posicionados e definido o campo de tensões diferenciais que atuaram na área.

Sabendo-se que a qualidade de um bloco de rocha extraído durante o processo de lavra depende da eliminação das superfícies de fraqueza e de descontinuidades detectadas no maciço, o conhecimento delas permitirá estabelecer um planejamento das operações de lavra adaptada a cada situação.

Convém frisar que a análise estrutural, quando bem efetuada, permite no planejamento das futuras operações de lavra, a adoção de critérios que possibilitam um maior aproveitamento dos recursos pétreos. Tal estudo permitirá o descarte das zonas com maior fraturamento e imperfeições. Em consequência, os cortes executados na rocha, quando da abertura do maciço, devem ser orientados segundo o campo das tensões atuantes de forma a aliviar o tensionamento do jazimento antes do início do processo exploratório e, posteriormente, durante o seu desdobramento em blocos. Com base no exposto conclui-se que o processo de abertura deve ser orientado em concordância com as fraturas abertas (extensivas). Na locação e orientação das frentes de lavra devem, portanto, ser priorizadas as áreas em que as direções da foliação SN sejam paralelas às direções das fraturas abertas, pois a direção das mesmas será sempre paralela ao eixo de compressão mínima (σ_3), constituindo no elipsoide de paleotensão a direção de alívio preferencial.

Vale ressaltar que o tratamento das informações obtidas nos mapas geológicos e estrutural de detalhe da pedreira em modelo 3D, permitirá visualizar o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas a serem analisados. Tal modelamento, quando associado à interpretação dos diagramas de projeção estereográfica e de rosetas das fraturas detectadas, associadas ao emprego do elipsoide de tensão vem reforçar a assertiva na qual a direção de tensão mínima constituirá a melhor direção para o corte de abertura de uma pedreira.

Esta consideração deverá ser confirmada pelo corte das bancadas a ser efetuado durante as operações de amostragem industrial visando à retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

3.11. Considerações gerais

A falta de conhecimento geológico relativo à área do jazimento tem sido a causa do insucesso de várias empresas que atuaram no setor. De acordo com o exposto nos itens anteriores, a exploração

de rochas ornamentais em maciço, por meio de bancadas abertas, depende de um criterioso trabalho de pesquisa geológica de detalhe, o qual propiciará ao minerador o completo conhecimento das características físico-mecânicas da rocha a ser extraída. A obtenção de tais parâmetros será, portanto, de fundamental importância para o bom desempenho das futuras operações de lavra e contribuirá de forma significativa para o bom êxito do empreendimento.

Salienta-se que o conhecimento dos condicionantes tectono-estruturais de uma determinada região, facilita os trabalhos de prospecção e execução da pesquisa de detalhe, pois a sua compreensão limita ou favorece a exploração de certos tipos de rochas ornamentais.

A qualidade dos blocos extraídos durante o desenvolvimento das operações de lavra dependerá, dentre outros aspectos, do conhecimento das superfícies de fraqueza representadas pelas descontinuidades, da densidade desses planos e de sua distribuição no espaço. O domínio técnico destes fatores permitirá um melhor planejamento nas operações de lavra e deverá ser adaptado a cada jazimento.

Com base no exposto, verifica-se que a elaboração do mapeamento geológico de detalhe seguido do levantamento estrutural e tridimensional das estruturas observadas é de suma importância para o bom êxito dos futuros serviços de exploração. Isto pode ser confirmado no corte das bancadas, para retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado, efetuado durante as operações de amostragem industrial e de acordo com esta concepção.

No tocante à definição do método e do tipo de equipamento a ser adotado, além dos serviços mencionados, faz-se necessária também a execução dos estudos de caracterização petrográfica e tecnológica da rocha a ser prospectada. Os resultados permitirão o conhecimento das características físico-mecânicas do litotipo, que aliada às condições estruturais e ao conhecimento do campo de tensões atuantes permitirá definir a melhor sistemática de trabalho que se adapta ao material a ser explotado.

Em maciços fraturados, a determinação da densidade e distribuição das fraturas e veios será de fundamental importância para a elaboração de um planejamento operacional capaz de maximizar a recuperação de blocos em uma frente de exploração. Salienta-se que a visualização tridimensional dos planos de fraturas e demais descontinuidades viabilizam a definição do tamanho e orientação dos blocos a serem lavrados, e dos setores que melhor se apresentam à abertura de frentes de extração.

O uso de projeção estereográfica e análise do elipsoide de paleotensões é importante para dar suporte às decisões técnicas relacionadas ao planejamento e operacionalização de uma lavra de rochas ornamentais. Salienta-se que tal sistemática de estudo pode ainda colaborar para o melhor entendimento das situações adversas, tais como a ruptura imprevista de blocos em determinadas direções durante os trabalhos de extração, transporte, serragem ou polimento. Convém frisar que, o levantamento geológico básico e de detalhe e a análise estrutural, constituem ferramentas imprescindíveis, mas não são suficientes para solucionar as dificuldades na determinação da geometria da pedreira durante o planejamento da lavra. Para isso é necessário contar com um levantamento topográfico adequado à escala de trabalho e com a modelagem tridimensional do maciço e das estruturas nele detectadas, com o auxílio das técnicas de geoestatística. Estes estudos ainda devem ser complementados com a utilização de métodos geofísicos (GPR) e serviços de sondagem.

4. Pesquisa tecnológica industrial

Embora não seja uma prática corrente na atividade de pesquisa mineral, a pesquisa industrial do corpo geológico constitui elemento relevante e indispensável para caracterização cromática

e estética e consequente avaliação econômica e de mercado dos produtos resultantes da lavra e beneficiamento das rochas ornamentais. A prática usual para expressar o padrão cromático recai sobre confecção de placas retangulares de dimensões reduzidas (20 a 30 cm), o que significa, equivocadamente, extrapolar estes exemplares a toda a massa mineral, representativa da jazida.

A pesquisa tecnológica industrial tem o amparo legal mediante requerimento de uma Guia de Utilização no DNPM. Esta Guia de Utilização é concedida pelo DNPM por um prazo predeterminado condicionada a comprovação de autorização ambiental fornecida pelo órgão competente.

Evidentemente que os blocos produzidos na amostragem industrial não constituem uma amostra representativa da jazida, porém, criteriosamente escolhido o local de extração, serão obtidas alíquotas que permitirão definir, em primeira aproximação, o padrão cromático e estético do material resultante da lavra do corpo geológico, objeto do estudo.

A execução de uma pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental deve ser precedida de um mapeamento topo-geológico de detalhe do corpo a ser explorado com indicação de todos os elementos visualizados macroscopicamente em campo, tais como: padrão cromático, cor predominante, fraturamentos, elementos deletérios, estruturas imbricadas, minerais associados etc., e complementada pelas análises petrográficas e execução de ensaios tecnológicos da rocha (densidade, porosidade, desgaste Amsler, dilatação térmica, resistências, degelo etc.).

As considerações desenvolvidas ao longo desta parte do capítulo aplicam-se tanto a jazidas de maciços rochosos quanto àquelas formadas por matacões.

4.1. Importância técnica, econômica e comercial da pesquisa industrial

Sob o ponto de vista técnico, econômico e comercial, a pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental permitirá, dentre outros fatores:

- Estabelecer os diferentes sentidos de corte dos blocos a serem produzidos e seus padrões cromáticos ou estéticos resultantes;
- obter parâmetros indicadores para o planejamento conceitual da lavra tais como: sentido de avanço; recuperação ou rendimento da jazida; dimensionamento de equipamentos e insumos etc.;
- possibilitar avaliar-se as características texturais, padrão cromático, presença ou ausência de elementos deletérios etc. e exposição de um ou mais cortes no maciço rochoso, promovendo melhores condições de interpretações e avaliações geológicas, estruturais e geomecânicas;
- estimar índices preliminares de produtividade dos equipamentos e insumos selecionados para o corte da rocha, como exemplo: rendimento das perfuratrizes, consumo de combustíveis e lubrificantes dos compressores, controle do corte e rendimento de fio diamantado; consumo de explosivos e acessórios; eficácia da massa expansiva; rendimentos de escavadeiras ou carregadeiras; etc. Estes índices de produtividade serão úteis para o planejamento e viabilidade econômica da lavra da jazida;
- produzir blocos em variados tamanhos, com dimensões compatíveis com as aberturas (bocas de entrada de blocos) dos teares de lâminas ou multifio diamantados;
- caracterizar o comportamento tecnológico da rocha, a nível industrial, a partir da serragem e polimento de blocos de dimensões industriais;
- obter chapas serradas, polidas, apicoadas ou flameadas, disponíveis para promoção em feiras ou outros eventos promocionais, bem como para comercialização com potenciais investidores; e

- formar, em primeira aproximação, o preço médio das chapas produzidas mediante avaliações comerciais reais e, conseqüentemente, definir os preços a serem praticados para blocos. Estas informações, acrescidas das avaliações de custos da pedra, permitirão valorizar a jazida e sua viabilidade técnico-econômica-comercial.

Em suma, a importância da pesquisa industrial de uma jazida de rocha ornamental recai sobre as possibilidades de avaliação dos produtos resultantes, principalmente quando os blocos retirados são submetidos à serragem e polimento em unidade industrial. Isto permitirá obter placas em dimensões comerciais, ou seja, representativas do produto final a ser ofertado no mercado aos potenciais consumidores.

4.2. Pesquisa industrial em nível de projeto

As atividades de pesquisa mineral de um depósito de rocha ornamental compreendem, além dos elementos básicos (localização, acessos, aspectos climáticos, tipos de vegetação, infraestrutura local e regional etc.), levantamentos topográficos, mapeamento geológico, análises petrográficas, ensaios tecnológicos, sondagens, amostragem industrial, ensaios industriais, nas etapas de lavra e beneficiamento.

Um planejamento da pesquisa tecnológica industrial bem elaborado fornecerá o dimensionamento dos equipamentos e instalações, cálculo de custos, sequência de atividades, implicações econômicas do impacto ambiental e análise dos aspectos geológicos e estruturais da jazida.

Na fase de mapeamento geológico deverão ser identificados alvos de subáreas em afloramentos selecionados para amostragens em blocos, objetivando: a produção de chapas serradas e polidas e placas, em tamanhos reduzidos; a realização de análises petrográficas e ensaios tecnológicos; e a delimitação de áreas para praça de manobra e movimentação de equipamentos.

Para o projeto de pesquisa tecnológica industrial será de fundamental importância: a caracterização do apoio logístico, pela avaliação das condições de acesso de cada ocorrência, considerando o transporte de blocos em carretas rodoviárias; verificação de disponibilidade de água e energia no local ou nas proximidades e mão de obra operacional na região (marleteiros, operadores de máquinas de corte de rocha, “blaster” etc.).

Em nível de projeto de pesquisa industrial será necessário projetar os acessos aos locais de execução dos serviços e delimitar áreas de “Bota-Fora” topograficamente adequadas nas proximidades das subáreas onde serão realizados os trabalhos de extração de blocos.

Para cada afloramento selecionado, os seguintes aspectos deverão ser observados:

- Descrição das características texturais;
- disponibilidade de mapa em escala adequada com indicações topo-geológicas;
- estimativa das reservas recuperáveis e recuperação projetada;
- seleção da tecnologia de corte;
- dimensionamento dos equipamentos de corte, desdobramento, remoção (carga) e transporte de blocos; e
- estimativa dos investimentos da amostragem industrial da jazida, discretizada por afloramento.

A recuperação da área amostrada deverá ser concebida visando sua recuperação ambiental no final da amostragem industrial, caso não seja comprovada a exequibilidade de lavra do depósito.

Deve-se prever o depósito dos resíduos nos níveis inferiores e a conseqüente cobertura com solo e terra vegetal para plantações de gramíneas ou espécies nativas, condições estas que con-

correm para um manejo mais fácil em relação ao objetivo pretendido. Deverão ser identificadas as espécies com melhores chances de adaptação considerando o clima e as precipitações anuais, os fatores limitantes do desenvolvimento de espécies vegetais, além de outras medidas.

4.3. Pesquisa tecnológica industrial em nível de execução

Em nível de execução, um estudo de caso em se tratando de maciços rochosos, as seguintes atividades deverão ser desenvolvidas para cada subárea selecionada:

- Levantamento topográfico planialtimétrico em escala de detalhe (1:500, por exemplo) numa área que englobe o maciço rochoso, área selecionada para “bota-fora”, local para instalação de Pau-de-Carga, estradas de acesso, construções existentes nas imediações do local etc. Este mapa a ser gerado, constituirá a base dos serviços de Amostragem Industrial a serem executados.
- Preparação das áreas de movimentação de equipamentos, carregamento de blocos e “bota-fora”. Os serviços de preparação normalmente são realizados com trator de esteira ou escavadeira ou pá carregadeira de rodas, auxiliados por um conjunto constituído de um compressor portátil de 360 cfm de capacidade, dois marteletes (perfuratrizes manuais) acionados a ar comprimido, mangueiras e acessórios, materiais de perfuração, lubrificadores de linha e afiadoras de brocas.
- Durante a amostragem industrial, canaletas de drenagem deverão ser implantadas com o objetivo de evitar os efeitos da erosão e canalizar as águas pluviais para o reaproveitamento nas instalações futuras.
- Abertura de uma “gaveta” no maciço rochoso com finalidade de produzir blocos de tamanho industrial e permitir se iniciar uma bancada para futura lavra. Os mesmos equipamentos utilizados na fase de preparação, (técnicas de perfuração e explosivos) acrescidos de *Flame-Jet* (maçarico de corte de rocha) ou Máquina de Fio Diamantado serão necessários, constituindo-se então a frota necessária à execução da produção e movimentação dos blocos na área de pesquisa industrial.

Os tamanhos dos blocos a serem produzidos na fase da pesquisa tecnológica industrial, com especificações de medidas mínimas e máximas para as três dimensões, são de fundamental importância para planejamento da fase de lavra futura, tanto pelo aspecto físico do bloco, quanto pela estimativa de recuperação e custos a serem projetados.

A prancha, após o tombamento, será submetida a cortes secundários e terciários visando produção de blocos nas dimensões desejadas. O esquadrejamento dos blocos poderá ser feito por perfuração com auxílio de cunhas de pressão e outras ferramentas manuais, explosivos ou argamassa expansiva ou, ainda, com fio diamantado. Deverão ser produzidos apenas dois ou três blocos por afloramento selecionado, os quais serão submetidos à serragem e ao polimento, em unidades industriais.

Na fase da pesquisa industrial deverão ser implantados os sistemas de controle de produção, utilização e manutenção de equipamentos, apropriação de consumos específicos dos materiais, regimes de operação mais adequados, produtividade da mão de obra etc.

Operacionalmente, a sequência de execução de uma pesquisa tecnológica industrial de jazida de rocha ornamental (maciços graníticos) pode ser exemplificada por diferentes técnicas de extração nos seguintes eventos práticos, como estudo de caso.

Aplicabilidade das técnicas com fio diamantado

- Marcação, com tinta, do prisma a ser removido (dimensões pré-estabelecidas).
- Marcações dos locais nos quais serão abertos os furos guias para passagem do fio diamantado (Figs. 10 e 11).

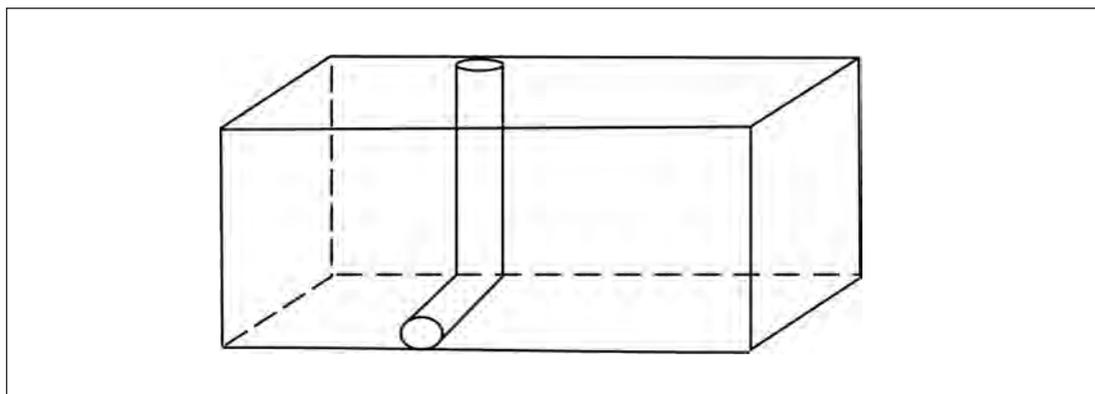


Figura 10 - Furos Guias Para Passagem de Fio Diamantado / Corte Lateral. Elaboração dos autores.

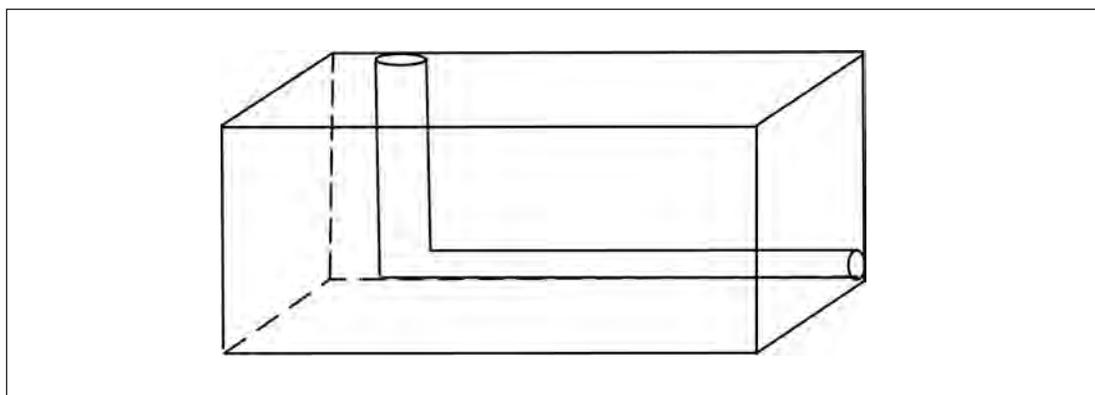


Figura 11 - Furos Guias Para Passagem de Fio Diamantado / Corte de Fundo. Elaboração dos autores.

- Abertura dos furos guias, com sonda rotativa a ar comprimido, no diâmetro de 48 mm (AQ); um dos furos a ser feito será vertical e o outro horizontal, de modo a permitir, após a intercepção dos mesmos, a passagem do fio diamantado para iniciar o corte ao longo da face escolhida. O uso da sonda rotativa a ar comprimido, além de realizar os furos para a passagem do fio, permite que se efetue a testemunhagem do interior do maciço e, conseqüentemente, obter informações do mesmo. Inicialmente, passa-se pelos furos um cordão, e em uma de suas extremidades é amarrada uma pequena bola de pingue-pongue. O cordão com a bola é introduzido em um dos furos, oportunidade em que no furo em questão é injetado ar comprimido, através de uma espingarda (cano de pvc/acoplado à mangueira de ar) de modo que a bola com o cordão são expulsos através da boca do outro furo; após a passagem do cordão, o fio diamantado é amarrado em uma extremidade e assim sua passagem pelos furos guias é efetuada (Fig. 12).

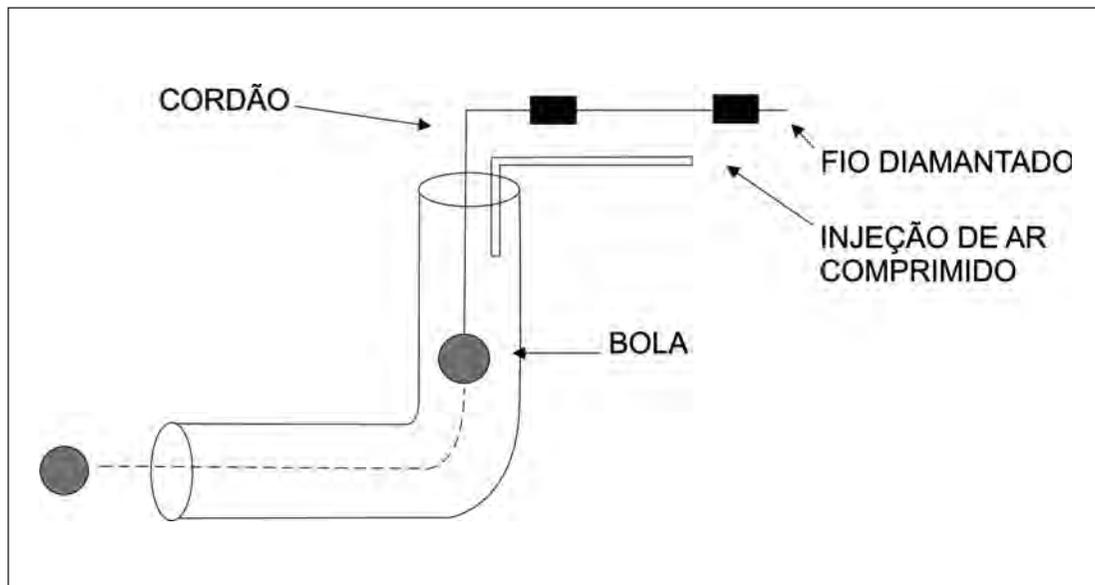


Figura 12 - Croqui Esquemático Explicativo Para Passagem de Fio Diamantado. Elaboração dos autores.



Figura 13 - Execução do Corte com a Máquina de Fio Diamantado. CBPM, 2002.

- O posicionamento da máquina de corte a fio diamantado é feito na frente da bancada ou na lateral da bancada de modo a poder fazer-se um corte contínuo na face a ser cortada (lateral ou de fundo); se não houver espaço na lateral para colocação da máquina, uma gaveta terá de ser aberta com o *flame-jet* de modo a permitir a sua instalação. A máquina é instalada sobre trilhos de modo a poder se deslocar, conforme o corte avança, de modo a manter o fio sempre bem tensionado (Fig. 13).
- Os furos de levante para corte horizontal do prisma, espaçados de 15 cm, serão marcados na base do prisma (a cerca de 5 cm do piso) e terão diâmetros de 33 a 34 mm e comprimento variável com o avanço da área de amostragem. Esses furos de levante serão executados por martelos pneumáticos manuais adaptados para executarem este tipo de furação. Uma estrutura metálica chumbada no piso por meio de cunhas, permite acoplar até quatro martelos ao mesmo tempo e que serão usados na furação (Fig. 14). Esses furos de levante serão tamponados com cartuchos de papel com recheio de argila e serão carregados com explosivos leves a uma razão de carregamento de 10 g/m³.

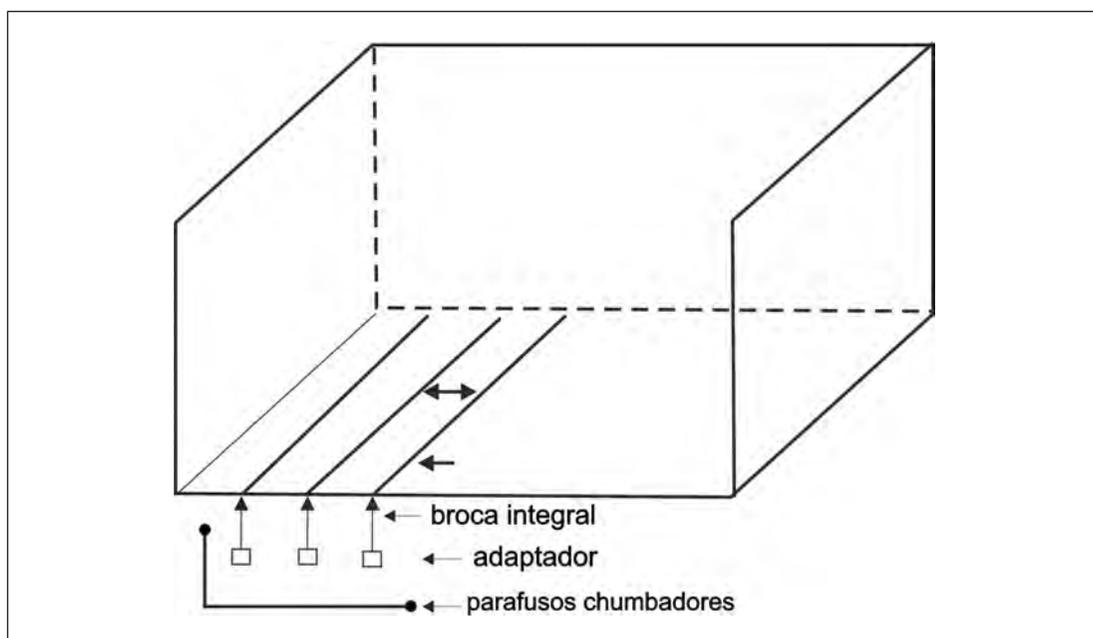


Figura 14 - Croqui Explicativo Execução Furos de Levante. Elaboração dos autores.

- Após o desmonte do prisma de amostragem, este será inspecionado adequadamente para produção dos blocos de melhor qualidade. Os blocos demarcados na superfície superior do prisma serão retirados quando ocorrerá a operação de desdobramento de blocos, nada mais que a divisão do prisma em blocos menores, com a medida dos mesmos sendo o mais próxima possível das aberturas (bocas) dos teares nos quais serão processados para a produção de chapas. Esta operação de desdobramento será executada com perfuratrizes manuais ou montadas sobre trilhos (*slot drill*) e auxiliada, na sequência, por cunhas de pressão.
- Os blocos serão removidos com uso de equipamentos pesados (escavadeiras ou pá carregadeiras), como o da figura 15.



Figura 15 - Escavadeira utilizada na Pesquisa Tecnológica Industrial. Foto: CBPM, 2002.

Um programa de pesquisa tecnológica industrial, envolvendo: reconhecimento e mapeamento geológico de detalhe da pedreira; planejamento e transporte de equipamentos até o local; execução das operações de campo; transporte de blocos; e serragem e polimento de chapas, pode ser desenvolvido em um prazo de 2 a 3 meses.

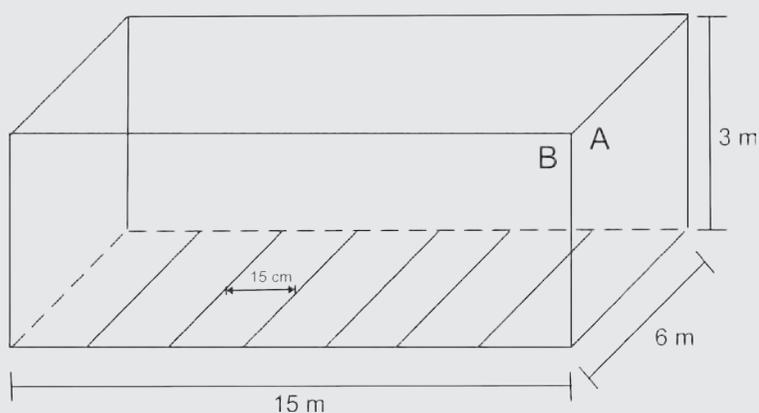
Aplicabilidade das técnicas dos explosivos

A capacidade que os explosivos têm de gerar energia está associada à sua capacidade de fraturar as rochas. Assim sendo, no caso específico das rochas ornamentais é fator preponderante que as mesmas sofram o mínimo dano possível em relação ao fraturamento (trincas) de modo a não comprometer seu aproveitamento. Deste modo, os explosivos mais usados em lavra de rochas ornamentais são: a pólvora negra, o cordel detonante e os explosivos granulados.

Chama-se “Plano de Fogo” à quantidade de explosivos em gramas, necessários para arrancar 1 m^3 de rocha. Não existe nenhuma fórmula pronta para o dimensionamento de um “Plano de Fogo”, já que cada jazida apresenta características próprias (nenhuma jazida é igual à outra), assim sendo, deve cada pedreira por meio de inúmeros testes experimentais, definir a melhor razão de carregamento, sempre levando em conta que uma carga mal dimensionada pode comprometer o aproveitamento econômico de uma pedreira.

Os furos de bancada ou de levante, geralmente são carregados alternadamente (salta-se de um até quatro furos a depender das características da rocha); sendo que as cargas de fundo, que são unidas pelo cordel detonante e são colocadas nos furos podem também ter seu posicionamento alterado (em uns furos são colocadas ao final dos mesmos, enquanto em outros são colocadas em uma posição intermediária a depender também das características da rocha). O carregamento na maioria das vezes, principalmente em painéis e bancadas altas, é feito apenas com o cordel detonante, com a colocação de uma espoleta de retardo no primeiro ou no último furo da sequência. Os furos são geralmente enchidos com água e podem ou não ser tamponados.

EXERCÍCIO PRÁTICO



A/B – Faces livres

Furos de levante espaçados entre si 15 cm (desenho em duas escalas propositalmente, para melhor visualização)

Prisma Volume $V: 6 \times 15 \times 3 = 270 \text{ m}^3$
 Peso $p: 270 \times 2,7 = 729 \text{ t}$

Razão de Carregamento

RC = Gramas de explosivo por m^3 ($\text{g} \times \text{m}^3$) de rocha a desmontar.

Em pedra ornamental a RC varia de pedra para pedra; no caso específico da pedra Beija-Flor (Pedreira-Escola) a razão ideal de carregamento é de 50 g/m^3 , com o carregamento sendo assim distribuído:

Um furo (6 m) carregando com Cordel NP 5 até ao fundo com um cartucho de granulado no final; um furo descarregado; um furo (3 m) carregado com cordel NP 5 até ao meio, com um cartucho de granulado no meio e assim sucessivamente até o final da linha da furação.

EXERCÍCIO PRÁTICO

Nº de furos de levante: 15 m: 0,15 m = 100 furos

Nº de furos carregados: 100/2 = 50 furos carregados

Nº de furos carregados (6 m): 100/4 = 25 furos de 6 m

Nº de furos de carregados (3 m): 100/4 = 25 furos de 3 m

Nº de furos descarregados = 50

RC = $270 \text{ m}^3 \times 50 \text{ g/m}^3 = 13.500 \text{ g}$ de explosivo

(Cordel NP 5: 5 g de explosivo nitropenta por metro).

Metragem de Cordel NP 5: 25 furos x 6 m = 150 m

25 furos x 3 m = 75 m

Total = 225 m

Carga de explosivo de 225 m de cordel NP 5 = 225 x 5g = 1.125 g

Carga de explosivo em aberto: 1.350 g – 1.125 g = 12.375 g

Explosivo granulado a ser usado (encartuchado): 12.375 g

Repartição de granulado por furo: 12.375 g / 50 furos = 247 g por furo carregado.

Obs: Não se considerou neste caso o cordel utilizado na linha tronco (15 m) nem o que vai da boca do furo carregado até a linha tronco (+ 15 cm por furo/15 x 50 = 7,5 m).

5. Bibliografia e referências

AZEVEDO, Alberto. Manual de Rochas Ornamentais, Módulos I e II. Relatório restrito da Pedreira Escola, Ruy Barbosa, Bahia, 2006.

ANHAEUSSER, C. R.; MASON, R. VILJEON, N. J.; VILJEON, R. P. A reappraisal of some aspects of Pre-Cambrian Sheild geology-Geological Society of America Bulletin, v. 80, Nov. p. 2175 - 2200.

ATLAS COPCO DO BRASIL Perfuração e Desmonte de Rochas, São Paulo, 1969.

BILLINGS, M. P. Structural Geology. 3 ed. [New Delhi]: Prentice Hall, 1972. 606p.

BIZZI, L. A. *et al.* - Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Sistema de Informações Geográficas – SIG. Mapas na escala 1:2500. 000. Brasília: CPRM, 2001.4 CD ROM.

BORG, I. & HANDIN, J. Experimental Deformation of Crystalline Rocks. Tectonophysics, V. 3, n 4, ed. especial. ELSEVIER. 1966.

CARANASSIOS, A.; CICCUCI, P. Tecnologias de Extração e Valorização das Rochas Ornamentais, V-23, Rochas de Qualidade. São Paulo, 1992.

CHIODI FILHO, C. Pesquisa Geológica: O Primeiro Passo. In: Revista Rochas de Qualidade Nº 117, Abril/Maio/Junho - 1994. p. 58-71.

- CHIODI FILHO, C. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimentos no Brasil - Mercados Interno e Externo. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, 2005, Recife. Anais ... Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. 372p. il. p. 325-351.
- CRESPO, Francisco. Manual de Rochas Ornamentais. Madrid: Ed. Entorno Gráfico, 1996.
- DELGADO, I. M.; PEDREIRA, A.J. Companhia de pesquisa de recursos minerais. Síntese da Evolução Geológica e Metalogenética do Brasil. Salvador: CPRM, 1994. 1v.
- DUARTE, G. W. Tecnologias de Extração de Rochas Ornamentais. Senai. Vitória, ES. 1994.
- FÁBRICA DE EXPLOSIVOS PRESIDENTE VARGAS Utilização de Explosivos. Fábrica de Explosivos Presidente Vargas. Rio de Janeiro, 1971.
- FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., 1996, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABGE, 1996, p. 369-380.
- GRIGGS, D. T. & HANDIN, J., 1960. Observations on Fracture and a Hypothesis of Earthquakes. In: GRIGGS, D. T. & HANDIN, H. Rock Deformation- a Symposium Geol. Soc. Am. Mem. v. 7, 1960. p. 347-373.
- HANDIN, J. Experimental Deformation of Rocks and minerals. Quart. Colo. School Mines, v. 52, 1957. p. 75-98.
- HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure: Tests at Room Temperature Dry Samples. Geological Society of America bulletin, v. 41. 1957.
- HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under confining Pressure: Test at High Temperature. Geological Society of America Bulletin, v. 42, 1958. p. 2892-2934.
- HANDIN, J.; HAGER JR, R. V.; FRIEDMAN, M. & FEATHER, J. N. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure test. Geological Society of America Bulletin, v. 47, 1963. p. 717-755.
- HERMAN, Curt. Manual de Perfuração de Rochas. São Paulo: Ed. Polígono, 1968.
- HUBBERT, M. K. Theory of Scale Models as applied to the Study of Geology Structures. Geological Society of America Bulletin, v 48, 1937. p. 1459-1521.
- HUBBERT, M. K. Mechanical basis for certain familiar geologic structures. Geological Society of America Bulletin, v 62, 1951. p. 355-372.
- HUBBERT, M. K. & WILLIS, D. G. Mechanics of Hydraulic Fracturing. A. Inst. Min. Eng. Petrol. Trans.,v. 210, 1957. p. 153-166.
- JAEGER, J. C. Elasticity, Fracture and Flow. 2 ed. New York: John Wiley, 1962.
- JAEGER, J. C. & COOK, N. G. W. Fundamentals of Rocks Mechanics. [S.1.]: Chapman and Hall: Science Paperbacks, 1969. 515p.
- JAEGER, C. Rocks mechanics and engineering. [S.1]: Cambridge at University Press.1972. 417p.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. *Projeção Estereográfica Aplicada à Geologia Estrutural* In: *Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica*. Editora Brücher. São Paulo. 1976. 627p.

MENDES, V. A - Os jazimentos de Rochas Ornamentais e a sua Relação com os Eventos Tectônicos Atuantes no Território Brasileiro. *Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste V. 1*. Recife, Nov. 2002. P. 1 a 6.

MENDES, V. A; PAIVA, I. P. - Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Garanhuns. Escala 1:250.000 - CPRM - 2003.

MENDES, V. A; SANTOS, C. A. dos - Jazimentos de Rochas Ornamentais da Província Borborema. In: *IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*, (1). 2003 - Fortaleza. p. 33-39.

MENDES, V. A; PAIVA, I. P; SILVA FILHO, A. F. da - Condicionamento geológico das ocorrências de rochas ornamentais das folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. Escala 1:250.000. In: *III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*, (1). 2002. Recife. p. 99 - 112.

MENDES, V. A.; PAIVA, I. P. Rochas Ornamentais de Pernambuco: Folha Garanhuns. Recife: CPRM, 2003. Escala 1:250.000 (inédito). 90p.

MENDES, V.A. Relação entre os eventos geológicos e a formação dos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas de qualidade*. São Paulo, março/abril/maio, 2003. Edição 169. p. 165-171.

MENDES, V. A.; FIGUEIROA, I. Importância da pesquisa geológica regional na descoberta de novos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas & Equipamentos*. Lisboa, ed. n 81, 1^º trimestre/2006. p. 110-120.

MENDES, V. A.; PAIVA, I. P.; SILVA FILHO, A. F. da; SEONE, J. C. S.; SANTOS, E. J. dos, GUIMARÃES, I. de P.; SIQUEIRA, D. V. e BRASIL, E. Condicionamento Geológico das Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. In: *SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE*, 3, 2002, Recife.. *Anais... Recife: [s.n]*, nov. 2002. 1 v. Escala 1:250.000. p. 99-112.

MENDES, V. A.; SOUZA, J. C.; SANTANA, O. J. Nova sistemática de pesquisa para rochas ornamentais. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 22/ *CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS*, 3 / *SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE* 6, 15-18 nov. 2007, Natal. *Resumos ... Natal: SBG. Núcleo Nordeste*, 2007. 1 CD ROOM. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG).

MENDES, V.A. *Estudo Geoestrutural do Maciço de Granito Vermelho Frevo Sertânia, PE*. UFPE, 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Recife.

NADAI, A. *Theory of flow and fracture of solids*. 2 ed. New York: Mc Graw - Hill Bock Company, 1950. 2.v.

PAIVA, I. P.; BARBOSA, A. J. Rochas Ornamentais de Pernambuco - Folha Belém do São Francisco. Recife: CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2000. 3 mapas. Escala 1: 250.000. (Informe de Recursos Minerais. Série diversos, 3). 45p.

PATTERSON, M. S. Experimental deformation and faulting. in *Wombeyan marble*. *Bull. Geological Society of America Bulletin.*, v. 69, 1958. p. 465-476.

PORTUGAL. Instituto Geológico e Mineiro, Divisão de Minas e Pedreiras *Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto*, Lisboa; Portugal. 1999.

QUÍMICA EDILE DO BRASIL Manual de Utilização de Fract. Ag: argamassa expansiva. Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2000.

RANSAY, J. G. Folding and fracturing of rocks. New York, Mcgraw - Hill. Book Company, 1967. 58p.

RANSAY, J. G. & HUBER, M. The techniques of modern structural geology: fold and fractures. London: Academic Press Inc., [1987]. 702p.

ROCHA, M. Mecânica das rochas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986. 276p.

SANDVICK DO BRASIL Manual de Perfuração de Rochas, São Paulo, 1996.

SEOANE, J. C. S; OSAKO, L. S; SILVA FILHO, A. F. DA MENDES, V. A. - Integração e avaliação de base de dados de prospecção de granitos e migmatitos, em sistema de informações georreferenciadas. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais da Província Borborema. (1). 2002- Recife - p. 124 - 131.

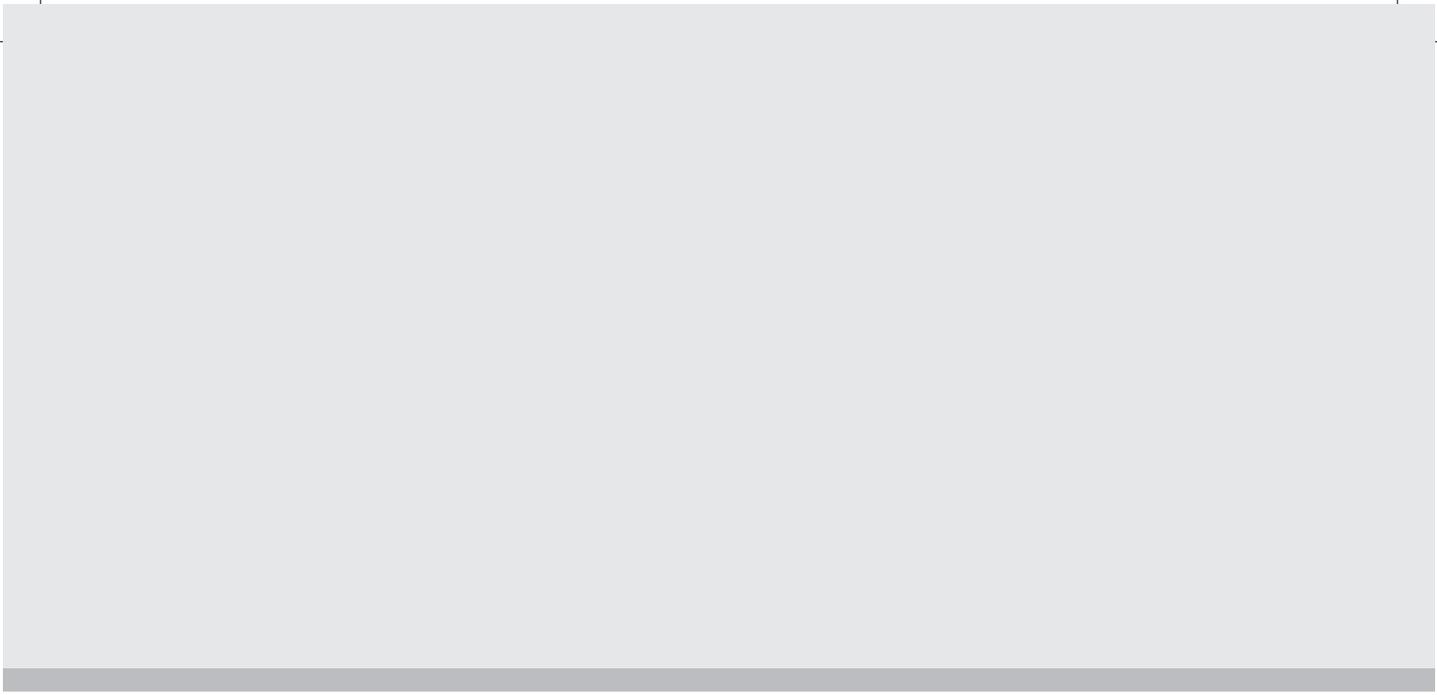
SOUZA, H.; CARALANI, G. Terraplanagem e Escavações em Rochas. São Paulo: Ed. Mcgraw Hill do Brasil, 1977.

STRECKEISEN, A. L., Classification and nomenclature of plutonic rocks. Recommendations of the IUGS - Subcommission on the systematic igneous rocks. Geologisch Rundschau. Internationale Zeitschrift für geologie. Stuttgart. 1976. Vol 63. p. 777-785.

TEODORO, W.; RUBIO, G. Segurança na Mineração em Uso de Explosivos. Rio de Janeiro: Fundacentro, 1986.

WINKLER, H. G. F. Petrogênese das rochas metamórficas. 4 ed. São Paulo: EDGARD BRÜCHER LTDA. 254p.

ZANINI, F. P. Projeto cadastramento dos granitos do Estado de Pernambuco: Relatório Final - Texto. Recife: Convênio CPRM/Minérios de Pernambuco. 1983. 158p.



Capítulo 4

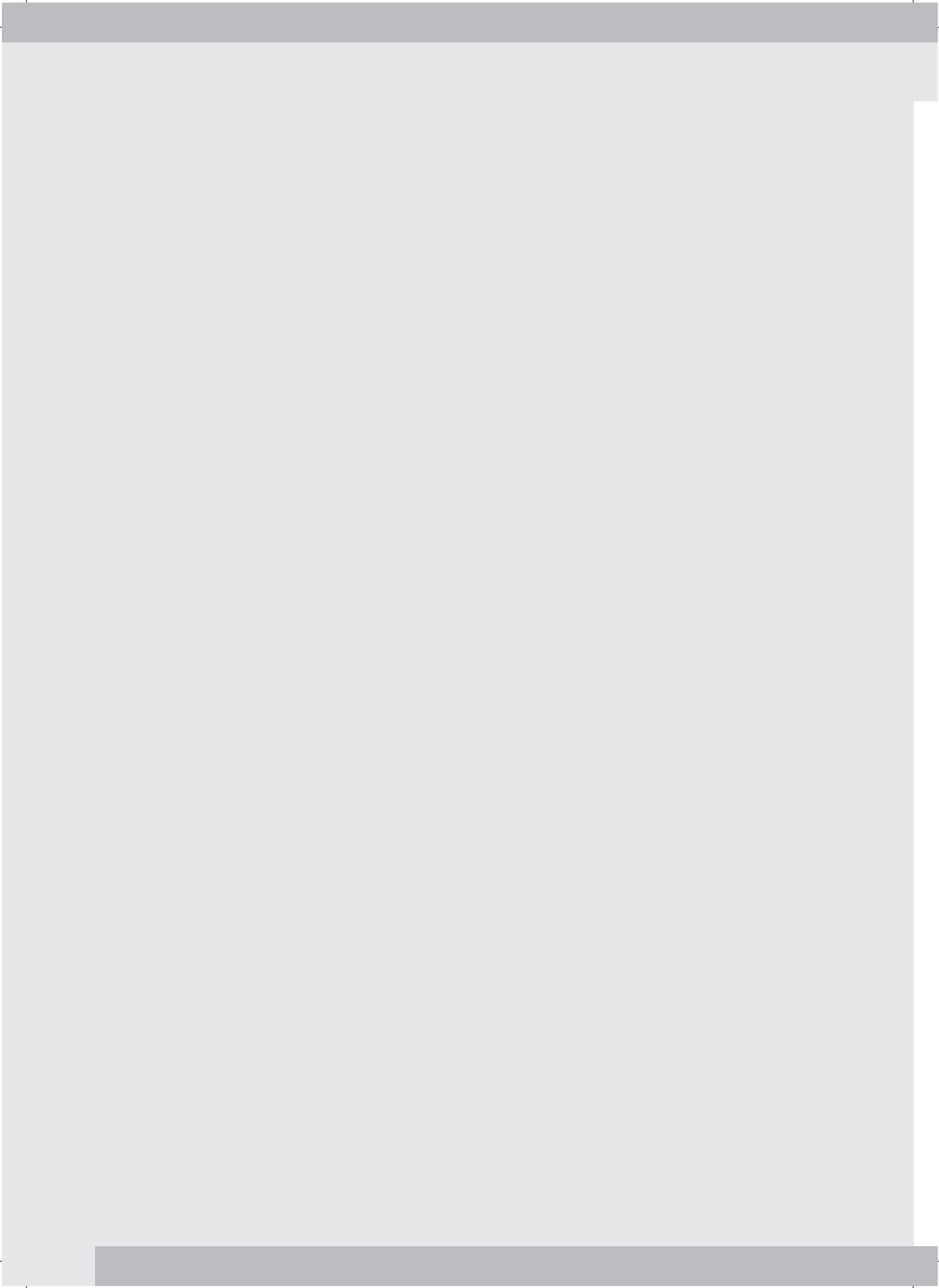
Lavra de rochas ornamentais

Francisco Wilson Hollanda Vidal, Eng. de Minas, DSc., CETEM/MCTI

José Roberto Pinheiro, Eng. de Minas, ALVORADA Mineração, Comércio e Exportação

Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc., CETEM/MCTI

Adriano Caranassios, Eng. de Minas, DSc., CETEM/MCTI †



1. Aspectos históricos da lavra de rochas ornamentais

O uso da pedra pelo homem remonta a tempos pré-históricos quando foi utilizada para a confecção de utensílios domésticos, de armas para caça e guerra e como objetos sacros. Muito tempo mais tarde, por volta de 10.000 a.C., registra-se seu uso como elemento construtivo nas edificações de cunho religioso e a partir de 8.000 a.C. nas de habitação e de defesa das cidades, que surgiam então como unidade política e social na história da humanidade.

Especialmente na região da Mesopotâmia e no Egito, as rochas perpetuaram as figuras dos faraós, deuses e outras personalidades importantes na forma de grandes esculturas. Uma rocha calcária de grã muito fina esculpida em ricos detalhes e pintada com cores vivas, e também rochas lustráveis, muito duras, como granito vermelho e quartzito preto ou rosa, que eram esculpidos e polidos.

Ainda na sua utilização para grandes esculturas, teve importância, para a história da aplicação da rocha como elemento ornamental, a percepção de algumas propriedades de cor e textura do mármore que permitiam esculpir figuras humanas com coloração parecida com a da pele. Coincidentemente, esta descoberta deu-se durante a predominância da cultura naturalista da Grécia antiga, e teve como resultado uma grande produção artística e arquitetônica durante o período Clássico da cultura grega.

Foram também os gregos que levaram o uso do mármore para o domínio público, fosse em escultura ou em arquitetura. Mas, por outro lado, deve-se aos romanos sua aplicação em construções privadas, como símbolo do status e riqueza de seu proprietário.

Na antiguidade, o uso das rochas ornamentais foi bastante restrito, principalmente por causa do sistema de propriedade das minas e das técnicas disponíveis. No antigo Egito, a mina ou jazida de onde eram retiradas as rochas ornamentais eram de propriedade dos faraós. Na Grécia Clássica eram propriedades das cidades-estados, enquanto pelas leis romanas e do Império Bizantino as jazidas eram propriedades do tesouro do imperador. Cada um desses proprietários de jazidas possuía também seus próprios técnicos especializados na extração e no beneficiamento primário da rocha. Tais serviços eram realizados por grandes contingentes de escravos, com o uso de técnicas e ferramentas muito rudimentares.

As metodologias e técnicas desenvolvidas na Grécia e no Egito foram difundidas e evoluíram junto com a expansão do Império Romano pela Europa, disseminando a tecnologia pelos seus domínios, como no caso dos calcários e mármore de Portugal que, embora já fossem utilizados desde o século 18 a.C., foram amplamente exportados para Roma e suas províncias. Inicialmente, Roma fazia uso do mármore tipo travertino que se encontrava próximo à cidade e, foi incrementando suas construções com os mármore encontrados nas colônias, como aconteceu no período da ocupação da Península Ibérica com os mármore da região norte do Alentejo, conhecida como Anticlinal de Estremoz, época de que datam suas primeiras utilizações fora das regiões originalmente produtoras. Posteriormente, os romanos deslocando sua mão de obra escrava, passaram a realizar a extração do mármore das montanhas apuanas, cujo centro é Carrara e onde são extraídos até hoje os mármore mais famosos do mundo. Muitos artistas das mais variadas épocas, dentre eles Michelangelo, iam às montanhas apuanas escolher no local o material adequado para as suas obras.

A regulamentação do uso do subsolo como propriedade de interesse público somente veio aparecer por volta do período Medieval, sendo realmente mais difundido já na Idade Moderna, mas o sistema de concessão do direito de lavra para a iniciativa privada já se fazia observar desde então. Isto

levou ao desenvolvimento, no último século da Idade Média, de uma tradição técnico-profissional na extração e no beneficiamento de rochas ornamentais que, de uma forma ou de outra, sobrevive até os dias de hoje. Ao mesmo tempo as construções de grandes catedrais, edifícios públicos e dos palácios da nobreza medieval nas mais importantes cidades italianas, deram grande impulso ao uso do mármore como material nobre tanto na arquitetura quanto na arte.

Todavia, foi no auge do Renascimento que novos e diferentes materiais, com colorido diversificado proporcionaram um verdadeiro rompimento entre o mundo antigo e o novo, no que diz respeito ao uso das rochas ornamentais. Entre os séculos XVI e XVII muitos governos receberam uma grande quantidade de requerimentos de concessão de lavra de mármore de colorações diferentes, até então desconhecidos, a maioria ocorrida em novas províncias minerais com potencialidade de produção duvidosa. Esses materiais começam então a aparecer em policromias embutidas na arquitetura da época, sobretudo na arquitetura barroca. Esse surto de preferência pelas rochas de coloração mais exótica começa a enfraquecer na segunda metade do século XVIII, quando o estilo arquitetônico neoclássico redescobre o uso do mármore branco.

Com o advento da arquitetura colonial como um ramo do estilo neoclássico, o uso do mármore branco se difunde intensamente na região mediterrânea e também na América do Norte, que declara há pouco sua independência, surgindo no cenário mundial como uma terra rica e promissora.

No século XIX o consumo de mármore aumentou significativamente, mas este incremento não se deu com um uso qualitativo do material. Em geral, o aumento no emprego do mármore foi observado pelo seu intenso uso como elemento estrutural em construções de moradia suburbana para a classe média que surgia.

Até o final do século XIX, início do século XX, quando se introduz a mecanização na extração e no beneficiamento do mármore, através do uso do fio helicoidal na extração e, em seguida, do tear, no desdobramento do bloco em chapas, o uso do mármore na arquitetura era mais intenso como elemento estrutural do que ornamental. Com o advento do aço e do concreto armado, juntamente com as novas técnicas de extração e beneficiamento, o mármore passa a ter maior aplicação em revestimentos, como elemento decorativo e de proteção das construções.

No século XX, graças às novas tecnologias, materiais mais duros começam ser utilizados também como revestimentos e é criado um mercado de “granitos” comerciais abrangendo grande variedade de materiais silicáticos de cores e texturas diferenciadas, como é o caso dos granitos brasileiros.

2. Introdução à lavra de rochas ornamentais

A lavra das rochas ornamentais consiste em uma atividade cujo objetivo é a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto da etapa de lavra ou extração é o bloco de arestas aproximadamente retangulares, de dimensões variadas que procuram obedecer ou aproximar-se tanto quanto possível daquelas que proporcionem o melhor aproveitamento do material e a maior utilização da capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento.

Como qualquer atividade mineral com razoável nível de desenvolvimento, a extração de rochas ornamentais também obedece a algumas fases para a sua execução.

As principais delas são a prospecção - para localização ou identificação da ocorrência mineral de rocha ornamental; a pesquisa mineral - para avaliação do potencial de aproveitamento da jazida e para levantar dados e informações que permitam fazer o melhor planejamento da

lavra; a lavra - que é a atividade produtiva da extração desenvolvida aplicando-se metodologias apropriadas às características do material e da formação geológica da jazida; e, por último, a recuperação da área degradada.

Grande parte das rochas ornamentais, em especial as rochas de revestimento, entendidas como a ABNT define, como rochas ornamentais submetidas a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, são obtidas de blocos de grande tamanho, com volumes de 8 a 12 m³, os quais são desdobrados em chapas que, após polimento ou tratamento superficial, são vendidas para se transformarem em ladrilhos ou placas de revestimento ou peças ornamentais, embora de utilidade, como pias, tampos de mesa, bancadas etc., como se mostra no capítulo 7 deste livro.

Existem outros tipos de lavra de rochas de revestimento, especificamente, para pedras foliadas como quartzitos, ardósias, e outras como gnaisses ou calcários facilmente separados em placas. Esses materiais são produzidos, normalmente, com tecnologias semimecanizadas como serras de piso para cortar bloquetes, de tamanho superficial padronizado (40 cm x 40, 50 cm x 50 cm,...) que serão posteriormente deslocados de forma manual. Esses casos não são tratados aqui em detalhes, pois este livro dá enfoque às rochas de revestimento produzidas a partir de blocos.

A extração dos blocos de rochas ornamentais pode ser realizada tanto por lavra à céu aberto como por lavra subterrânea. O primeiro tipo de lavra ocorre em maior frequência, sendo subdividido em dois grandes grupos: lavra de matacão e lavra de maciço. As figuras 1 e 2 mostram a lavra de matacão que é realizada extraindo blocos comercializáveis a partir de corpos arredondados de rochas que foram deslocadas do maciço, por erosão e irregulares tanto de tamanho quanto de distribuição espacial.



Figura 1 - Lavra de matações parada. Foto: Thiago Bolonini, 2010.



Figura 2 - Lavra de matação do Granito Preto São Marcos, na Paraíba. Foto: Granitos FUJI, 2009.

A lavra do maciço (Fig. 3) apresenta maior incidência e é realizada, como o próprio nome indica, diretamente no maciço rochoso, sendo este último definido como o conjunto formado pela matriz rochosa e por todas as descontinuidades nela contidas.

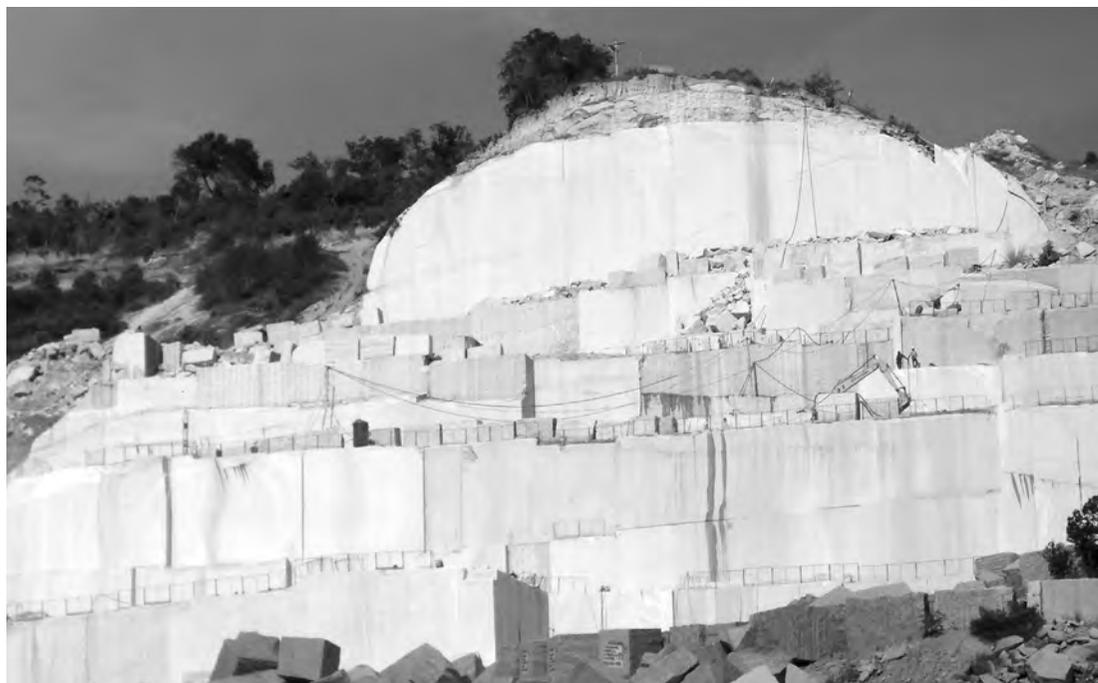


Figura 3 - Lavra de granito no maciço rochoso, no Espírito Santo. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

A lavra em maciço pode ser realizada em pedreiras a céu aberto, as mais frequentes, ou em pedreiras subterrâneas. As pedreiras a céu aberto, instaladas em maciços rochosos, são agrupadas em:

- Pedreiras em cava sobre terrenos planos (Fig. 4);
- pedreiras em encostas de terrenos inclinados (Fig. 5); e
- pedreiras de nivelamento (Fig. 6).



Figura 4 - Pedreira em Cava, em Portugal. Foto: CETEM/MCTI, 2008.



Figura 5 - Pedreira em encosta, no Espírito Santo. Foto: CETEM/MCTI, 2010.



Figura 6 - Pedreira de nivelamento, no Espírito Santo. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Há diferentes configurações de pedreiras distribuídas em vários países produtores, onde há ocorrência de diferentes tipos litológicos e que se veem afetadas por fatores geomorfológicos. No território italiano, por exemplo, muitas lavras são desenvolvidas em zonas de montanha caracterizadas por relevos pronunciados, dando muita visibilidade às frentes de lavra abertas no topo ou em meia encosta (Fig. 7). É o caso da zona de ocorrência do mármore de Carrara, na qual os relevos são preponderantemente alterados devido às operações de lavra, que conferem um aspecto inconfundível à paisagem. Nas zonas de planície o impacto sobre a paisagem é menos acentuado, mesmo porque as pedreiras tendem a se desenvolver em profundidade. Em contrapartida, aumentam os problemas de interação com os centros urbanos ocasionando problemas nas atividades econômicas como agricultura, expansão territorial urbana e industrial, turismo entre outros como os de caráter protetor, principalmente a água. Portanto, intervenções de recuperação ambiental ou de restituição das áreas para usos alternativos são facilitadas e normalmente traduzem vantagens para a coletividade como acumulação hídrica, descarga controlada de rejeitos, atividades industriais alternativas etc.



Figura 7 - Lavra desenvolvida em zona de montanha, na Itália. Foto: CETEM/MCTI, 2007.

Atualmente, os métodos de lavra a céu aberto e subterrâneo empregados nos mármore das regiões de Carrara (Itália) e Vila Viçosa (Portugal) bem como os critérios de escolha desses métodos associados à tecnologia de corte, demonstram que há diferentes soluções capazes de satisfazer às exigências técnicas produtivas nas mais variadas situações de lavra de uma jazida situada em uma topografia de relevos pronunciados. Na Itália e em Portugal há uma tendência atual, nas pedreiras de mármore, de passar progressivamente da lavra a céu aberto para subterrânea, cuja evolução natural é ditada por motivos econômicos e de reservas geológicas (Figs. 8 e 9).



Figura 8 - Lavra subterrânea em Carrara - Itália. Foto: CETEM/MCTI, 2008.



Figura 9 - Lavra subterrânea de calcário em Portugal. Foto: Luis Lopes, 2008.

No Brasil existe uma destacada diversidade de jazidas de granitos, mármore e afins (ardósias, quartzitos, basaltos e conglomerados), com grande disponibilidade de variedades litológicas distribuídas por boa parte do território nacional. Os principais estados produtores de rochas ornamentais estão situados na região sudeste e nordeste do país, nos estados de: Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará, e Paraíba.

As jazidas de mármore, granitos e rochas afins normalmente possuem reservas muito superiores àquelas das simples atividades produtivas e os volumes de interesse dependem essencialmente da geometria dos limites da reserva geológica ou das exigências técnicas colocadas pelo método de lavra e das tecnologias de corte.

De modo geral, a duração das atividades de lavra em uma determinada jazida é superior aos tempos de amortização dos equipamentos empregados, que são móveis (equipamentos de perfuração, de movimentação e transporte montados sobre pneus ou esteiras, equipamentos de corte etc.) ou semifixos (redes de distribuição de energia e ar comprimido, instalações de movimentação de cargas etc.) e, portanto, transferíveis de acordo com a evolução da lavra.

Por tais razões, a jazida é subdividida em projetos para porções delimitadas sob bases de condições geoestruturais ou sob bases de áreas de ações de eventuais sistemas de carregamento e movimentação semifixos constituindo-se em unidades produtivas da pedreira. O método de lavra indica as modalidades segundo cada volume que será lavrado.

Na maioria das jazidas de rochas ornamentais, os métodos de lavra são descendentes seja nas pedreiras a céu aberto, seja naquelas em subterrâneo. No caso da lavra a céu aberto os trabalhos preliminares destinados a preparação das pedreiras referem-se especialmente à retirada da cobertura de solo dos afloramentos desenvolvendo-se através da instalação de praças contendo uma ou mais bancadas. A espessura de capeamento dos depósitos de rochas ornamentais lavrados a céu aberto é relativamente pequena e na maioria dos casos é totalmente inexistente ou consistente em um pequeno capeamento de material areno-argiloso. Em tais situações, a retirada do capeamento pode, em alguns casos, revelar uma camada de material rochoso fraturado e alterado, que atinge espessuras superiores a alguns metros. Existem casos em que as espessuras das rochas alteradas assumem valores tão elevados que tornam a lavra a céu aberto economicamente inviável.

A melhor escolha do método de lavra a ser definido é função da morfologia dos afloramentos, dos volumes da reserva mineral, da análise do plano estrutural da jazida, de seu estado de fraturamento, da localização geográfica da área, e das características intrínsecas do material objeto da exploração.

3. Métodos de lavra

Os métodos de lavra podem ser considerados como sendo o conjunto de operações que definem a sequência espacial e os ciclos de trabalho, em função do tempo para o melhor aproveitamento de uma jazida em desenvolvimento, que é correlacionado com sua configuração geométrica, bem como com a sequência de avanço que se estabelece, visando os volumes a serem isolados e subdivididos.

A aplicação de uma metodologia de lavra para uma determinada jazida permite, em qualquer instante do seu desenvolvimento, a definição da geometria espacial da mina em toda a sua peculiaridade; a primeira operação é a identificação dos volumes, para em seguida determinar a sequência de extração. A definição das tecnologias, equipamentos ou materiais e energia, bem como as relativas modalidades de uso, representam uma informação adicional e não substitutiva no método.

Os principais métodos de lavra utilizados e que estão descritos neste capítulo são: lavra por desmoronamento, lavra seletiva, lavra de matacões, lavra de bancadas altas ou baixas, lavra de painéis verticais e lavra subterrânea.

A importância crescente que o setor de rochas ornamentais vem atingindo é confirmada pelo desenvolvimento tecnológico observado nas unidades produtivas, inclusive no segmento da extração, o que é, em parte, favorecido pelos aspectos de qualidade técnica e estética dos materiais.

O segmento extrativo encontra-se em um estágio de amadurecimento no Brasil, tendo incorporado a evolução tecnológica do setor e modificando e aperfeiçoando os métodos de lavra ao longo do tempo, de acordo com utilizações que se tornaram cada vez mais específicas e especializadas. De fato, hoje, a variedade de litologias do território brasileiro, tem permitido que os produtores brasileiros sejam, provavelmente, os melhores conhecedores da aplicação das diversas tecnologias de corte a materiais “duros” como são a maioria de rochas silicáticas.

Os métodos de lavra também evoluíram rápido, tanto pela necessidade de se aumentar a produção demandada pelo mercado internacional quanto pela evolução das tecnologias e, ainda, pela conscientização socioambiental. Até alguns anos atrás, por exemplo, era comum o método de desmoronamento para lavrar rochas ornamentais; método aparentemente econômico, porém altamente destrutivo. Com a evolução das tecnologias de corte, e, principalmente, devido a uma mais difusa sensibilidade no que se refere à proteção dos valores ambientais, aquele método registrou uma gradativa e decidida diminuição na sua aplicação. O processo de transformação da lavra por desmoronamento em métodos de corte, acelerou-se em virtude do progresso científico e industrial que resultou no desenvolvimento de tecnologias e de equipamentos.

3.1. Lavra por desabamento

O método de lavra por desmoronamento ou desabamento é aplicado para os casos em que a rocha se apresenta sob a forma de prismas delimitados por falhas ou planos de esfoliação, dispostos em afloramentos caracterizados por elevados gradientes topográficos. A estrutura cebolar existente no maciço rochoso, que consiste em fraturas subparalelas que acompanham a morfologia do maciço, permite que enormes volumes de rocha sejam removidos, por meio de desmontes realizados através do emprego de explosivo deflagrante, sendo a pólvora negra o explosivo carregado nos furos localizados na parte posterior desses volumes primários.

O desmoronamento ocorre ao longo dos planos de fraturas existentes, com auxílio da gravidade, a partir da deflagração da pólvora negra. Nos pontos de queda (pé da encosta), o volume desmontado é desdobrado em volumes secundários (filões), que serão tombados e esquadrejados em blocos (Fig. 10).

O método por desmoronamento de capas naturais é limitado a poucos casos, onde prevalecem as condições estruturais favoráveis. Embora sejam tomados todos os cuidados e precauções, é inevitável o desperdício de uma considerável quantidade de rocha, pelas características geológico-estruturais presentes no maciço e pelo desabamento propriamente dito, acarretando perdas econômicas pelo baixo índice de recuperação da lavra.

Há também o aumento do custo de transporte dos rejeitos gerados, para as pilhas de disposição controlada desses volumes descartados, para liberação dos espaços, evitando não comprometer a evolução dos trabalhos de lavra. De modo geral, as condições de segurança no método de lavra por desabamento são consideradas críticas.



Figura 10 - Lavra por desmoronamento. Foto: José Roberto Pinheiro, 2003.

Particularmente, o método por desabamento também é observado em maciços rochosos, que apresentam fraturas provocadas por alívio de tensão, que são geradas no decorrer da lavra. Essas fraturas, denominadas de “esfoliação granítica de tensão residual”, são responsáveis pela formação de capas, que são removidas por desabamento, deixando para trás repés, para serem lavrados em seguida.

Em um passado relativamente recente, o método por desmoronamento predominava na lavra daqueles maciços rochosos, que não apresentavam os fatores estruturais necessários, para a sua aplicação. Assim, pelo amadorismo predominante na época, as fraturas eram provocadas por explosivos detonantes, comprometendo a integridade físico-mecânica da rocha, contribuindo para a baixa recuperação da lavra, e, em alguns casos, inviabilizando a continuidade produtiva da mina (Fig. 11).

Com a intensificação do emprego de técnicas racionais de lavra e da utilização de tecnologias avançadas de corte, seguidas pela maior profissionalização do Setor de Rochas Ornamentais, além de uma crescente sensibilização para a proteção dos valores ambientais, a lavra por desabamento de capas originadas por fraturamento induzido ou artificial, registrou um constante e gradual desinteresse, sendo, nos dias de hoje, praticamente abolida sua aplicação.



Figura 11 - Lavra por desabamento de capas artificiais. Foto: Jose Roberto Pinheiro, 2003.

3.2. Lavra seletiva

O método de lavra seletiva aplica-se frequentemente nos casos onde o maciço a ser explorado possui, como característica, a presença de famílias distintas de fraturas com orientações principais preferencialmente ortogonais. Assim sendo, tais fraturas podem ser aproveitadas como planos naturais de separação de porções rochosas, e com auxílio de cortes complementares, obtêm-se volumes liberados e prontos para a realização das operações de recorte e esquadrejamento (ALENCAR *et al.*, 1996).

A diferença fundamental entre o método de lavra seletiva e o método por desmoronamento é que o último condiciona os trabalhos de confecção dos blocos no local em que se posicionam as porções rochosas após o desmonte principal, já o primeiro adota critérios de seleção que permitem a identificação de volumes de rochas suscetíveis a serem deslocados e transportados (Fig.12). No que se refere aos processos de organização dos trabalhos de exploração, o método de lavra seletiva permite a transferência imediata dos blocos primários, caracterizados por suas formas irregulares, até a área de praça destinada aos trabalhos de esquadrejamento, através de potentes pás carregadeiras sobre pneus, as quais são operadas de modo versátil e ágil em espaços operacionais muitas vezes limitados.

Normalmente a produtividade da metodologia da lavra seletiva é muito baixa e, portanto, torna-se necessário adotar velocidades elevadas para o desenvolvimento dos trabalhos mediante a utilização de equipamentos que permitam versatilidade, potência e alta produtividade, bem como também, para as etapas de transporte na pedreira. De modo geral, a configuração da pedreira apresenta-se com seus elementos constituintes bastante definidos (frentes de lavra, praças, rampas de acesso, áreas de manobras, zonas de deposição de rejeitos etc.). A geometria das frentes de lavra fica condicionada ao andamento das fraturas responsáveis pelas delimitações da superfície.



Figura 12 - Lavra seletiva.
Foto: CETEM/MCTI, 2013.

3.3. Lavra de matacões

A utilização do método de lavra por matacões ainda é utilizada em diversos países, principalmente naqueles em desenvolvimento localizados na faixa tropical, onde existem matacões de grandes dimensões, normalmente, pouco afetados por fenômenos de alteração (Fig. 13).

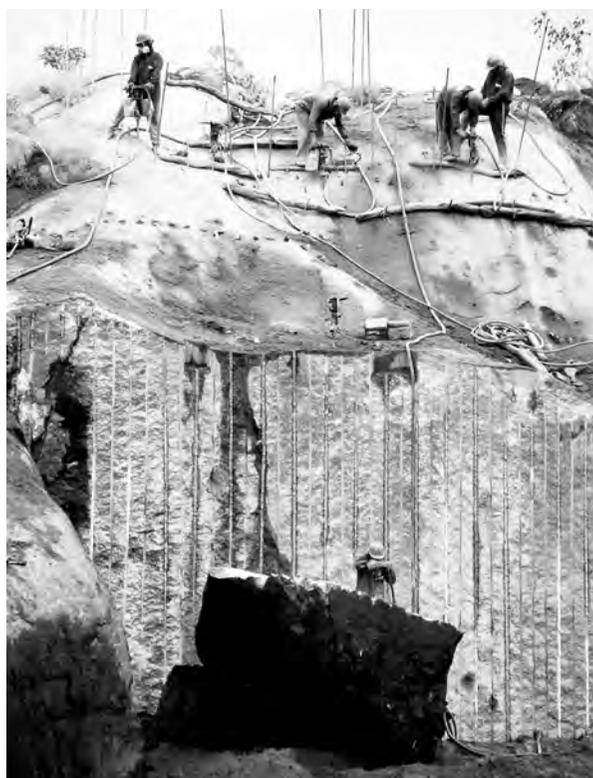


Figura 13 - Lavra de matacão de grande porte.
Foto: Granitos FUJI, 2009.

Os matacões são divididos em duas ou mais partes, que são tombadas para serem esquadrejadas em blocos. Dentre as técnicas utilizadas para o desdobramento dos matacões em fatias, o emprego da pólvora negra se destacava em um passado recente. A técnica consiste na realização de “fogo raiado”, para orientação dos gases oriundos da deflagração da pólvora, através da realização de duas aberturas no interior do(s) furo(s), com o objetivo de se obter o direcionamento do corte. Trata-se de uma técnica simples que pode ser utilizada empregando mão de obra pouco especializada (Fig. 14).



Figura 14 - Matacão dividido pela técnica do “fogo raiado”. Extraído de Marbrasa, 2011.

Todavia, tem-se observado o emprego de tecnologias inovadoras de corte, para o desdobramento de volumes rochosos de portes variados, apresentando uma satisfatória relação custo x benefício (Fig. 15).



Figura 15 - Lavra de matacões com fio diamantado. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Na maioria dos casos, grande parte dos matacões não são aflorantes, sendo identificados e expostos somente após grande remoção de solo. Isto dificulta a cubagem de reservas e previsão de produção da lavra, trazendo como consequência o planejamento com horizonte de curto prazo e frequente constrangimento na área comercial para a empresa.

A viabilidade econômica das operações da lavra de matacões depende principalmente da qualidade da rocha. Se por um lado os custos operacionais são relativamente reduzidos, por outro lado corre-se o risco de se obter recuperações insuficientes, quando comparada à extensão das zonas alteradas, dificilmente previstas com antecedência.

Os resultados mais visíveis do problema da lavra de matacões são trazidos pela baixa categorização comercial, fortes restrições quantitativas e qualitativas de suprimento, apresentando dificuldade de abertura de novos mercados para exportações, tanto de materiais em bruto, quanto de produtos acabados e semiacabados. As jazidas formadas por matacões têm vida útil bastante limitada, salvo algumas raras exceções, resultando ainda, em grande impacto paisagístico e danos consideráveis ao meio ambiente.

3.4. Lavra por bancadas

No método de lavra por bancadas, a mina é subdividida em níveis sucessivos de lavra, que evoluem lateralmente de forma sequenciada, com altura definida em função da geomorfologia da jazida e das características físico-mecânicas da rocha. O número de níveis em lavra é função das características geomorfológicas do maciço rochoso e das exigências produtivas.

A configuração espacial de uma mina por bancadas é melhor observada na fase de lavra avançada, quando a mina assume geometria regular, com altura das bancadas uniformes, a partir do seu progressivo rebaixamento. Este método é aplicado tanto em minas localizadas em encostas, como naquelas que evoluem em cava, localizadas abaixo do nível do terreno. As minas em encostas possibilitam que toda a movimentação da produção e do rejeito seja realizada de maneira descendente, reduzindo o custo operacional da lavra. A drenagem da mina também é facilitada pelo auxílio da gravidade (Fig. 16).

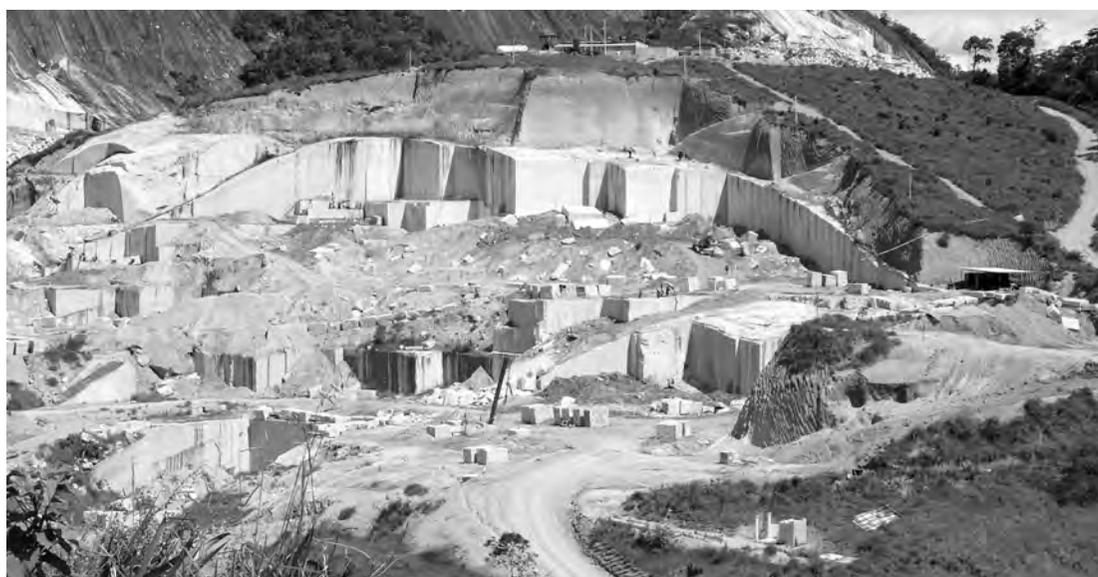


Figura 16 - Lavra por bancadas em encosta. Foto: Mineração Pancieri, 2011.

Já nas minas em cava, os níveis de lavra são acessados por meio de rampas previamente construídas, para o escoamento da produção, movimentação de rejeitos e circulação de máquinas e equipamentos. Todo o material desmontado é escoado para fora da mina de maneira ascendente, assim como a drenagem da mina é realizada por meio de bombeamento. Por questões de segurança, o acesso de pessoal se dá por meio de escadas metálicas, protegidas por corrimãos, afixadas nas paredes limitadoras da cava. As minas em cava com presença de rampas de acesso são denominadas de minas em fossa (Fig. 17).



Figura 17 - Pedreira em cava (fossa). Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Uma particularidade da lavra em cava são as minas delimitadas por paredes verticais, sem a presença de rampas para acesso direto aos níveis de lavra, o que torna indispensável o uso de meios de elevação fixos, para o içamento de blocos, rejeitos e movimentação de máquinas e equipamentos, para dentro e para fora da mina. O acesso de pessoal também é feito por meio de escadas metálicas, protegidas por corrimãos. Minas em cava com essas características recebem a denominação de minas em poço (Fig. 18).



Figura 18 - Pedreira em poço, lavrada por bancadas, em Portugal. Foto: CETEM/MCTI, 2008.

Bancadas altas

A evolução lateral de cada nível de lavra obedece a uma geometria em “L”, formando “corredores”, que são subdivididos em volumes primários de rocha de formato paralelepípedo, denominados de “quadrotes”, que são lavrados sequencialmente, de maneira que cada “quadrote” avance lateralmente em relação ao outro, caracterizando a geometria em “L” (Fig. 19).



Figura 19 - Lavra por bancadas altas com geometria em “L”. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

Na abertura de novas frentes ou níveis, o desenvolvimento da lavra é facilitado abrindo uma “gaveta” na frente para obter superfícies livres no maciço e espaço para operar o fio diamantado (Fig. 20).

Os “quadrotes” são desdobrados em volumes secundários, denominados de “filões”, que por sua vez, após a sua completa liberação do maciço rochoso, são tombados em um leito constituído por terra e fragmentos de rocha, com o objetivo de amortecer o impacto de queda. Após o seu tombamento, o “filão” passa a ser denominado de “prancha”, devido à posição horizontal que assume, passando a ser esquadrejada em blocos nas dimensões comercializáveis. A sequência deste método é ilustrada nas figuras 21 a 24.



Figura 20 - Abertura de gaveta para início de exploração do nível. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 21 - Quadrote isolado na bancada. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 22 - Tombamento de filão. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

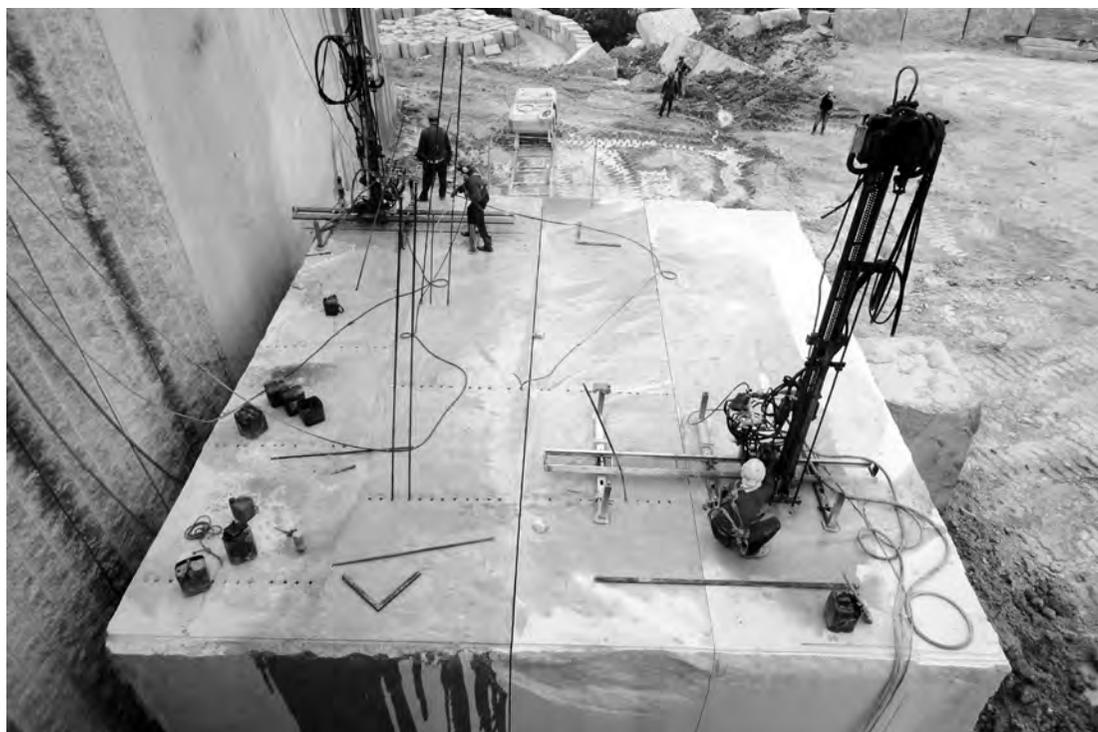


Figura 23 - Esquadramento de blocos da prancha. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 24 - Movimentação dos blocos cortados da prancha. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Este método permite a otimização da produção, devido à possibilidade dos níveis evoluírem lateralmente e simultaneamente, compensando eventuais deficiências qualitativas da rocha, de maneira a corrigir rapidamente as oscilações dos quantitativos demandados.

Por se tratar de um método seletivo, é altamente aplicável na lavra de maciços que apresentam grande heterogeneidade qualitativa, com significativa incidência de defeitos do ponto de vista comercial, permitindo a seleção de blocos com elevado padrão de qualidade.

Outro aspecto que deve ser analisado é a condução de pedreiras de granito com geometria em “U”, com início da frente de lavra geralmente nas cotas mais inferiores do maciço. Essa prática compromete o avanço da frente, que passa a ganhar altura muito rapidamente, dependendo da inclinação do maciço, limitando o progresso da pedreira.

Pratica-se, também, na configuração em “U”, o que se pode denominar de “lavra ambiciosa”, com a extração processando-se somente no material interessante, sem a preocupação de se desenvolver lateralmente a pedreira. Tal prática favorece o estrangulamento da pedreira, comprometendo sua vida útil.

Bancadas baixas

Classifica-se como uma particularização do método de lavra por bancadas, aquele cuja altura da bancada corresponde a uma das dimensões do bloco comercializável, geralmente aquela correspondente ao comprimento do bloco. O denominado método de lavra por bancadas baixas consiste na extração de blocos nas dimensões finais, diretamente do maciço rochoso, sem a necessidade de recorrer a processos de subdivisões sucessivas, adotando-se sistemas de trabalho mais simplificados, com redução das etapas do ciclo de produção (Fig. 25).



Figura 25 - Lavra por bancadas baixas do Mármore Bege Bahia, na Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2006.

Bancadas baixas são aplicáveis em maciços homogêneos com pouca presença de defeitos do ponto de vista comercial, possibilitando uma lavra com elevados níveis produtivos. Em contrapartida, quando aplicado em maciços heterogêneos, que apresentam incidência de defeitos do ponto de vista comercial, esse método se mostra pouco seletivo, aumentando sensivelmente a produção de blocos de qualidade inferior, que são descartados na forma de rejeito.

O método de lavra por bancadas baixas se aplica perfeitamente nos casos onde a jazida possui conformação tabular e possui grande incidência de planos de descontinuidades sub-horizontais, pouco espaçados, caracterizando uma estrutura cebolar, delimitando naturalmente a altura das bancadas, que passa a ser variável em função da esfoliação esferoidal presente, tornando imperativo o seu emprego.

Tais fraturas são aproveitadas como planos naturais de separação de porções rochosas, das quais através de cortes complementares, são liberados volumes prontos para a realização das operações de recorte e esquadrejamento (Fig. 26).

De modo geral, a configuração da mina apresenta-se com seus elementos constituintes bastante definidos (frentes de lavra, praça para movimentação e carregamento de blocos, rampas de acesso, pilhas para disposição de rejeitos etc.). A geometria de evolução da mina fica condicionada ao comportamento das fraturas responsáveis pelas delimitações das superfícies lavradas.

O fato de a recuperação da lavra ser normalmente muito baixa, torna-se necessária a adoção de velocidades elevadas de extração, para a obtenção de resultados produtivos satisfatórios, mediante a utilização de equipamentos que permitam versatilidade, potência e alta produtividade, necessários também para a movimentação desses materiais na mina.

Do ponto de vista ambiental, este método oferece menor impacto visual sobre o meio ambiente, devido a uma menor superfície exposta, além de facilitar a recuperação da área minerada. Todavia, a baixa recuperação da lavra sugere a disponibilidade de vastas áreas para disposição do rejeito gerado.

Bancadas baixas apresentam vantagens do ponto de vista de segurança do trabalho, pois reduz a exposição ao risco de quedas, além de permitir um maior controle da estabilidade das bancadas.



Figura 26 - Lavra por bancadas baixas cujas alturas são definidas naturalmente pela esfoliação esferoidal presente no maciço rochoso. Foto: José Roberto Pinheiro, 2003.

Painéis verticais

Trata-se de uma particularidade do método de lavra por bancadas, aplicado em maciços com elevado gradiente topográfico e na fase inicial de abertura da mina. O avanço da lavra ocorre de maneira ascendente, em um único “nível”, através do desmonte individual de painéis verticais com altura variável e cuja espessura corresponde, normalmente, ao comprimento do bloco comercializável. A extensão da área dos painéis é relativamente grande e permite uma boa seletividade. (Fig. 27).

O método consiste, basicamente, no isolamento do painel, seu tombamento e esquadreamento em blocos. A partir da movimentação dos blocos e do rejeito gerado de cada painel esquadrejado, é construído um novo aterro com altura igual àquela definida pela diferença de cota topográfica entre as partes anterior e posterior do painel lavrado. Assim, à medida que cada painel vertical é desmontado, um degrau de rocha é formado na base do painel seguinte a ser lavrado, a partir do aterro realizado, que tem a vantagem de utilizar o próprio rejeito da lavra para sua formação (Fig. 28).

O tombamento dos painéis verticais se dá através de uma técnica específica, denominada “boca de lobo”, que consiste na obtenção de uma cunha localizada na base do painel, que é detonada, descalçando e desmontando o painel (Fig. 29).

Com um estágio avançado de evolução da lavra e com a mina localizada em uma cota topográfica superior do maciço rochoso são obtidos vários degraus de rocha, de baixo para cima. Nesse momento, ocorre uma inversão do sentido de lavra, que passa a ser descendente. Assim, com a gradual remoção dos níveis de aterro, para exposição dos vários degraus de rocha obtidos, os novos níveis de lavra passam a ser definidos, obedecendo a uma altura correspondente a um número múltiplo das aturas dos degraus, de maneira que, para o rebaixamento de cada novo nível, basta remover uma camada de aterro correspondente à altura que se deseje para este nível (Fig. 30).



Figura 27 - Lavra por painéis verticais. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 28 - Método de pranchas verticais. Notar a retroescavadeira preparando o colchão de resíduos para o tombamento. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 29 - Corte inclinado para descalçar o filão (boca de lobo). Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 30 - Pedreira com avanço ascendente pelo método de pranchas verticais (esquerda da imagem) e descendente por bancadas altas (direita da imagem). Foto: CETEM/MCTI, 2013.

Em algumas pedreiras tem sido observada a aplicação de um método misto, adaptado deste de pranchas verticais. Em vez de pranchas (de largura igual a uma das dimensões do bloco a ser produzido), são cortados quadrotos altos (de até mais de 50 metros de altura) e tombados. A partir daí, do quadrote tombado, inicia-se o ciclo normal de bancadas altas: corte em filões, tombamento dos filões e subdivisão em blocos das pranchas (Fig. 31). É um método de alta produtividade, pois se trabalha com grandes volumes (chegando a superar os 10.000 m³) na mesma operação, mas de baixa recuperação, já que devido a seu tamanho, os quadrotos altos quebram ao serem tombados (Fig. 32).



Figura 31 - Subdivisão em filões de um quadrote alto tombado. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 32 - Quadrotos altos tombados para divisão em pranchas. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

3.5. Lavra subterrânea

O progresso e desenvolvimento tecnológico na mineração procuram aproveitar ao máximo a disponibilidade de reservas de uma boa jazida. Sob este ponto de vista, torna-se interessante a tendência da passagem progressiva das lavras conduzidas a céu aberto, para as subterrâneas, cuja evolução natural é proporcionada por razões econômicas e pelas características geológicas da reserva mineral. Existem alguns casos em que a lavra subterrânea é adotada para alguns tipos de materiais que, mediante a utilização das novas tecnologias, podem sustentar o confronto econômico com os métodos conduzidos a céu aberto; ou aquelas que por motivos de valorização do material, não são lavradas a céu aberto.

A atividade de abertura de lavra em subsolo é realizada mediante a criação de espaços subterrâneos, denominados salões, sustentados por pilares, geralmente constituídos por material de qualidade inferior, uma vez que estes não serão explorados (Fig. 33). A relação entre as áreas dos salões e pilares em alguns casos é elevada, em dependência da resistência geomecânica do maciço e da profundidade da frente de lavra. Com a abertura em cotas cada vez mais profundas, devido à lavra de praças inferiores, incrementam-se os esforços de tensão sobre os pilares além da probabilidade do aparecimento de novas fraturas conseqüentes dos esforços provocados pelo carregamento e da sua interação com a abertura de vazios (CARANASSIOS, 1993).

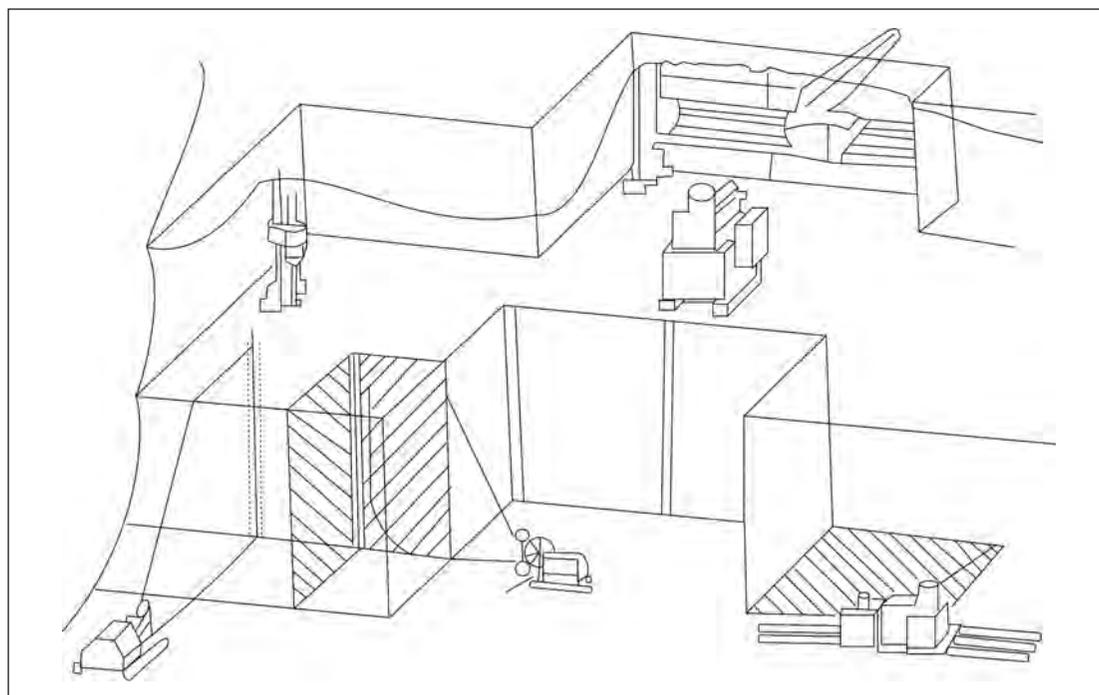


Figura 33 - Ilustração esquemática de um lavra subterrânea em dois níveis. Extraído de Jimeno, 1996.

Os pioneiros na extração subterrânea de mármore foram os egípcios, os gregos e os romanos.

As massas rochosas calcárias do Egito estão dispostas em extratos horizontais dos quais os egípcios selecionavam e extraíam os materiais mais resistentes às intempéries, com boa qualidade, para o qual precisaram escavar poços e galerias.

Na Grécia antiga, o mármore estatuário da ilha de Paros era extraído em subterrâneo e, durante a época romana, outra pedreira subterrânea ganhou fama, a Aurisina, pedreira de calcário na região do Carso, perto de Trieste, que hoje é extraído a céu aberto (PINZARI, 1989). O mármore Pentelikon que foi empregado para a construção do Partenon e de várias outras obras famosas da Grécia foi o primeiro mármore a ser extraído de uma pedreira subterrânea. Hoje, na mesma zona das pedreiras antigas, a uma altitude de 700 metros, há uma pedreira em boas condições, explorada pela empresa Dionyssomarble (TOMARAS, 2005). Os gregos levaram seu conhecimento para Nápoles, onde começaram a extrair tufo vulcânico do subsolo, para construir templos, termas e residências. Os romanos aprenderam e aprimoraram as técnicas de extração e utilização das rochas dos gregos e dos egípcios, o que é comprovado pelos muitos trabalhos de arquitetura criados com vários materiais rochosos. Alguns centros produtores de mármore, ainda explorados hoje, têm sido lavrados por mais de 2.000 anos. O mármore Lunese, por exemplo, foi extraído extensivamente durante o Império Romano, sob os imperadores Augustus e Marcus Aurelius, e traços dessa atividade ainda são visíveis em algumas partes da bacia de mármore de Carrara (Colonnata, Miseglia e Torano). A cidade de Luni ganhou riqueza e prestígio com as pedreiras de mármore antes da dominação bárbara; e refloresceu através dos tempos medievais, até a Renascença. Na região de Carrara, ao que tudo indica, os romanos lavravam as partes inferiores da formação marmífera, em minas subterrâneas com técnicas de céu aberto (FORNARO; BOSTICCO, 1994).

Os franceses também souberam aproveitar muito bem os tesouros do subterrâneo de algumas partes da França. Na época da construção de Paris, as pedreiras a céu aberto tiveram que ceder espaço para as plantações, necessárias para alimentar a crescente população. Foi então que teve início a extração dos calcários em pedreiras subterrâneas, das quais também era extraída gipsita.

Atualmente a lavra subterrânea de rochas ornamentais vem sendo praticada em vários países como Itália, Espanha, Portugal, Croácia, Grécia, França, Eslovênia, Turquia e os Estados Unidos.

A Itália é o país que tem o maior número de lavras subterrâneas que utilizam vários equipamentos e técnicas para a extração, dependendo da configuração do depósito. São cerca de 45 pedreiras subterrâneas na região de Carrara de mármore cristalinos, como as das figuras 34 e 35 e, em outras regiões da Itália nos seguintes materiais, de acordo com as informações do Dr. Piero Primavori: Mármore “Condoggia” (rocha metamórfica – mármore cristalino); “Ceppo di Gre” (rocha sedimentar – conglomerado quaternário); Mármore “Lasa” (rocha metamórfica – mármore cristalino); “Pietra di Finalle” (rocha sedimentar – calcário bioruditico); “Pietra di Vicenza” (rocha sedimentar – calcário bioclástico); Mármore “Nero Portoro” (duas pedreiras, rocha sedimentar – calcário euxinico); “Pietra di Comiso” (rocha sedimentar – calcário biomicrítico); ardósias (duas pedreiras, rocha metamórfica); “Verde Patrizia” e “Verde San Nicolaus” (rochas metamórficas – complexo ofiolítico e serpentinitos relacionados).

Ainda de acordo às informações do Dr. Primavori, na Espanha há algumas pedreiras subterrâneas de ardósia na área de Odollo-Llamas, na região do Bierzo, Província de León (Fig. 36), de mármore “Beig Serpiente”, na província de Murcia (Fig. 37), do calcário “Rojo Ereño” do País Basco, semelhante ao Lioz português e o calcário arrecifal “Gris Deva” (País Basco).

Na França são cerca de 10 pedreiras subterrâneas, todas em rocha sedimentar (calcários e arenitos macios) e na Croácia há uma pedreira subterrânea (Fig. 38), na região de Kanfanar. Trata-se de uma rocha sedimentar, um calcário fossilífero conhecido como Amarelo Istria.



Figura 34 - Pedreira Bettogli, localizada na região dos Alpes Apuanos (Itália), da qual são extraídos os mármore cristalinos Estatuário e Calacatta. Foto: Piero Primavori.



Figura 35 - Pedreira subterrânea do Monte Corchia (Alpes Apuanos, Itália) da qual se extrai o mármore cristalino Arabescato. Foto: Piero Primavori.



Figura 36 - Lavra subterrânea de ardósia no Bierzo (León, Espanha). Foto: Daniel P.Tavares, 2013.



Figura 37 - Pedreira subterrânea do mármore Beig Serpiente, na Espanha. Foto: Piero Primavori.



Figura 38 - Pedreira do calcário Amarelo Istria, Kanfanar, Croácia. Foto: Piero Primavori.



Figura 39 - A maior pedreira subterrânea do mundo, do mármore de Danby, USA. Extraída de UCLI, 2013.

Nos Estados Unidos também há duas extrações de mármore, uma localizada na cidade de Barbeton (Ohio), atualmente paralisada, e uma localizada em Vermont, onde se produz o mármore Danby. A pedreira de Vermont existe há mais de 200 anos e é a maior pedreira subterrânea de mármore do mundo (Fig. 39). Possui seis níveis de extração e a planta de beneficiamento foi instalada dentro da mina. São cinco tipos comerciais de mármore que revestem fachadas famosas nos Estados Unidos e ao redor do mundo.

No Brasil, atualmente, não há nenhuma pedreira subterrânea em operação. Alguns anos atrás, chegou a ser iniciada a abertura de uma galeria do material conhecido comercialmente como mármore Azul Imperial (Fig. 40), da empresa Rossittis na Serra da Vereda, município de Oliveira dos Brejinhos, Bahia. Geologicamente, trata-se de um dumortierita quartzito, de coloração azul, muito valorizada no mercado.



Figura 40 - Vista geral da pedreira subterrânea na Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

De acordo com a Rossittis, empresa que detém o direito minerário para a exploração desse material, a lavra subterrânea, que iniciou em 1999, está paralisada há dois anos por ter apresentado problemas de estabilidade do maciço. A extração era feita através de perfuração e corte com fio diamantado. Segundo dados da empresa, na época, com a exploração subterrânea a taxa de recuperação que era de 8-10% subiu para 36%, justificando os custos maiores da tecnologia. Por outro lado, no caso dessa área, a lavra subterrânea se justificava também pelo alto valor agregado do material, incluindo o aumento da recuperação. O material já chegou a ser comercializado a US\$ 5.500,00/m³, mas posteriormente à crise de 2008 o preço diminuiu para US\$ 3.500,00/m³. Na mesma região há produção de um material semelhante a este, conhecido como Azul Macaúbas, mas não em lavra subterrânea (Fig. 41).



Figura 41 - Lavra de Azul Macaúbas, na Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

O método de lavra subterrânea vem sendo utilizado predominantemente nas rochas carbonáticas, particularmente nos mármore, que são rochas mais tenras, e conseqüentemente apresentam uma maior facilidade de corte com as novas tecnologias. Torna-se de extrema importância a realização de um cuidadoso projeto de lavra associado a um vigilante e rigoroso controle dos vazios criados pela atividade de extração. De modo particular, salienta-se a necessidade da equação de controles sistemáticos da temperatura e das instalações, além de instrumentos capazes de realizar medições de deslocamentos diferenciais, mediante o uso de sinais luminosos ou acústicos, instrumentos adotados e consagrados em outros campos, que envolve o estudo da mecânica das rochas. Não se deve esquecer de realizar controles sobre o estado dos pilares de sustentação, por meio de medições extensiométricas ou geofísicas.

Do ponto de vista ambiental, o impacto sobre a paisagem é mínimo, em contrapartida cresce exponencialmente a importância dos problemas de controle de estabilidade a curto e longo prazo, principalmente nos vazios de grande volume (da ordem de milhares de metros cúbicos). Estes ficam sobrecarregados de pacotes rochosos com distribuição heterogênea que com o passar do tempo, devido ao desenvolvimento dos trabalhos de abertura dos salões, determinarão deslocamentos solicitados pelo maciço, sendo muito difícil de prever mesmo adotando-se medidas de controle instrumental.

Os principais fatores que podem estar na decisão de avanço para uma exploração em subterrâneo são:

- Existência de material excelente qualidade sob elevadas coberturas de solos e de material de fraca aptidão ornamental.
- Áreas licenciadas de reduzidas dimensões que inviabilizam o alargamento da pedreira e a remoção das camadas superficiais estéreis.
- Forte pressão ambiental.

Para a abertura de uma exploração subterrânea devem ser realizados estudos preliminares aprofundados que permitam caracterizar o maciço rochoso em questão e definir o “modelo geomecânico” do mesmo, no sentido de poderem ser realizados, com êxito, os trabalhos de desmonte e estabilização. Os estudos a serem executados são:

- Estudo geológico;
- características estruturais da jazida;
- características geomecânicas do maciço;
- estado de tensão *in situ*;
- dimensões possíveis para as cavidades;
- recuperação da jazida; e
- rendimento.

Posteriormente a esses estudos, é selecionado o método de desmonte. Na seleção do método de desmonte, devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- Características geológicas do local;
- morfologia;
- espessura e inclinação das camadas;
- continuidade da jazida;
- profundidade da jazida; e
- fatores econômicos.

O sistema de lavra mais utilizado em pedreiras subterrâneas é o método de câmaras e pilares. Neste método de desmonte, a massa útil é retirada das câmaras, deixando-se um conjunto de pilares para suporte do teto de escavação. Este método caracteriza-se pela existência de galerias retas e paralelas; no entanto, podem existir variantes do método, como é o caso de muitas explorações subterrâneas italianas. Outros métodos comuns de exploração subterrânea são o Método de Frentes Corridas e o Método de Corte Enchimento.

4. Tecnologias de lavra

Nos primórdios, os blocos de mármore eram extraídos mediante a introdução de cunhas de madeiras nas fissuras naturais do corpo rochoso (Fig. 42). Essas cunhas eram umedecidas com água que, dilatando-se, dividiam a pedra. A antiga técnica usada pelos romanos, conhecida como “corte romano”, era utilizada tanto a céu aberto quanto em subterrâneo e continuou praticamente imutável através dos séculos, até que os explosivos foram introduzidos. De fato, uma reconstrução dos métodos de extração usados (CAPUZZI, 1984) mostra que até os tempos modernos, antes que qualquer atividade extrativa começasse, os trabalhadores da pedreira tinham que estudar cuidadosamente como as fraturas (“linhas capilares”) corriam na massa rochosa, de modo que a exploração da divisibilidade natural da rocha pudesse ser feita.



Figura 42 - Método de corte romano, com cunhas de madeira. Foto: Cid Chiodi, 2003.

Para os Romanos, de acordo com Fornaro e Bosticco (1994), o corte do canal era chamado “*cesurae*” e era feito com martelos e cinzéis metálicos ao longo das falhas das rochas até que blocos fossem criados através de cortes profundos em forma de “V”. Os blocos eram então removidos com a ajuda de vigas de madeira ou alavancas de ferro, e eventualmente com cunhas de madeira. Todo o trabalho era manual e provavelmente envolvia uma grande equipe de operários: cinzeiros, esquadrejadores, ferreiros, carregadores, madeireiros. As ferramentas usadas eram cunhas, cinzéis, martelos, marretas, pás, enxadas. As marretas (pesando de 5 a 6 kg) e as cunhas eram usadas para abrir fraturas naturais ou quebras feitas deliberadamente na rocha; os martelos (2,5 a 3,5 kg) e os cinzéis eram usados para fazer cortes ou entalhes isolando os blocos a serem extraídos em tamanhos predeterminados. Outras técnicas usadas no passado incluíam a colocação de pedaços de madeira, posteriormente encharcados de água nas fendas, que aumentava a abertura graças à expansão causada pelo congelamento da madeira molhada.

Certas pedreiras subterrâneas desenvolveram técnicas especiais, assim como aquelas usadas para ardósia onde túneis estavam ativos desde o Século XIII (DEL SOLDATO, 1985). Os métodos de mineração foram baseados na abertura das galerias, por causa da natureza geológica dos depósitos, e porque a terra disponível para pedreiras a céu aberto já havia sido explorada. O acesso à pedreira era através de passagens subterrâneas rasas, levando a um leito de ardósia; a pedra era então extraída pelo método “*skyward*” (de baixo para cima), isto é, em fatias horizontais ascendentes (FORNARO; BOSTICCO, *op. cit.*).

O corte era feito com a ajuda de um triângulo de madeira, usado para traçar o sulco perimetral do bloco com precisão; o bloco era, então, delimitado com uma picareta apontada e um martelo usados repetidamente até que a espessura de chapa desejada fosse alcançada (Fig. 43). O bloco

em formato de chapa era, então, removido golpeando-se o lado inferior livre, que correspondia à superfície de fissura, e deixando-o descer em uma cama de detritos. As chapas grandes eram então terminadas e acertadas para o tamanho requerido dentro da galeria, e carregadas para fora à mão.



Figura 43 - Extração de blocos em pedreira subterrânea romana. Modificado de Adam, 2012.

Na metade do Século XIX, o método “*earthward*” (de cima para baixo) foi introduzido, com a extração feita em fatias horizontais descendentes, eventualmente envolvido no que hoje é definido como “extração em mina” (FORNARO; BOSTICCO, 1994). A ardósia era removida por inserção de cunhas e alavancas, um método mais seguro para aqueles trabalhos, mas arriscado em termos da inundação da pedreira que poderia ser causada por infiltração de água; a inundação levava ao abandono de muitas pedreiras, até que bombas elétricas tornaram-se disponíveis (BARZAN, 1993).

Na região de Portoro, as pedreiras eram anteriormente escavadas à mão (DEL SOLDATO, 1985). Inicialmente, um túnel baixo era cavado para descobrir o depósito, usando uma picareta e martelo; mais tarde duas covas laterais eram cavadas, tão longe quanto a largura do bloco a ser retirado. Deste modo, uma vez que os espaços laterais foram criados, dois homens executavam os cortes ao lado, fazendo os cortes posterior e inferior com uma serra de ferro temperado grande e sem dentes, cuja ação de corte era ajudada pela água e areia silicosa. Os cortes eram aprofundados usando uma serra helicoidal (anteriormente trabalhados à mão). O bloco era removido pela inserção de cunhas de madeira, que eram então encharcadas, ou as de ferro que eram então golpeadas (FORNARO; BOSTICCO, *op.cit.*).

No passado, a “Pietra de Finalle” (ZUCCHETTI *et al.*, 1974) era extraída com o método então chamado “vara”, que gastava grandes quantidades de mão de obra na utilização manual dos martelos e cinzéis de aço (com mais de 120 cm de comprimento) usados para fazer cortes nos quatro lados do bloco. Os cortes eram então limpos dos detritos com pequenos machadinhos em forma de colher, e o bloco era finalmente liberado golpeando-o com martelos e dirigindo com cunhas de aço que quebravam ao longo de linhas guias.

A Pietra de Vincenza, material macio, sempre foi extraído manualmente e somente nas décadas recentes recebeu um empurrão tecnológico. Na década de 1930 (FILIPPI, 1980), era extraída à mão em túneis usando um martelo de dois dentes, pesando cerca de 1 quilo e tendo 20 cm de comprimento. O trabalho era pesado e feito sobre uma frente de aproximadamente 6 metros; os blocos eram retirados do teto do túnel por escavação de dois sulcos, de 12 a 14 cm de largura, e

isolando o bloco, da massa delineada, com cunhas batidas com um martelo. Os túneis às vezes se estendiam por dezenas de metros montanha adentro e eram iluminados por lâmpadas a óleo. Os blocos eram extraídos medindo aproximadamente 300 x 120 x 100 cm, e eram esquadrejados com maestria fora do túnel, usando o martelo de dois dentes; trabalhando aos pares, os trabalhadores estavam aptos a transformar dois blocos por mês.

Nas pedreiras de Carrara, as primeiras aberturas de galerias começaram como uma progressão natural de estágios de extração, iniciando de um “sótão”. Um sótão é uma cavidade aberta próxima ao topo da montanha, delimitando assim seu topo por um corte horizontal e lateralmente por dois cortes verticais. Este tipo de extração de rocha é o primeiro degrau em direção à pedreira subterrânea. Até não muito tempo atrás, a extração de pedra do sótão era baseada na técnica usando andaime e cortadeiras com fios helicoidais (CAPUZZI *et al.*, 1975).

Com a tecnologia da serra helicoidal, extrair mármore em galerias levava a diferentes direções, dependendo das condições particulares de cada pedreira. No caso citado, a retirada do material criava uma cavidade suficientemente alta para dar a um trabalhador um acesso fácil e uma sala para trabalhar. O banco circundante era trabalhado fazendo-se cortes verticais com o fio helicoidal.

Do final dos anos 20 até o começo dos anos 30, do século XX, a serra helicoidal era usada em Lasa (Val Venosta), e a extração de mármore nas galerias era feita exclusivamente com o método do ar comprimido (CONSIGLIO, 1964).

Os blocos eram extraídos na direção do canal em tamanhos comerciais, e então enviados para a praça para ser esquadrejados. Os cortes verticais eram feitos com um martelo de perfuração montado sobre dois trilhos dirigidos verticalmente ao longo da pedreira, e equipados com cremalheiras, para assim fazer uma série de furos paralelos. O restante entre os furos era depois eliminado por martelos pneumáticos. O bloco era isolado trabalhando sobre os quatro lados com cortes verticais e com um corte horizontal que era feito por cunhas inseridas nas embocaduras de um grupo de furos previamente cortados para a quebra em profundidade. Entretanto, este método provou ser rígido na prática, em termos da direção de avanço e profundidade do corte; ele se adaptava mal às características do depósito o que levava a produção de baixa qualidade com custos maiores. Mais tarde, a técnica da mistura “ar comprimido-fio diamantado” veio a ser usada, promovendo maior flexibilidade nas operações das pedreiras (FORNARO; BOSTICCO, 1994).

Na evolução das tecnologias através dos tempos, destacam-se as técnicas de extração de blocos iniciadas com a trincheira romana, que consistia em cunhas de madeira umedecidas e dispostas nos planos de fratura do maciço rochoso, e que seguiu para o uso de explosivos no século XVI. Ao final do século XIX e início do século XX, a Itália passou a usar o fio helicoidal como tecnologia de lavra, para o corte dos blocos de mármore e travertinos. A partir da década de 1970 foi introduzida nas minas de mármore da região de Carrara a tecnologia do cortador a corrente e subsequentemente a do fio diamantado. No espaço de dez anos registrou-se uma rápida evolução do fio diamantado, sendo introduzido nas minas de granito da Sardenha (Itália) no final da década de 1980. No Brasil, em 1984, teve início o emprego das ferramentas diamantadas para o corte de mármore, passando também a ser utilizadas para o corte de granito no início dos anos 1990.

Atualmente, o desenvolvimento e a inovação tecnológica oferecem diversas opções para as operações que integram o ciclo de produção de uma mina, permitindo, desta maneira, definir no planejamento de exploração a melhor escolha das tecnologias mais adequadas do ponto de vista técnico e econômico.

A escolha das tecnologias de corte é função das características da jazida, no que se refere a suas reservas, parâmetros geoestruturais, características minero-petrográficas e estruturais da rocha,

da infraestrutura local existente e das disponibilidades financeiras do empregador. Alguns desses fatores representam a evolução e o aperfeiçoamento das tecnologias tradicionais (exemplo: tecnologia de perfuração) e avançadas (exemplo: tecnologia do fio diamantado), consagradas e de largo emprego. Outras são de caráter inovador e merecem considerações particulares, principalmente o corte com jato d'água (*water-jet*).

As tecnologias de corte denominadas como tradicionais e avançadas podem ser divididas em dois grupos principais: tecnologias cíclicas e tecnologias de corte contínuo.

As tecnologias cíclicas são aquelas em que os cortes necessários para o isolamento de volumes de rocha são realizados mediante a sucessão de diversas operações, que vão constituir as fases do ciclo de produção. Em função das características de cada método de lavra, esses cortes são realizados para liberação de volumes primários, secundários e para o esquadrejamento de blocos.

As tecnologias cíclicas se baseiam, preponderantemente, na perfuração e são caracterizadas por apresentar grande versatilidade e poder de adaptação para situações adversas da atividade extrativa. De modo prático, existe uma compatibilidade dessas tecnologias para os diferentes métodos de lavra, podendo, em determinados casos, se consorciar mais de uma tecnologia.

As tecnologias cíclicas são:

- Divisão mecânica com cunhas;
- corte com perfuração e explosivo;
- corte com perfuração contínua; e
- divisão mediante argamassa expansiva.

As tecnologias de corte contínuo constituem-se basicamente naquelas cujas operações são efetuadas sem o uso predominante de perfuração. Este tipo de tecnologia encontrou sua consolidação nas operações em rochas de origem carbonática (mármore), destacando-se o fio helicoidal e os cortadores à corrente. Outro tipo de tecnologia de corte contínuo é o *flame-jet*, desenvolvido para ser empregado nas minas de granito, tanto para abertura de canais, nos quais a falta de superfícies livres inviabilizava o uso de explosivos, como para o isolamento de volumes primários de rocha.

Com o advento do fio diamantado, para o corte de rochas ornamentais, as tecnologias do *flame-jet* (granitos) e do fio helicoidal (mármore) foram quase que integralmente substituídas por esta nova tecnologia. O ruído excessivo do *flame-jet*, a geração de poeira tóxica, a baixa velocidade de corte e a presença de fissuras nas laterais dos cortes motivaram a abolição desta tecnologia nas minas de granito. Já a baixa produtividade do fio helicoidal, aliada aos riscos de acidentes do trabalho, tornou esta ferramenta de corte obsoleta.

As tecnologias de corte contínuo são:

- Fio helicoidal;
- maçarico (*flame-jet*);
- cortador à corrente;
- cortador à corrente diamantado;
- fio diamantado; e
- corte com água (*water-jet*).

4.1. Critérios de escolha das tecnologias

As jazidas de rochas ornamentais possuem características geológicas peculiares relacionadas aos tipos petrográficos e fatores estruturais presentes, que acarretam no emprego diferenciado de metodologia e técnica de lavra, associadas às escolhas mais adequadas das tecnologias de corte para a abertura da mina.

Em virtude de um considerável desenvolvimento tecnológico, atribuído à expansão mundial da atividade do setor nos últimos anos, estão disponíveis algumas soluções, para a escolha das tecnologias capazes de satisfazer as exigências técnicas, para a produção de blocos.

Na literatura dos países produtores tradicionais (Itália, Portugal e Espanha) são encontradas vastas referências bibliográficas, com exemplos de estudos de casos, focalizando os aspectos mais importantes para o correto emprego das tecnologias de corte, com atenção à importância do conhecimento geológico das jazidas, do planejamento de exploração e do acompanhamento e controle das operações unitárias de lavra.

As minas de rochas carbonáticas geralmente empregam tecnologias de cortes avançadas com ferramentas diamantadas, utilizando o cortador à corrente diamantada e o fio diamantado, com os quais se obtém ótimo desempenho e produção de melhor qualidade, com custos inferiores aos alcançados com as tecnologias tradicionais de corte contínuo, tais como: fio helicoidal e cortador a corrente de metal duro (não diamantado).

Nas minas constituídas de rochas silicáticas, em especial as de granito, a extração é efetuada com técnicas tradicionais e avançadas, como perfuração descontínua com o uso de explosivo (cordel detonante imerso em água) ou argamassa expansiva, empregados para cortes primários e secundários, e cunhas manuais ou hidráulicas para as operações de recorte e esquadrejamento de blocos.

Todavia, a partir de 2005, a tecnologia de corte com fio diamantado teve um salto de desempenho jamais imaginado no Brasil, aumentando extraordinariamente a velocidade de corte e a vida útil das pérolas diamantadas, com redução expressiva do custo por metro quadrado de rocha cortada. Esses resultados estimularam o uso intensivo do fio diamantado nas minas de rochas silicáticas, passando a ser empregado não somente para o isolamento de volumes primários de rocha, mas também no desdobramento destes em volumes secundários, independentemente do preço comercial da rocha extraída, não sendo raro, nos dias de hoje, o seu emprego também para o esquadrejamento de blocos de rochas exóticas. Esta revolução é resultado do aprendizado conjunto e contínuo, através do compartilhamento de informações e experiências entre colaboradores e gestores das empresas de mineração e de seus fornecedores de fio diamantado.

4.2. Parâmetros operacionais das tecnologias

Para a escolha de uma tecnologia de corte adequada é necessário que se confronte os parâmetros técnicos, econômicos, de segurança e de saúde ocupacional dentre as tecnologias existentes.

A tabela 1 apresenta análise comparativa de parâmetros técnicos entre as tecnologias: fio diamantado e fio helicoidal, em mármore. A mesma análise comparativa é apresentada na tabela 2 entre as tecnologias: fio diamantado e *flame-jet*, em granitos.

Tabela 1 - Parâmetros técnicos das tecnologias de fio diamantado e fio helicoidal, em mármore.

Modalidade Operacional	Parâmetros	
	Fio Diamantado	Fio Helicoidal
Velocidade do fio (m/s)	25 - 45	6 - 18
Potência instalada (kW)	15 - 50	10 - 40
Comprimento do fio (m)	20 - 100	1000 - 4000
Diâmetro do fio (mm)	10	4 - 6
Velocidade de corte (m ² /h)	15 - 50	1 - 3

Elaboração dos autores

Tabela 2 - Parâmetros técnicos das tecnologias de fio diamantado e *flame-jet*, em granitos.

Modalidade Operacional	Parâmetros	
	Fio Diamantado	Flame – Jet
Velocidade de corte (m ² /h)	10 – 30	1 – 2
Largura do corte (mm)	8,0 – 11,5	100
Desvio superficial (cm)	1 – 5	10 – 30
Consumo de água (m ³ /h)	1,0	1,0
Nível de ruído (dba)	70	130

Elaboração dos autores.

A evolução da tecnologia e o desenvolvimento de metodologias específicas para os materiais brasileiros nas empresas, resultaram em que a tecnologia de corte com fio diamantado é mais barata do que as outras, como mostra a tabela 3 na qual se comparam, em termos de custo, as três tecnologias mais usadas hoje para o corte de granitos e rochas duras, e, que serão detalhadas neste capítulo: fio diamantado, argamassa expansiva e explosivo.

Tabela 3 - Comparativo econômico e de produção entre tecnologias de corte para um granito duro.

	Fio Diamantado	Argamassa	Explosivo
Custo (R\$/m ²)	18,99	25,31	22,88
Prod. Corte (m ² /h)	7,50	1,33	1,33
Produção (m ³ /h)	2,8	0,67	0,67

Elaboração dos autores.

No que se refere à utilização das diferentes tecnologias e combinações delas habitualmente utilizadas, para cada tipo de corte ou lavra, o quadro 1 permite visualizar a frequência de utilização de cada tecnologia ou combinação de tecnologias e seu potencial de aplicação.

Método	Tecnologia							
	PD+E	PD+ME	PC	DMC	FH	FD	FJ	WJ
Lavra por bancada								
- cortes primários	XXXO	XOO	XXO	-	XO	XXX	XXO	O
- cortes secundários	XXXO	XOO	XO	XO	-	XXOO	-	O
- esquadrejamento	XO	XO	-	XXOO	-	XOO	-	OO
Painéis verticais								
- cortes primários	XXOO	-	-	-	-	XX	-	O
- esquadrejamento	X	XO	-	XXOO	-	OO	-	OO
Lavra por desmoroamento								
- desmonte	XX	-	-	-	-	X	-	-
- esquadrejamento	XO	XO	-	XXOO	-	OO	-	O
Lavra seletiva								
- desmonte	XXO	-	-	-	-	X	-	-
- esquadrejamento	X	XO	-	XXOO	-	OO	-	OO
Lavra por matacões								
- divisões	XXO	-	-	XO	-	-	-	O
- esquadrejamento	X	XO	-	XXO	-	XX	-	-
Lavra subterrânea								

Quadro 1 - Comparação de tecnologias de acordo com os métodos de extração. Elaboração dos autores.

Legenda:

PD+E = Perfuração descontínua + explosivos
 PD+ME = Perfuração descontínua + massa expansiva
 PC = Perfuração contínua
 DMC = Perfuração descontínua + cunhas
 FH = Corte com fio helicoidal
 FD= Corte com fio diamantado
 FJ = Corte com *flame-jet*
 WJ = Corte com *water-jet*

Frequência de Aplicação:

XXX Elevada
 XX Média
 X Baixa

Potencial de Aplicação:

OOO Muito bom
 OO Bom
 O Baixo

O quadro 2 mostra a comparação das tecnologias em relação ao tipo de material: mármore ou granito.

Material	Tecnologia								
	PD+E	PD+ME	PC	CMD	CCD	FH	FJ	FD	WJ
Mármore	XO	XXO	XO	XXX	XXOO	XO	-	XXX	-
Granito	XXOO	XXOO	XXO	-	-	-	XO	XXX	XXO

Quadro 2 - Análise comparativa das tecnologias utilizadas na extração de mármore e de granito. Elaboração dos autores.

Legenda:

PD+E = Perfuração descontínua + explosivos
 PD+ME = Perfuração descontínua + massa expansiva
 PC = Perfuração contínua
 CMD = Cortador à corrente metal duro
 CCD = Cortador à corrente diamantada
 FH = Corte com fio helicoidal
 FJ = Corte com *Flame-jet*
 FD = Corte com fio diamantado
 WJ = Corte com *Water-jet*

Frequência de Aplicação:

XXX Elevada
 XX Média
 X Baixa

Potencial de Aplicação:

OOO Muito bom
 OO Bom
 O Baixo

Por último, em termos de análise comparativa segue o quadro 3, no qual se analisam outras características das tecnologias de corte existentes (embora algumas pouco usadas) como fatores de escolha.

Tecnologia	Custo de operação	Taxa de produção	Flexibilidade de operação	Rendimento	Facilidade de Operação	Nível de ruído	Fator de segurança
<i>Flame-jet</i>	C	C	D	B	A	D	C
Perfuração + explosivo	A	A	A	D	A	D	C
Perfuração + massa expansiva	D	C	D	A	D	C	C
Perfuração contínua	C	C	C	A	C	C	A
Fio helicoidal	C	C	D	C	D	A	C
Cortadora à corrente diamantada	C	A	C	B	B	B	A
Fio diamantado	C	A	A	A	B	A	B
<i>Water-jet</i>	C	C	A	A	B	A	A

Quadro 3 - Comparação das tecnologias de corte de rochas ornamentais. Elaboração dos autores.

Legenda: A-fator positivo; B-fator insignificante; C-fator negativo; D-fator limitante.

4.3. Inovação tecnológica no Brasil

As principais vantagens competitivas do Brasil no setor de rochas ornamentais, frente aos seus mais diretos concorrentes no mercado mundial, referem-se ao enorme potencial geológico para mármore e, sobretudo, granitos, de variados padrões estéticos, homogêneos e movimentados. Essa vantagem competitiva só poderá ser materializada mediante aprimoramento das bases de trabalho e profissionalização em toda a cadeia produtiva dos seguimentos da atividade afetos ao setor, destacando-se, em particular, o conhecimento adequado para a etapa de operação da lavra.

Na literatura brasileira são encontrados vários trabalhos que descrevem o setor de rochas ornamentais no Brasil, abordando as atividades extrativas nos estados produtores, em destaque: Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia e Ceará, especificamente, relacionados aos métodos de lavra e tecnologias utilizadas, condicionando as operações de extração ao custo e escala de produção na mina. Embora seja recente, o setor de rochas ornamentais no Brasil precisa superar ainda alguns erros iniciais cometidos pelos empresários que, na sua maioria, não possuíam a cultura minerária e deixavam de cumprir o processo desenvolvimentista necessário para produção de materiais de excelente qualidade, utilizando tecnologias de lavras adequadas ao tipo de jazida, para ser competitivo no mercado mundial.

Em alguns casos, o amadorismo dos empresários impediu que fossem tomadas medidas necessárias, para conduzir a lavra para um aproveitamento mais racional da matéria prima, apresentando ao mercado um produto em conformidade com as normas internacionais, para seu uso e aplicação, na quantidade e prazo esperados. A falta desse conhecimento acarretou problemas de caráter técnico e econômico, tornando-se imperiosa a necessidade de se investir em pesquisa geológica e planejamento de lavra.

Pode ser observado que no decorrer dos últimos vinte anos, existem ainda empreendimentos mineiros, talvez em virtude da grande disponibilidade das reservas de rochas ornamentais no Brasil, com tendências ao uso de metodologias e técnicas rudimentares na extração de blocos, tanto

para a lavra de maciços rochosos, quanto para a lavra de matacões. Esse último tipo de lavra, que envolve técnicas de grande simplicidade operacional, apresentou muitos problemas para várias empresas de mineração, no que se refere à manutenção da produção e qualidade desejadas.

Dessa forma, se verifica que o entusiasmo inicial impediu que fossem tomadas as precauções importantes para reduzir o risco típico da atividade de mineração, através da realização de pesquisas geológica, tecnológica e de mercado, imprescindíveis para a pré-viabilidade econômica do empreendimento na elaboração dos projetos de lavra e beneficiamento. Consequentemente, algumas empresas fecharam e outras ainda estão passando por dificuldades. Algumas trabalham com as consequências da organização precária, sob pressão da procura comercial, que não permite a reorganização e a reestruturação em curto e médio prazo de suas atividades, visando à adequação em toda cadeia produtiva.

Para que haja desenvolvimento e competitividade da indústria brasileira de rochas ornamentais não basta somente dispor de equipamentos de alta tecnologia, mas é de fundamental importância a transferência e a aplicação dos conhecimentos técnicos e científicos alcançados ao longo dos anos no que se refere aos problemas de identificação das reservas, introdução de metodologias que racionalizem a atividade produtiva, escolha de tecnologias adequadas, formação de recursos humanos nos diferentes níveis, valorização e agregação dos materiais, além da garantia de qualidade unidas a uma política comercial eficaz e abrangente.

Sem dúvida, em termos de inovações tecnológicas que mudaram o setor foram: os explosivos, diminuindo o trabalho manual e acelerando o processo; o fio helicoidal, que reinou absoluto como melhor tecnologia durante quase um século, até a aparição do fio diamantado; e, especialmente, a aplicação deste na produção de granitos.

Algumas inovações tecnológicas que podem contribuir muito ainda com o melhor aproveitamento das jazidas de rochas ornamentais são equipamentos para análise do estado tensional dos maciços e acompanhamento da criação ou expansão de fraturas devido ao alívio de tensões permitido pelo avanço da lavra. Um fator importantíssimo na hora de se produzir rochas ornamentais do maciço é o estado tensional deste.

5. Tecnologias diamantadas de corte de rochas

5.1. Cortadora a corrente diamantada

A máquina cortadora a corrente diamantada é constituída de uma corrente com uma nova concepção, diferente da antiga cortadora a corrente. O mecanismo da máquina é semelhante, porém com a diferença que os dentes de metal duro são substituídos por peças diamantadas. O aprimoramento tecnológico da máquina associado à fixação mecânica dos elementos abrasivos de corte diamantados, contribuíram para uma relevante difusão desta tecnologia de corte na lavra de pedreiras de mármore na Itália e em Portugal, que a partir da década de 1970 passou a ser considerada uma tecnologia indispensável em pedreiras que praticam os métodos de lavra em subterrâneos. A máquina consiste em um equipamento moderno, composto por um braço até o máximo de 4 metros de comprimento, dotado de corrente, onde em seus anéis são aplicados elementos abrasivos constituídos de segmentos ou plaquetas de diamantes sinterizados, que podem ser substituídos após o seu desgaste (Fig. 34). O braço possui forma e dimensões variáveis, de acordo com a profundidade do corte a ser realizado. Apresenta, ao longo de seu perímetro, uma série de furos próximos entre si, através dos quais é injetada água para seu resfriamento, que possui também funções de auxiliar o movimento da corrente diamantada.

Essas correntes diamantadas permitem a realização de mais de 1.000 m² de corte em mármore mais duros, antes da sua substituição total. Porém, tornam-se necessárias intervenções para a substituição de outras partes que compõem a corrente, como por exemplo, os patins e a própria corrente, limitando aproximadamente a 400 m² a superfície teórica a ser cortada sem interrupções.

No caso dos mármore, os custos unitários de corte com cortador a corrente diamantada são superiores aos do fio diamantado, o qual realiza o corte com mecanismo análogo e, portanto, com semelhante energia específica, porém com espessura reduzida. A velocidade de corte dificilmente ultrapassa a taxa de produção de 5 m²/h, mesmo utilizando-se sistema de maior potência. A principal vantagem da tecnologia de cortador a corrente diamantada reside no fato de se obter na operação de corte uma superfície perfeita, não necessitando, desde o início até o final do corte, a execução de trabalhos preparatórios.



Figura 44 - Cortadora a corrente diamantada em lavra subterrânea. Foto: CETEM/MCTI, 2008.

5.2. Fio diamantado

O desenvolvimento da tecnologia do fio diamantado decorreu da necessidade de superar as inconveniências técnicas típicas do fio helicoidal. Os primeiros equipamentos de acionamento do fio diamantado foram inspirados nessa tecnologia. A estrutura e o princípio de funcionamento dos

equipamentos de última geração do fio helicoidal, também proporcionaram o desenvolvimento dos protótipos de máquinas para o acionamento do fio diamantado.

As técnicas baseadas no uso de elementos diamantados assumiram em um passado recente amplo uso no caso das rochas carbonáticas, registrando um progresso notável quanto ao desenvolvimento do método e do equipamento. O intenso esforço de aperfeiçoamento dos equipamentos e das ferramentas acompanhados de um adequado estudo do mecanismo de corte permitiu elevar os parâmetros do fio diamantado nas pedreiras de mármore a níveis muito elevados, determinando a difusão generalizada em curto espaço de tempo. Os parâmetros obtidos com emprego do fio diamantado nos cortes de rochas silicatáticas (granitos) são obviamente inferiores àqueles alcançados nas rochas carbonáticas (mármore), em virtude da maior dureza e abrasividade dos granitos, que acarretam problemas particularizados para a fabricação dos fios diamantados, elementos abrasivos e dos próprios equipamentos.

A partir do final da década de 1970, na Itália, foram desenvolvidas as primeiras máquinas com fio diamantado na extração de mármore e travertinos, para corte deste tipo de rocha e com esta tecnologia tendo como diferença principal o sistema operacional das máquinas de tipo hidráulica e de tipo elétrica.

A substituição da tecnologia do fio helicoidal foi decorrente da evolução constante das tecnologias de abrasivos diamantados nas minas de Carrara, Itália, sob o ponto de vista técnico e aplicativo, para os cortes de paredes verticais, e pisos horizontais com diferentes tipos de máquinas da época.

Depois do aparecimento do fio diamantado há alguns anos, substituindo gradualmente o fio helicoidal, esta nova tecnologia de corte é objeto de contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento. A melhoria de desempenho das máquinas desta tecnologia de lavra vem proporcionando maiores velocidades de corte da rocha, maior capacidade de manobra de todo o equipamento bem como uma melhor compartimentação do volume de rocha a desmontar, além da otimização dos componentes constituintes do próprio fio diamantado.

A tecnologia de corte com fio diamantado tem sido largamente utilizada nas pedreiras de rochas ornamentais, sendo a solução consagrada para a lavra de rochas carbonáticas e silicatáticas em maciços rochosos e, em alguns casos, em matacões, quanto estes se apresentam na forma de grandes volumes.

Pesquisadores estudaram a partir do conhecimento das características físicas e mecânicas de granitos de pedreiras em atividade de produção na Itália e no Brasil, o emprego da técnica de extração por fio diamantado, através da avaliação dos elementos diamantados fabricados pelas indústrias de elementos abrasivos (VIDAL, 1999).

Apesar da simplicidade de emprego, é importante ressaltar que a sua utilização exige um bom conhecimento técnico-operacional, devendo-se dar importância às condições geológicas reinantes no maciço rochoso, particularmente à presença de tensões internas, para se obter uma melhor desempenho da tecnologia.

O princípio básico de corte com fio diamantado é a translação deste, sob tensão, quando enlaçado na rocha. Para isso, primeiramente, são efetuados furos coplanares e perpendiculares que se interceptam nas extremidades. Em seguida, o fio diamantado é inserido dentro destes furos, as duas pontas são emendadas, formando um circuito fechado, e colocado sobre a polia motriz do equipamento de corte. O corte se processa com o movimento de translação do fio, tensionado, em contato com a rocha. Durante o corte é fornecida água ao sulco de corte, com a finalidade de refrigeração e limpeza das partículas provenientes do corte.

Tipos de equipamentos de fio diamantado

A evolução das máquinas de corte a fio diamantado foi considerável nas últimas décadas tendo em vista que se saiu de equipamentos inicialmente hidráulicos para equipamentos elétricos automatizados, após passagem por equipamentos híbridos a elétricos com tensionamento do fio por contrapeso. É apresentada abaixo uma descrição sumária destes tipos de equipamentos.

Equipamentos de fio diamantado hidráulicos: alimentados por um sistema hidráulico, separado da máquina de fio, com uma bomba hidráulica de caudal variável, que aciona a polia motriz e outra de caudal fixo, que serve para acionar o sistema de tensionamento do fio. Possuem ainda motores elétricos de 15-22 kW e painel de comando. Estão em desuso.

Equipamentos elétricos automáticos: o surgimento deste tipo de equipamento resultou da necessidade de se obter uma tensão o mais constante possível do fio. A tensão é conseguida por meio de uma série de contrapesos aplicados em uma forquilha, situada no extremo dos trilhos. A principal vantagem deste tipo de equipamentos está na sua simplicidade. Entretanto, a difícil regulação da tensão do fio diamantado durante o corte, em superfícies não planas, torna problemática sua utilização, principalmente em cortes de bancadas altas. A potência varia de 25 a 55 kW.

A máquina elétrica equipada com acionamento automático foi o grande salto de qualidade na tecnologia de corte por meio de fio diamantado; isto deu-se com o advento de equipamentos automáticos, dotados de regulação elétrica para o tensionamento do fio. O surgimento destes novos equipamentos permitiu a instalação de uma maior potência (fio sempre corretamente tenso), além de possibilitar o funcionamento automático do sistema após a fase inicial do corte. É o tipo de equipamento mais usado, com potências de 40 kW até 150 kW.

A crescente necessidade de se dispor de equipamentos com potências maiores, de modo a acompanhar o desenvolvimento das ferramentas, levou ao surgimento dos equipamentos híbridos.

Neste tipo de equipamento a polia motriz é movida por um motor elétrico, com o sistema de tensionamento do fio continuando sendo feito por meio hidráulico, o qual é acionado por uma central separada, de modo que a utilização dos carros móveis fosse possível. Devido a problemas de estabilidade do conjunto, as potências instaladas nunca ultrapassaram a casa dos 22,5 kW.

Algumas melhorias foram introduzidas no sistema, tais como: dispositivos semiautomáticos (rele amperímetro, que regula o dispositivo de tensionamento do fio). Com isso foi possível conseguir uma regularização do fio, tipo "on/of", controlada pela absorção da corrente do motor principal; mas apesar deste avanço tecnológico, problemas surgiram. Vibrações anômalas sobre o fio originavam uma distribuição irregular das "pérolas" e um aumento dos esforços no cabo, com a consequente fadiga do mesmo.

A utilização do fio diamantado hoje em dia, não está restrita à tecnologia de corte em pedreiras de rocha ornamental, já que os equipamentos denominados monofio são usados na construção civil e em diversas indústrias, tanto no recorte de peças quanto para a demolição de instalações obsoletas.

O desenvolvimento da tecnologia do fio diamantado permitiu que fossem criadas máquinas destinadas à produção de objetos bidimensionais, usados na indústria de decoração e na urbanística. Tais máquinas são capazes de executar cortes em perfis nos blocos de vários tipos de rocha, por meio de desenhos cujas informações são transmitidas por computação.

Existe também um sistema de corte a fio diamantado, denominado de multifio, o qual permite que os blocos sejam serrados em placas com espessuras variadas: 2/3/4/5/8/10/20/30 mm, através de vários fios dispostos paralelamente nos teares de corte. Tal equipamento substituiu com sucesso os teares de disco, executando cortes com maiores velocidades e economicidades. Existem

equipamentos para o uso de 5/10/20/30/60/80 fios diamantados, dispostos paralelamente, que são recomendados principalmente para cortes de materiais de dureza muito alta. O investimento inicial para este tipo de tear é alto, quase o dobro do que um tear convencional que pode estar, hoje, com instalação, na faixa de um milhão de reais. O fio diamantado para esse tear também é um insumo caro (em torno de 60 US\$/m), no entanto, um estudo comparativo realizado por Souza *et al.* (2012) apontou que esta tecnologia apresenta custos de operação menores que o tear convencional e ainda apresenta uma produtividade seis vezes superior.

Recentemente foi desenvolvido um outro tipo de equipamento que consiste em um conjunto: cortadora, suporte e polias (Fig. 45). A máquina movimenta-se por um eixo no suporte não precisando da instalação de trilhos e, assim como com os outros tipos de máquina, o sistema de polias permite qualquer tipo de corte (Fig. 46).

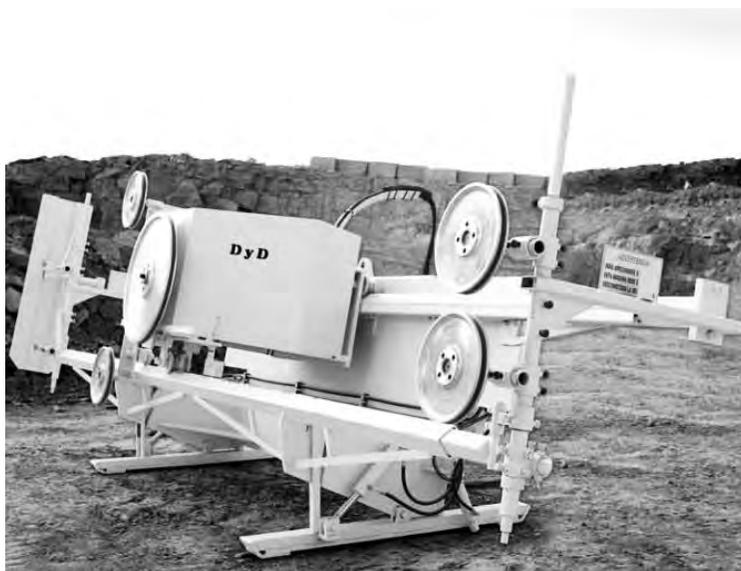


Figura 45 - Fio diamantado sem trilhos. Extraído de DYD, 2013.

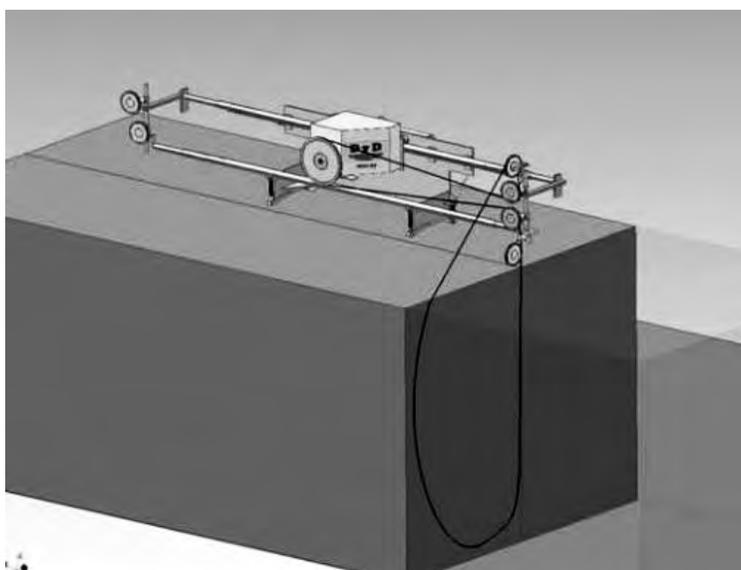


Figura 46 - Corte em "L" com fio diamantado sem trilhos. Extraído de DYD, 2013.

Constituição do fio

O fio diamantado é constituído por um cabo de aço galvanizado, que funciona como suporte para as pérolas diamantadas, separadas ao longo do cabo por molas metálicas (fio para mármore), ou por material plástico ou borracha, utilizados nos fios para rochas silicatadas (granito), bem como em alguns tipos de mármore ricos em sílica (Fig. 45).

O componente mais importante do fio diamantado consiste em um cabo de aço de 5 mm de diâmetro no qual são introduzidas em certa sequência anéis com pérolas de diamantes (elementos abrasivos de diamantes) que são fabricadas por dois métodos distintos: eletrodeposição e sinterização. As eletrodepositadas são constituídas segundo um processo químico, através de banhos galvânicos, que utilizam como eletrólito um composto de sais de níquel. Sobre cada pérola é depositado aproximadamente 0,30 a 0,40 quilate de diamante sintético com granulometria entre 0,42 e 0,25 mm (40 e 60 *mesh*). Para as sinterizadas, o método consiste em homogeneizar o metal com o diamante sintético em uma granulometria entre 0,42 e 0,29 mm (41 e 50 *mesh*) e solidificar a mistura, fazendo uso de elevadas pressões e temperaturas. A principal diferença entre os dois tipos de anéis nos fios diamantados é que nas pérolas eletrodepositadas a velocidade de corte decresce linearmente com uso, enquanto as sinterizadas mantêm uma velocidade de corte constante durante a vida útil do anel.

Existe ainda a recente tendência a favor das sinterizadas em vista da diferença significativa em termos de custos operacionais. Os fabricantes de material diamantado desenvolveram um novo anel com pérolas de diamantes sinterizadas de menor diâmetro e conseqüentemente surgiu um novo fio diamantado com 30 anéis/metro, cabo de aço de 3 mm e 49 fios e anéis de 6,5 mm de comprimento por 7 mm de diâmetro. Parece, até o momento, que o uso de tais elementos abrasivos tenha dado resultados positivos em determinados tipos de rochas, particularmente em rochas metamórficas de estrutura cristalina (Mármore tipo Carrara, Rosa Portugal, Branco e Rosa da Grécia e Turquia) ou em rochas metamórficas silicáticas como os serpentinos da região de Vimalenco e os Verdes dos Alpes.

Normalmente, a montagem do fio diamantado é feita obedecendo a uma frequência de 29 a 35 pérolas/metro, para rochas carbonáticas, e 39 a 41 pérolas/metro, para rochas duras e/ou abrasivas. Para tanto, são empregados moldes específicos, que determinam este espaçamento a ser preenchido por material de revestimento do cabo de aço (plástico, borracha ou mola). Normalmente é utilizado o fio emborrachado (vulcanizado) para corte de granito, o de molas para mármore e o de plástico para teares multifio.

Por motivo de segurança os fios com mola possuem anéis de fixação a cada intervalo constante do fio, evitando que, em caso de rompimento do cabo de aço, sejam lançadas mais pérolas que a quantidade compreendida naquele intervalo (3 ou 5 unidades). Esses anéis também permitem minimizar o deslocamento das pérolas devido à expansão/retração das molas.

O fio diamantado para pedreiras pode ser utilizado em todas as fases do desmonte de rochas, seja ele primário ou secundário, e no esquadrejamento de blocos. A utilização do fio é mais destacada nas etapas de desmonte primário e secundário. A aplicação do fio no esquadrejamento de blocos muitas vezes não é viável, pois seu emprego não permite um esquadrejamento seletivo, ou seja, a seleção de blocos sem defeitos do ponto de vista comercial, preferindo-se outras técnicas como perfuração e cunhas ou explosivo (MARCON, 2012).

O elemento cortante, a pérola, é constituído de uma pasta diamantada montada sobre um suporte cilíndrico. As pérolas utilizadas para a realização dos cortes nas pedreiras possuem diâmetros externos iniciais, de 10-11 mm para fio de pedreira e de 7-8 mm para máquinas multifio, de acordo

com o fabricante e o tipo de pérola. Com a utilização, esse diâmetro vai decaindo, até atingir o anel de suporte da pasta diamantada. O anel de suporte possui diâmetro externo de 7 mm, para fio de pedra e de 5 para multifio, também de acordo com o fabricante e o tipo de pérola (Figura 46).

A deposição da pasta diamantada nos anéis de suporte é feita por meio de processos eletrolíticos ou por sinterização.

Pérolas eletrodepositadas: o processo por eletrodeposição se dá através de banhos galvânicos, que utilizam como eletrólito um composto de sais de níquel. Assim, por eletrólise, o aro cilíndrico da pérola eletrodepositada é revestido por um extrato de colante metálico, que mantém presos os grânulos de diamante depositados sobre sua superfície, até que o desgaste do cilindro da pérola seja completo (Fig. 47).



Figura 47 - Fio diamantado nas versões com molas, plastificado e vulcanizado. Extraído de Solga Diamant, 2013.

Tais pérolas geram ação de corte com uma única camada de diamante, cujo tamanho de partículas se situa na faixa de 30/40 mesh (600-425 μm) a 40/50 mesh (425-300 μm). Este sistema é preferível para cortes de rochas de baixa dureza e em pequenos cortes, devido ao fato dos diamantes se apresentarem mais protuberantes e, portanto, cortarem de maneira mais eficaz, mesmo que com maior desgaste. Sua velocidade de corte decresce regularmente com o tempo e, em função do tipo de aplicação, permitem a utilização de máquinas de baixa potência.

Pérolas sinterizadas: o processo de sinterização consiste na homogeneização do pó de diamante com o pó de metal ligante (geralmente tungstênio, cobalto, cobalto-bronze, bronze, ferro-cobalto), sendo a mistura prensada e sinterizada de modo a formar uma matriz ligante impregnada com diamantes ao redor do cilindro (Fig. 48). Esse processo é melhor indicado na fabricação de pérolas que irão atuar principalmente em rochas duras e rochas abrasivas, pelo fato de permitir uma homogênea distribuição dos diamantes na pasta diamantada que, em se consumindo, liberam novos diamantes até o esgotamento da pasta diamantada da pérola.

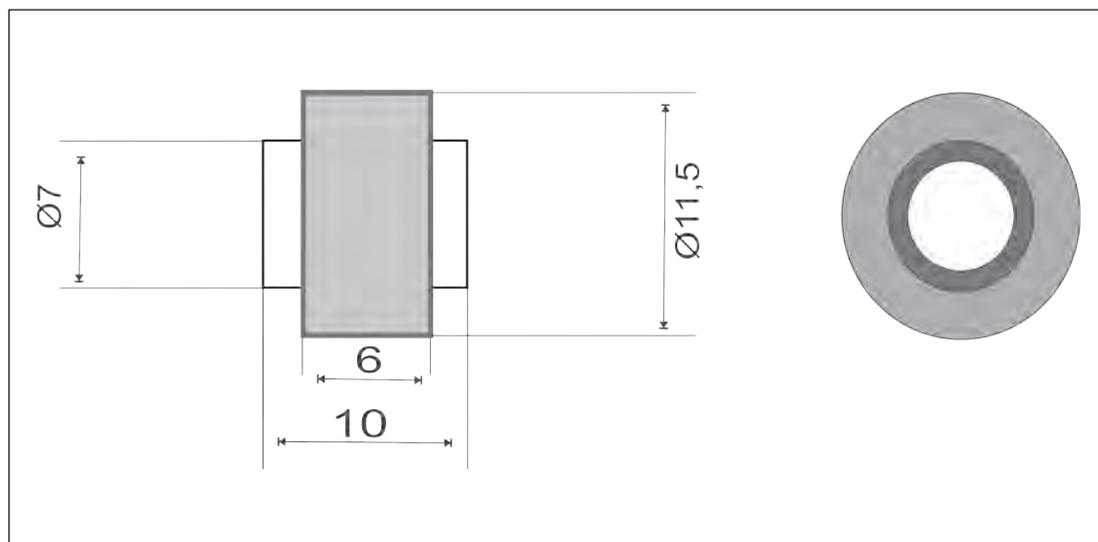


Figura 48 - Dimensões da pérola.

As composições das ligas metálicas, a concentração e a granulometria dos grãos de diamantes são escolhas que dependem do tipo de aplicação, assim como acontece nos segmentos diamantados de discos e de lâminas. Geralmente o tamanho das partículas de diamante nas pérolas é de aproximadamente 425-300 μm (40/50 mesh).

A velocidade de corte é praticamente constante ao longo de sua vida útil. Ao contrário das pérolas eletrolíticas, as sinterizadas requerem máquinas com maior potência.

O diamante é a parte da pérola que realmente corta. O tipo de rocha a ser cortada é que definirá a qualidade, a concentração e o tamanho dos mesmos.

O diamante surgiu há milhões de anos na natureza, através da transformação química do carbono em cristal, tendo acontecido em grandes profundidades, algumas vezes mais de 80 km, sob influência de temperatura e pressão muito elevadas (temperatura em torno de 1.100 - 1.300°C e pressão maior que 70t/cm²). Os diamantes, tanto naturais como sintéticos, apresentam variedades de forma cristalina, sendo predominante, para os diamantes naturais, a forma octaédrica. É o mais duro material conhecido, apresentando dureza 10 na escala de Mohs.

Os diamantes extraídos da natureza são purificados, processados e classificados de acordo com o tipo de função que desempenham. No início dos anos 1950, grandes companhias passaram a produzir diamante sintético, o qual é obtido através da exposição do grafite a altas temperaturas e altas pressões de compressão.

De acordo com Turchetta (2003), a matriz diamantada tem a função de suportar rigidamente os diamantes o tempo necessário para que este realize o corte; e tem uma dureza adequada para que possa se desgastar de maneira que quando o diamante estiver no tamanho e/ou forma final de sua vida útil possa sair e ser substituído por outro diamante emergindo da matriz. Assim, uma matriz mole pode resultar no destacamento do diamante antes do fim de sua vida útil. Já uma matriz muito dura, desgastará o suficiente e pode ocasionar a planificação da superfície do diamante, cegando a ferramenta. A dureza da matriz também é influenciada pela dureza e abrasividade da rocha na qual será utilizada (Fig. 49).



Figura 49 - Pérola eletrodepositada. Extraída de Diamar SRL, 2013.



Figura 50 - Pérola sinterizada. Extraída de Stonecontact, 2013.

Rendimento

O desempenho do fio diamantado é avaliado pelo seu rendimento e pela velocidade de corte. O rendimento expressa a vida útil do fio diamantado, sendo explicitado pelo total de área de rocha cortada por metro de fio (m^2/m). Para um maior controle de desempenho do fio diamantado, o desgaste das pérolas é avaliado após a realização de cada corte, e quantificado pela diferença de diâmetro das pérolas, antes e após o término do corte. O desgaste do fio diamantado não é linear, como é observado nas figuras 51 e 52. O mecanismo de desgaste das pérolas consiste no desbaste gradual da matriz metálica, que suporta os diamantes, para que estes aflorem e se tornem afiados, com poder de corte. À medida que cada grão de diamante é consumido, novos grãos surgirão com o desgaste da matriz metálica, estabelecendo-se um ciclo, para o consumo das múltiplas camadas de diamante. Para se calcular o rendimento do fio diamantado, utiliza-se a equação:

$$R = \left(\frac{\varnothing_n^2 - \varnothing_a^2}{\varnothing_i^2 - \varnothing_f^2} \right) \frac{A}{L}$$

Onde,

R = Rendimento (m^2/m);

\varnothing_n = Diâmetro da pérola nova (mm);

\varnothing_a = Diâmetro do anel de suporte (mm);

\varnothing_i = Diâmetro da pérola no início do corte (mm);

\varnothing_f = Diâmetro da pérola no fim do corte (mm);

A = Área de rocha cortada (m^2);

L = Comprimento do fio (m).

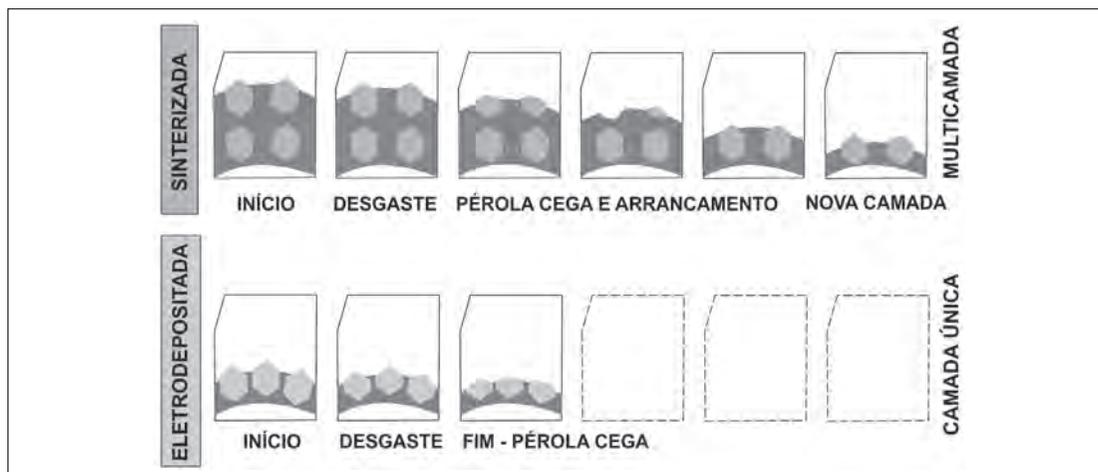


Figura 51 - Mecanismo de desgaste das pérolas sinterizadas e eletrodepositadas. Modificado de Caranassios e Pinheiro (2003).

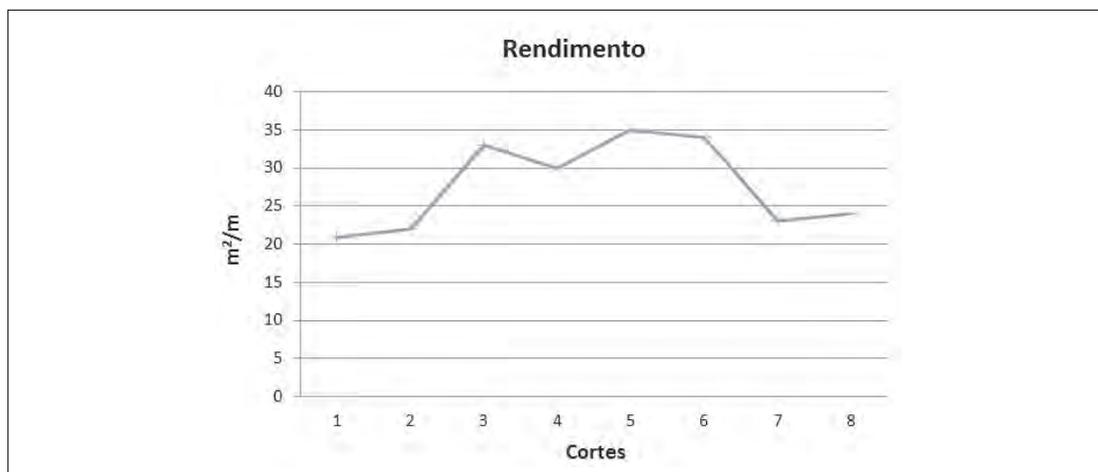


Figura 52 - Exemplo de rendimento de um fio diamantado ao longo de sua vida útil. CETEM/MCTI.

A velocidade de corte é a razão entre a área de rocha cortada pelo tempo gasto para a realização do corte (m^2/h), e depende de diversos parâmetros, sendo o principal o tipo de rocha a ser cortada. Vale ressaltar que a velocidade de corte não é constante ao longo de todo o corte e está condicionada ao comprimento de fio em contato com a rocha (dimensão de arrasto) e ao grau de anisotropia do maciço (CARANASSIOS; PINHERO, 2003).

O corte com o fio diamantado é afetado por parâmetros controláveis e não controláveis. Os parâmetros não controláveis são relativos a características das rochas. Os parâmetros controláveis são de âmbito operacional, como: o raio de curvatura do fio (ideal que o fio tenha forma de semicircunferência ou segmento de circunferência), potência da máquina, velocidade periférica e de arrasto do fio, quantidade de água no corte e dimensões do corte. Na tabela 4 observam-se os diversos parâmetros que afetam a eficiência do corte com fio diamantado.

Tabela 4 - Fatores que afetam a eficiência do corte com o fio diamantado.

Parâmetros não controlados relacionados à característica das rochas	Parâmetros parcialmente controlados ou controlados	
	Propriedades da ferramenta de corte e equipamentos	Condições de trabalho
Dureza	Potência da máquina	Pessoal qualificado
Abrasividade	Velocidade periférica	Vibrações da máquina
Tensões	Números de pérolas por metro	
Grau de alteração	Número de pérolas em contato com a rocha	
Descontinuidades	Raio de curvatura do fio em contato com a rocha	
Propriedades mineralógicas	Quantidade de água usada	
Características texturais	Velocidade de arrasto	
	Dimensões do corte	

Marcon *et al.*, 2012.

Máquina de corte

Os parâmetros mais importantes que devem ser observados na máquina de corte são a potência e a velocidade periférica linear.

Referimo-nos à potência do motor principal, que influi significativamente na capacidade de trabalho do fio diamantado.

Mas, além da potência, as rotações do motor principal (RPM) são fator determinante para obtenção do torque do motor, que é dado pela equação:

$$\Delta F = \frac{716 \times P}{rpm}$$

Onde:

ΔF = Torque motor principal, kgfm;

P = Potência motor principal, cv;

rpm = Rotações por minuto motor principal;

716 = Constante.

Quanto maior o torque, maior poderá ser o comprimento do fio em contato com a rocha, possibilitando a realização de cortes com maiores dimensões. Não importa a área de corte a ser realizada, mas sim a dimensão em que o fio será arrastado, devendo esta dimensão ser compatível com o torque da máquina.

A velocidade periférica é a velocidade linear do fio diamantado em circuito fechado, e que é inversamente proporcional à dureza da rocha. Nos mármore varia de 35 m/s a 40 m/s e, nos granitos hoje, é frequente encontrar velocidades de 30 m/s. Essa velocidade é obtida a partir do diâmetro do volante juntamente com as rotações do motor, ou seja:

$$\text{Velocidade Periférica (m/s)} = \text{comprimento circunferência (m)} \times \text{RPM} / 60$$

Dentre os parâmetros de maior importância na avaliação dos desempenhos de fio diamantado, dois devem ser levados em especial consideração: a velocidade de corte (m^2/h) e a vida útil do fio, em m^2 cortados, ou rendimento, expresso pelo número de metros quadrados cortados por metro de fio utilizado (m^2/m).

A velocidade de corte não é constante durante todo o corte e está condicionada ao comprimento do fio em contato com a rocha, em cada momento, podendo ser obtida da seguinte forma:

$$\text{Velocidade de Corte (m}^2/\text{h)} = \text{superfície (m}^2) / \text{tempo (h)}$$

Esses dois parâmetros são inversamente proporcionais. Apenas um exame conjunto dos mesmos permitirá a correta avaliação da relação custo-benefício, buscando-se sempre a melhor velocidade de corte, para um desejado consumo de pérolas.

A tabela 5 mostra valores médios obtidos para alguns tipos de granitos do Brasil e a evolução da tecnologia e da metodologia empregada. Deve-se destacar que os produtores brasileiros são especialistas em corte de materiais duros, como mostram as melhorias de produtividade dos últimos anos.

O emprego da tecnologia do fio diamantado permite a organização racional dos trabalhos de lavra, através da realização do planejamento da atividade extrativa, otimizando o ciclo de produção da pedra.

Podemos citar como principais vantagens:

- Regularidade e excelente acabamento das superfícies cortadas;
- manutenção da integridade física da rocha, com nenhum tipo de dano à mesma;
- espessura média de corte de apenas 10 mm, o que é insignificante quando comparado a outras tecnologias;
- a partir dos três itens acima, tem-se uma maior qualidade da produção, com obtenção de um maior volume comercial de blocos, eliminando-se os tradicionais “descontos”;
- elevadas velocidades de corte (m^2/h), com ganhos de produtividade;
- menor custo unitário de corte ($\$/\text{m}^2$), em relação a tecnologias tradicionais de corte;
- melhor relação custo-benefício, com comprovada viabilidade econômica;
- versatilidade de uso para as mais variadas condições operacionais, permitindo a realização dos mais variados tipos de cortes;
- mínimo impacto ambiental, pelo menor volume de material descartado; e
- atividade silenciosa, com ausência de poeira e vibrações, contribuindo para melhoria das condições de trabalho.

Tabela 5 - Exemplos de produtividade e rendimento de fio diamantado no Brasil em lavra de granito.

Exemplos de produtividade e rendimento de fio diamantado no Brasil em lavra de granito		
Ano 2000		
Material	Velocidade de corte (m²/h)	Produtividade (m²/m)
Bordeaux (RN)	1,8	15
Branco ceará (CE)	2,6 – 3,5	10 – 14
Branco Piracema (MG)	1,8	14
Branco Romano (ES)	2,5	20
Casa Blanca (CE)	1,2	16
Giallo California (MG)	1,3	16
Ouro Branco (CE)	2,9	25
Ouro Brasil (ES)	2,4	18
Preto São Gabriel (ES)	4,5	45
Samoa Light (ES)	2,0	16
Verde Labrador (ES)	2,6	22
Verde Pavão (ES)	2,4	24
Anos 2011 - 2013		
Preto São Domingos (ES)	8 - 10	24 – 30
Preto São Gabriel (ES)	30	24 – 30
Verde Pavão (ES)	5 - 6	16 – 18
Cinza Corumbá (ES)	10-15	16 – 18
Amarelo Ornamental (ES)	15 -20	26 - 32
Bege Pavão (ES)	12	24 - 28
Verde Pavão (ES)	12	24 – 28

Aplicação da tecnologia do fio diamantado

Na realização de cortes com fio diamantado torna-se necessário a realização de furos coplanares na parte interna do maciço, que irão determinar a superfície a ser cortada. Para facilitar o encontro desses furos, utiliza-se normalmente uma perfuratriz denominada de *down-the-hole* ou fundo-furo, destinada à realização dos furos horizontais e verticais, com diâmetro da ordem de 90 mm a 105 mm.

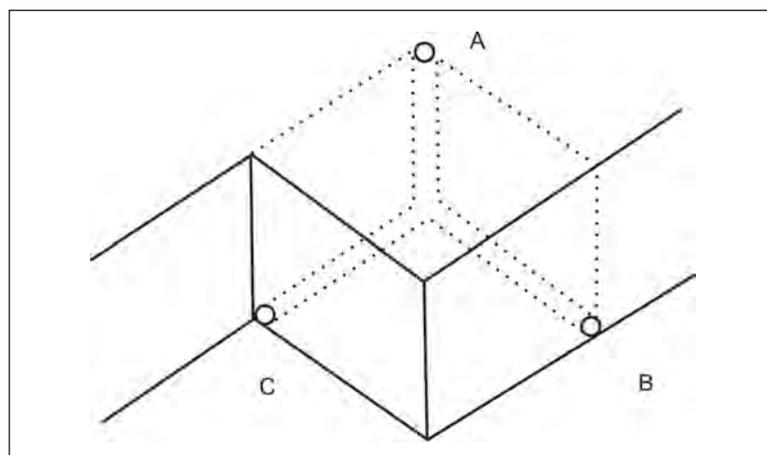


Figura 53 - Furação necessária para introduzir o fio diamantado. CETEM/MCTI.

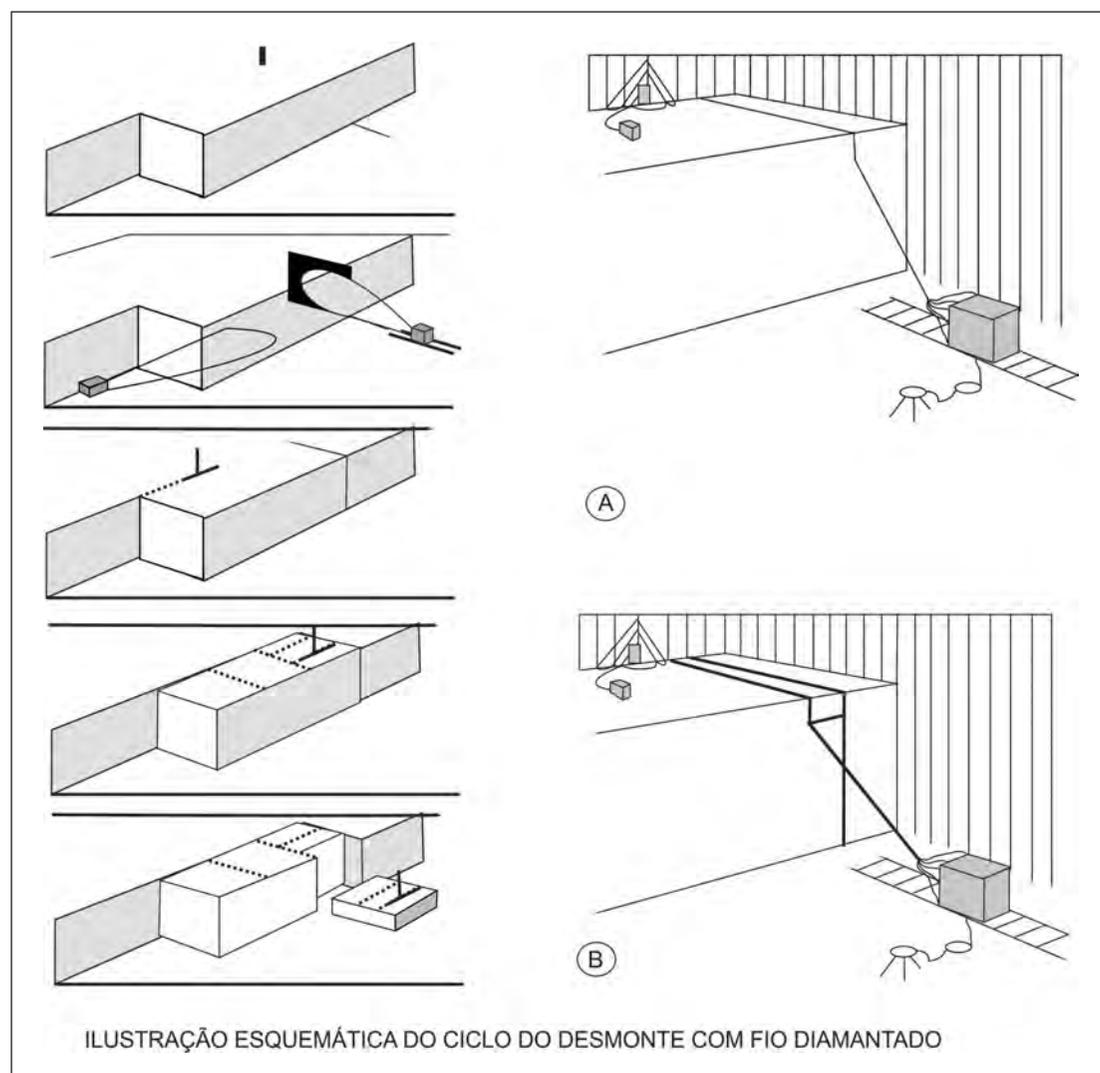


Figura 54 - Exemplos de cortes com diamantado. Adaptado de Jimeno, 1996.

O princípio básico de corte é puxar uma alça de fio diamantado, enlaçada na rocha por dois furos que se interceptam, formando um circuito fechado, em que através do movimento de translação do fio e da constante força de tração exercida sobre ele, promove-se o desenvolvimento do corte.

Em função de sua grande flexibilidade e versatilidade, o fio diamantado pode realizar os mais diversos tipos de cortes necessários e suficientes para a extração de rochas ornamentais. Os principais cortes realizados são verticais e horizontais realizados com a máquina posicionada em cima ou embaixo da banca, frontal ou perpendicularmente, em relação aos mesmos. Porém, com sistemas de polias é possível realizar qualquer tipo de corte como cortes em "L" e cortes cegos.

As atividades de mineração desenvolvidas em pedreiras requerem cuidados especiais. Não devemos esquecer que, por trás de qualquer máquina, equipamento ou material está uma vida humana. Assim, a empresa deve adotar um programa de treinamento e prevenção de acidentes do trabalho. É fundamental o conhecimento completo das questões de segurança da operação.

O posicionamento do operador, em relação à máquina, é o principal fator de salvaguarda na sua segurança, uma vez que as velocidades periféricas do fio diamantado representam as mesmas condições de disparo de um projétil.

Pela sua constituição, o fio diamantado que apresenta suas pérolas separadas somente com molas (fio para mármore) representa maiores riscos de acidentes. Todavia, isto não impede que os modelos plastificados e vulcanizados possam, eventualmente, romper-se representando desta forma um risco potencial.

Outro fator que deve ser levado em consideração, nas operações com fio diamantado, é o perfeito isolamento e/ou aterramento dos equipamentos geradores e/ou transmissores de energia elétrica, pois o ambiente de trabalho é predominantemente úmido. Os equipamentos de proteção individual – EPI devem ser usados obrigatoriamente.

5.3. Disco diamantado

A tecnologia de corte com equipamentos com disco é semelhante a cortadora à corrente usada em lavra a céu aberto. Os equipamentos de corte com disco permitem obter pequenos blocos de rochas (bloquetes), geralmente, sendo ainda necessário subdividi-los em placa de rochas. É uma tecnologia de grande limitação, tendo uma escala de profundidade de corte de 20 a 60 cm no máximo. O equipamento consiste basicamente de um disco cortador montado sobre um carrinho. Recomenda-se para o corte em mármore e ardósias disco diamantado, e para o caso de rochas macias (calcário) o disco de metal duro.

Em algumas máquinas os discos podem girar em ambos os sentidos; possuem diâmetros bastante variados, dependendo da rocha e das fraturas sub-horizontais. Exemplo: o caso da pedra Lesinha (calcário), Itália, que utiliza o disco com diâmetro variando de 1,5 a 3,0 m.



Figura 55 - Cortadora de disco diamantado (Itália). Foto: CETEM/MCTI, 2006.

Outros exemplos são: a Ardósia, em Papagaio (MG) e o Calcário da região do Cariri (CE), que utilizam o disco variando entre 0,35 e 0,50 m.



Figura 56 - Ardósia, em Papagaio (MG) e Calcário do Cariri (CE). FOTOS: CETEM;/MCTI, 2005.

6. Outras tecnologias de corte de rocha

6.1. Cortadora a corrente

As primeiras experiências com cortadoras a corrente de metal duro (vídia), equipadas com ferramentas a base de carbetos de tungstênio, inspiradas naquelas utilizadas na extração subterrânea dos carvões no final da década de 1930, ocorreram em 1965, na Bélgica e na França, para a produção de mármore coloridos.

Os primeiros testes realizados na Itália com a cortadora a corrente foram nos mármore da região de Carrara, com resultados bastante satisfatórios, conseguindo-se velocidade de corte de 5 m²/h, porém com frequentes quebras e difícil operacionalidade nas jazidas. O aprimoramento tecnológico proveniente da substituição da corrente de metal duro por corrente diamantada, na fixação mecânica dos elementos de corte, contribuiu para uma relevante difusão da referida técnica nas áreas produtivas de mármore na Itália e em Portugal, passando a ser considerada, a partir da década de 1970 indispensável na abertura de pedreiras subterrâneas.

Normalmente a cortadora a corrente possui braços com 2 a 4 m de comprimento, sendo utilizada em lavra por bancadas baixas de calcários e travertinos, como por exemplo, os calcários da região de Estremenho, em Portugal e do Município de Ouroândia na Bahia, Brasil (Figura 57).

Essa máquina cortadora representa um recurso integrado e/ou de preparação para o uso de outras técnicas. Possui emprego generalizado na abertura de galerias, devido ao recurso de movimentação horizontal e vertical dos braços. A cortadora a corrente é constituída de um braço sobre o qual desliza uma corrente dentada que gira na periferia do mesmo e direciona o corte. Para as rochas menos tenazes utilizam-se dentes de metal duro. Para material mais duro, arredondam-se os dentes, diminuindo o seu comprimento para aumentar a robustez, e substituem-se os mesmos por peças diamantadas. O custo do corte aumenta conforme a tenacidade da rocha.



Figura 57 - Cortadora a corrente. Mármore Bege Bahia, na Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2006.

A tabela 6 apresenta os parâmetros de corte de acordo com a sua dureza, em diferentes tipos de mármore.

Tabela 6 - Parâmetros de cortes com cortadora a corrente, de acordo com a sua dureza.

Tipo de mármore		Velocidade de corte (m ² /h)
Classificação de Dureza	Nome	
Macio	Comblanchien	12,0
	Peperino	10,0
	Travertino	7,0
Semiduro	Petit Granit	5,0
	Serpeggiante	4,5
Duro	Vila Viçosa	2,0

Fonte: CETEM, 1999.

Na Europa existem casos em que a tecnologia de cortadora a corrente é utilizada com comprimento de braço acima de 4 metros (Figura 58).

No Brasil, essa tecnologia é utilizada no Bege Bahia em Ourolândia (BA) e nos mármore de Cachoeiro de Itapemirim (ES). Na Itália, é largamente empregada em extrações de mármore e em lavra a céu aberto de bancadas baixas, sendo proibitivo para rochas graníticas em virtude do desgaste excessivo das ferramentas de corte.



Figura 58 - Cortadora a corrente de braço alongado. Foto: CETEM/MCTI, 2006.

6.2. Técnicas por perfuração e explosivos

A técnica de corte que se baseia na utilização de explosivos carregados em furos dispostos próximos entre si e que definem um plano de corte. Esta tecnologia encontra-se com seu uso muito abrangente e, de certa forma, preferido pela maioria das empresas voltadas à produção de blocos, devido à sua versatilidade e facilidade de execução, inclusive pelos seus custos, normalmente inferiores àqueles de técnicas alternativas, para o caso de pedreiras cuja produção é médio-baixa. Além dos motivos citados anteriormente, a tecnologia de corte através de perfuração e explosivo, tem como característica principal sua fácil adaptação nas mais variadas configurações de projeto de pedra, mesmo quando as bancadas não obedecem a um padrão de regularidade. Como complementação, esta técnica possibilita a realização de trabalhos para a lavra de matacões.

Esta técnica consiste na realização de certo número de furos paralelos cujos eixos coincidem com o plano de corte. Estes furos são carregados, então, com explosivos dosados com uma carga linear extremamente baixa, destinadas a provocar a ruptura da rocha somente entre os furos. Um aspecto de vital importância, principalmente no que se refere à realização dos cortes primários e secundários, reside nos critérios de escolha do tipo de explosivo e no dimensionamento dos parâmetros que vão definir o plano de fogo, de particular modo, o espaçamento entre os furos (de 10 a 40 cm) e a carga linear por furo (de 2 a 10 g/t). O esquema de desenvolvimento desta técnica é normalmente articulado em fases de subdivisões sucessivas. Este procedimento oferece a vantagem de decidir de maneira mais conveniente os planos de cortes secundários e delimitação dos blocos, levando-se em consideração os defeitos presentes nas várias superfícies a serem inspecionadas.

Na Itália, Portugal, Espanha e no Brasil desmontes semelhantes têm sido executados recorrendo principalmente ao cordel detonante. Inicialmente, os equipamentos de produção mecanizada foram usados e permitiram uma melhoria na precisão da linha de perfuração de modo que a carga explosiva ficou mais controlável. Melhoramentos posteriores resultaram do advento de equipamentos de perfuração hidráulica acompanhados por economia de energia e custos de trabalhos. Como resultado, blocos com mais de 1.000 t podem, agora, ser desmontados sem danos à sua estrutura física e os blocos secundários, em torno de 35 t, podem ser efetivamente manejados entre as etapas de operação da lavra.

A experiência nórdica europeia (finlandesa, em particular) é orientada segundo a preferência dos explosivos à baixa velocidade de detonação, ao limite da classe dos deflagrantes, confeccionados em cartucho de pequeno diâmetro de 11 e 17 mm, ligados e centralizados no furo, com relação aos diâmetros internos de 0,3 - 0,5 mm, e fator de desacoplamento variável entre 0,1 e 0,2 mm. A velocidade de detonação é inferior a 4.000 m/s e o desenvolvimento do gás é capaz de promover sobre a superfície controlada uma ação de pressão suficiente para deslocar ou derrubar o volume isolado contra o espaço defronte. A pólvora, por sua vez, é considerada um baixo explosivo, com velocidade de detonação lenta (< 3.000 m/s).

No passado algumas pedreiras preferiam a pólvora negra devidamente dosada, visando romper o bloco sem fragmentação. A direção da superfície de destaque é controlada mediante a criação de uma cava e introdução de uma cápsula de explosivo na fratura ao longo da geratriz diametralmente oposta. Na Itália, vem se generalizando o uso do cordel detonante. O mesmo é considerado um alto explosivo, com velocidade de detonação alta, constituído pelo tetranitrato de penta-critritol (nitropenta), detona com velocidade variando de 6.800 a 7.200 m/s e possui diferentes gramaturas, com a mesma velocidade de detonação: NP-10 = 10g de nitropenta por metro e assim sucessivamente NP-5 = 5g, NP-3 = 3g e NP-2 = 2g. O NP-10 é o cordel que possui a maior energia de choque

e, conseqüentemente, maior capacidade de fraturar a rocha. Dessa forma, normalmente, todos os furos são carregados com um único puxão ao longo da extensão da frente de lavra.

Dependendo das características da rocha, em alguns casos têm sido experimentados esquemas diferentes, consistentes em seqüência repetida de furos carregados alternativamente com um único puxão e dois intervalos com furos guias descarregados, deixando inalterados o espaçamento e a quantidade de explosivo. Quando o volume de bancada a destacar é relevante e a espessura excede de 6 a 7 m, a carga linear é aumentada com carregamento duplo. O tiro é sempre simultâneo e pode associar concomitantemente dois e até três planos de destaque. Geralmente acha-se vantajoso associar na operação idêntica os dois cortes principais da bancada, vertical e horizontal, após abertura dos cortes laterais com *flame-jet*.

Foram desenvolvidos, na década de 1990, experimentos instrumentados de modelo de desmonte de rochas em blocos de granitos homogêneos, relativamente grandes, para determinar os efeitos dos resultados sobre as detonações, provenientes da energia dos explosivos (pressão, velocidade de detonação e densidade), bem como os efeitos dos fatores geométricos tal como a distância da carga. Nestes experimentos, verificou-se que a fragmentação por explosão não é controlada por uma única propriedade dos explosivos, tal como a energia, mas por uma combinação de energia com velocidade de detonação, diversidade, grau de acoplamento entre explosivo e a parede do furo, bem como pela velocidade sônica da rocha, fator de potência e geometria da carga.

No decorrer dos experimentos se alertou para os inevitáveis efeitos causados pelos explosivos na detonação quanto à estabilidade de rampa remanescente, em que novas fissuras são formadas e as fraturas já existentes são aumentadas e o material é deixado em uma condição inaproveitável. Não existe uma teoria compreensiva que tenha sido formulada com respeito às detonações. Entretanto, os mecanismos de propagação da onda de cisalhamento, fragmentação e fluxo de gás são suficientemente bem conhecidos para prover fórmulas matemáticas parciais dos vários tipos de detonação, e informação empírica considerável é obtida para ajudar em decisões práticas na frente de lavra.

Os estudos realizados mostram os efeitos da onda de choque emitida e o efeito causado pela expansão do gás pressurizado. Isto produz as duas forças principais na detonação, caracterizada pela presença de uma onda de choque que percorre a coluna de carga com uma velocidade variável, em função do explosivo e das condições de ignição e confinamento. A fase dinâmica de detonação se inicia, justamente, com o aparecimento desta onda de choque percorrendo a coluna de explosivo. A seqüência cronológica dos eventos que ocorrem durante o efeito das ondas de choque é basicamente na seguinte ordem: aparecimento das fraturas radiais, reflexão das ondas de choques nas faces livres e retorno das ondas de choque com o aparecimento das fraturas tangenciais.

A técnica mais aplicável à mineração a céu aberto é a de detonação controlada, que é comumente usada para assegurar paredes retentoras de som, e a qual deixa um contorno de corte final perfeito sem nenhum "*overbreak*" ou dano de retorno ao material remanescente. Isto é conseguido deflagrando simultaneamente um número de cargas desacopladas em furos paralelos axialmente perfurados no plano da frente pretendida. A operação é comumente chamada pré-controlada ou pós-controlada dependendo se ela precede ou segue o resto da seqüência de detonações.

Pesquisas de detonação controlada realizadas estudaram as ondas de choque e os processos de fragmentação inicial que circunda uma carga detonante. Nestas foram apresentados os resultados dos modelos de explosão em *plexiglass*, com experimentos em rochas para agregados e para fins ornamentais, tendo sido ilustrado a diferença básica entre a detonação de crateras e detonação de bancadas. No experimento ficou evidenciado que o principal efeito da onda de choque no desmonte de bancadas em rochas duras é provocar rachaduras radiais em torno do furo produzido. No

entanto, aquelas já existentes são aumentadas pela onda de tensão que retorna da superfície livre. Estas rachaduras se estendem e o bloco é finalmente destacado sob a influência da pressão do gás no furo produzido. O trabalho feito pelo gás, depois que a onda de choque provoca o destaque é, em grande parte, proveniente da energia total do explosivo que é dependente da densidade da carga.

A detonação controlada é uma técnica criada para fazer o contorno final obtido no desmonte aparecer, como se a rocha fosse cortada com uma faca, deixando o restante praticamente não danificado, sem “*overbreak*”. Através da observação da face criada por esta técnica, pode ser praticamente reconhecida que uma linha de fissura maior é criada de furo a furo os quais foram executados em paralelo no plano projetado da quebra e são poucas as rachaduras nas outras direções.

A tecnologia do corte com cordel detonante foi, por muito tempo, a mais difundida para extração de rochas duras e abrasivas em maciço rochoso, para fins ornamentais, com destaques para a Itália, Espanha e Brasil. No tempo em que a Itália produzia ao norte da Sardenha 10% da produção mundial de granito, o consumo anual de cordel detonante utilizado na extração de blocos em cortes primários e secundários, era equivalente a mais de 12.000 km de extensão. Atualmente, no Brasil, é muito aplicada em cortes de desmonte inicial e no esquadreamento de blocos.

A tecnologia de corte por meio de perfuração e explosivo será ainda utilizada por muito tempo, em função do baixo custo unitário e da flexibilidade operacional, para os casos de rochas cujas características admitam totalmente a aplicação desta técnica. Entretanto, cresce a exigência de oferecer garantias de melhores e mais elevados níveis de produção, segurança do trabalho e integridade do material, principalmente quando o material é destinado ao revestimento de grandes superfícies dispostas verticalmente e, invariavelmente, sujeito a relevantes esforços dinâmicos. Esse aspecto técnico cria margem para o desenvolvimento de tecnologias alternativas, que além de promoverem uma lavra que preserve a integridade do material, melhorem as condições de segurança e higiene do trabalho e ofereçam ainda perspectivas de melhoria e controle dos impactos ambientais (poeira, ruído, vibrações, ondas de sobre pressão etc.), principalmente quando a atividade extrativa desenvolve-se próxima ao centros urbanos.

Para uso desta tecnologia é necessário o uso de perfuratrizes, que realizam furos a distâncias predeterminadas, combinados para criar o corte mediante cargas explosivas. O acionamento das perfuratrizes é feito principalmente por ar comprimido, também existindo no mercado perfuratrizes hidráulicas, em que o fluido de acionamento não é mais diretamente o ar comprimido, mas um fluxo de óleo sob alta pressão (Fig. 59).

Os martelos pneumáticos transmitem a broca percussão e, no intervalo entre duas percussões sucessivas, uma rotação de pequeno arco de círculo. Simultaneamente a esses dois movimentos ocorrem a introdução de ar de limpeza na perfuração.

Os compressores de ar destinados ao acionamento das perfuratrizes podem ser estacionários ou portáteis. São estacionários quando montados sobre bases rígidas e são portáteis quando montados sobre pneus. Podem ser movidos por motor elétrico ou diesel, porém os compressores estacionários, na maioria dos casos, são elétricos, e os compressores portáteis movidos a motor diesel.

Para que ocorra um trabalho efetivo de demolição da rocha e conseqüente desenvolvimento da perfuração é necessário que seja exercido um esforço sobre a perfuratriz. É esse esforço, aliado a percussão e rotação, que faz progredir o furo. O esforço pode ser exercido fisicamente pelo operador, através de martelos manuais, ou mecanicamente por uma corrente ligada a perfuratriz, tracionada no sentido de provocar pressão sobre o equipamento contra a broca e desta contra a rocha, conhecida como talha-blocos.



Figura 59 - Perfuratriz hidráulica (banqueadora) usada para o esquadreamento de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

O conjunto talha-bloco é constituído por trilhos, para o deslocamento lateral do suporte, sobre o qual é instalado o martelo, e por quadro de comando, além de lubrificador coligado à tubulação de alta pressão. Este sistema permite a utilização de um ou mais martelos funcionado simultaneamente. O fluido de limpeza pode ser ar ou água. O sistema talha-bloco promove a redução de custos de mão de obra, com aumento da produtividade e uma maior regularidade dos furos realizados. A figura 60 mostra uma máquina talha-bloco (perfuratriz pneumática) esquadreando blocos.



Figura 60 - Perfuratriz pneumática. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Aplicabilidade das perfurações

As atividades nas pedreiras de rocha ornamental têm como objetivo final a obtenção de blocos em forma de prisma com volume aproximado em torno de 8 m^3 a 12 m^3 . Para tanto são realizadas sucessivas operações de desmonte do maciço rochoso, até se chegar a um bloco com as dimensões desejadas. Em uma primeira etapa de desmonte prepara-se um prisma (painel); para, a partir daí, dar-se o desdobramento do prisma, que nada mais é que a partição do mesmo até a obtenção do bloco padrão.

A perfuração que é realizada para o corte do painel e dos blocos, e que constitui-se em um dos processos de corte não contínuo é feita com a utilização de equipamentos pneumáticos, e a sua precisão (alinhamento, prumo e medida) é fundamental para a determinação da boa qualidade do bloco.

Os furos verticais são chamados furos de bancada, enquanto os furos horizontais são chamados de levante. Os furos de um mesmo plano devem manter um perfeito paralelismo entre si, para propiciar o corte ideal na rocha.

Quando a pedreira ou a jazida já se encontra com atividades de produção e a lavra se desenvolve em um maciço rochoso, os trabalhos são orientados visando a formação de bancadas sucessivas dando uma configuração à pedreira (cava) de anfiteatro (uma grande escadaria).

A produção de blocos de rocha para fins ornamentais requer uma grande quantidade de perfuração. Portanto, o criterioso dimensionamento das necessidades de perfuração, bem como a escolha adequada e a correta utilização dos equipamentos (quanto à operação e manutenção) constituem fatores da maior importância para obtenção das metas de produção com garantia de baixo custo. Nas atividades de lavra, as operações de perfuração podem ser divididas em várias etapas: *perfuração primária*; *perfuração secundária*; e etapa de esquadreamento ou aparelhamento, que pode ser identificada, também, como *perfuração terciária*, podendo haver outro estágio, que é a perfuração quaternária. Em todas as etapas, os cuidados com o alinhamento e com o paralelismo entre os furos são de grande importância para a qualidade de produção dos blocos. A figura 61 mostra os cortes primários feitos para isolar o quadrote.

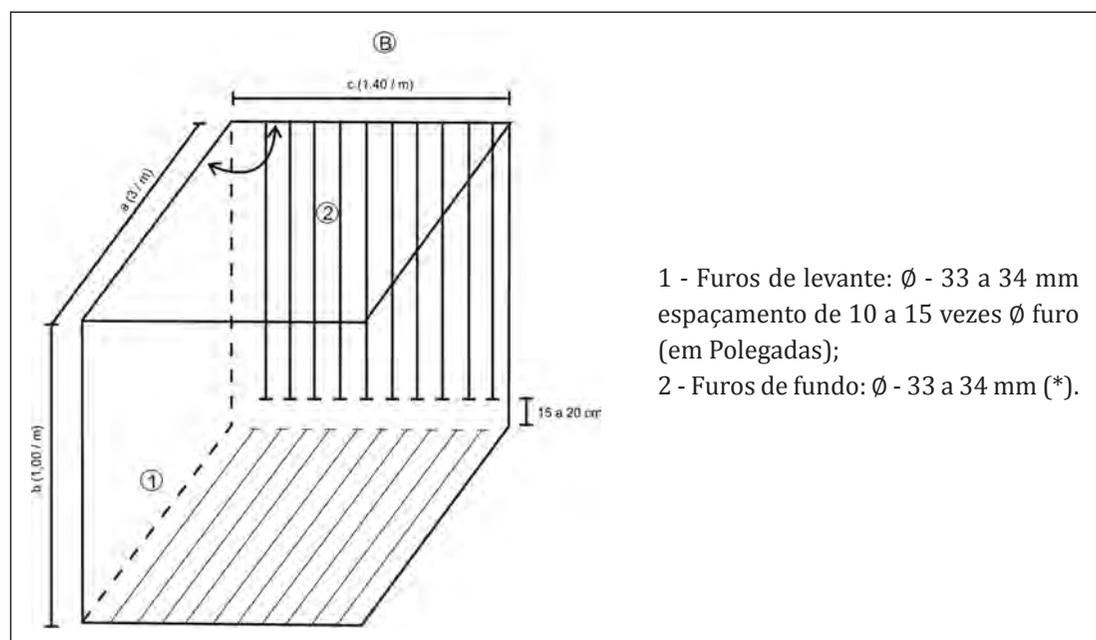


Figura 61 - Cortes Primários no maciço.

Tipos de perfuração na produção de rochas ornamentais

Perfuração primária: Nesta etapa, o objetivo principal é a produção de blocos (painéis) de grandes dimensões a partir do maciço, podendo chegar às centenas de metros cúbicos, sempre com o cuidado de não danificar a rocha. Neste estágio a principal preocupação é o desenvolvimento das bancadas e a formação das gavetas (Fig. 62). Se não houver orientação da estrutura da rocha, são realizados furos verticais ou de bancadas (podem ter pequena inclinação) e furos horizontais (de levante) com espaçamento adequado (conforme visto anteriormente). Os furos verticais devem terminar em um mesmo horizonte (nível), 15 a 20 cm acima do nível dos furos de levante.

Para realização do desmonte é necessário que as laterais do maciço, no local que vai ser produzido o painel, estejam com alívio. Esse alívio pode ser natural, quando há uma fratura no maciço, ou pode ser produzido por várias técnicas. Pode-se dizer que essa é a fase do processo produtivo que comporta maior grau de mecanização dos trabalhos.

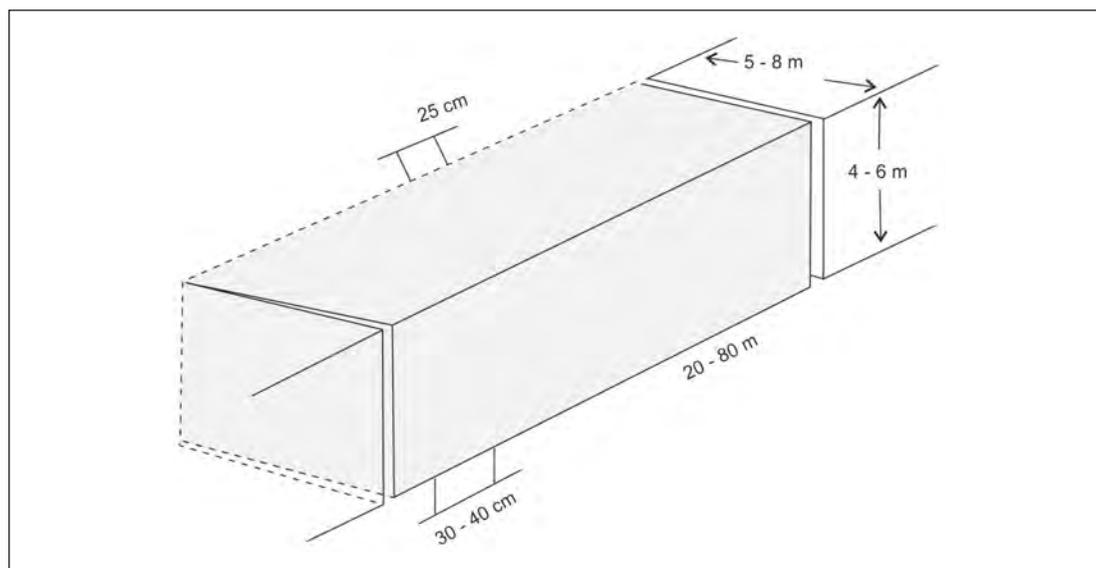


Figura 62 - Primeiro Estágio/Perfuração Primária. Adaptado de Jimeno, 1996.

Perfurações secundária, terciária e quaternária: após a liberação do painel, ocorrida na etapa anterior, tem início a sequência de perfurações e desmontes até se chegar ao produto final que é o bloco com as medidas dentro do padrão de comercialização (figuras 63, 64 e 65). A esta sequência de operações dá-se o nome de desdobramento. São empregadas perfuratrizes de coluna sobre trilhos e perfuratrizes manuais. No último estágio de perfuração recorre-se ao menor diâmetro de perfuração possível, de modo a minimizar as perdas (os blocos são cubados pelas menores medidas); também são utilizadas ferramentas manuais auxiliares (cunhas ou kit quebra pedra, ponteiros etc). Nessas operações, quando necessário o uso de explosivo restringe-se ao cordel detonante.

Deve ser dada muita atenção ao posicionamento (alinhamento e nivelamento) e ao travamento das perfuratrizes, não apenas para garantir um bom desempenho do equipamento e assim assegurar a obtenção de um produto de alta qualidade, como também por medida de segurança. Devem ser observadas todas as recomendações pré-operacionais, bem como as técnicas, para operação de cada equipamento.

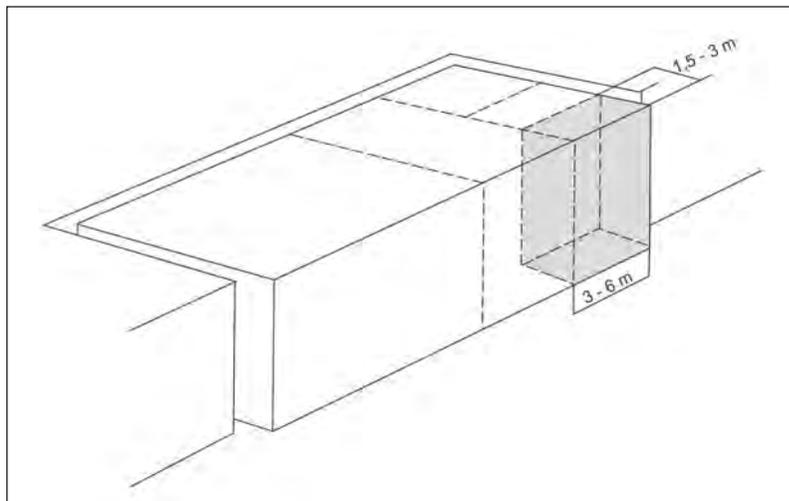


Figura 63 - Segundo estágio/Perfuração secundária. Adaptado de Jimeno, 1996.

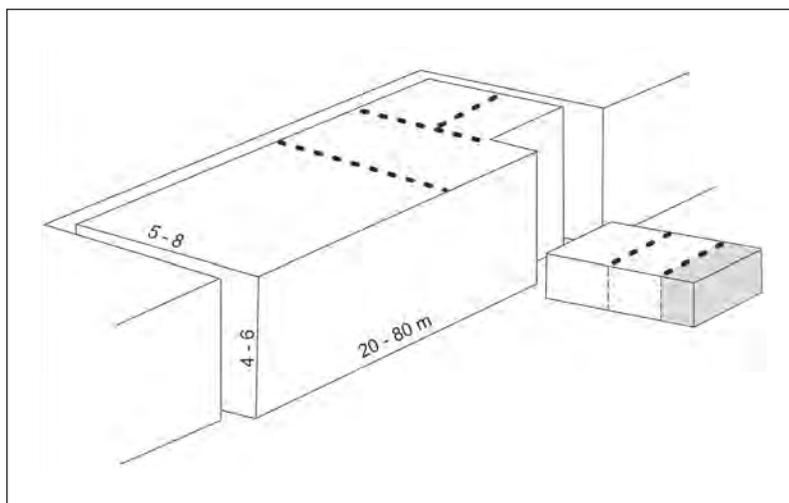


Figura 64 - Terceiro estágio/Perfuração de acabamento (para aparelhamento). Adaptado de Jimeno, 1996.

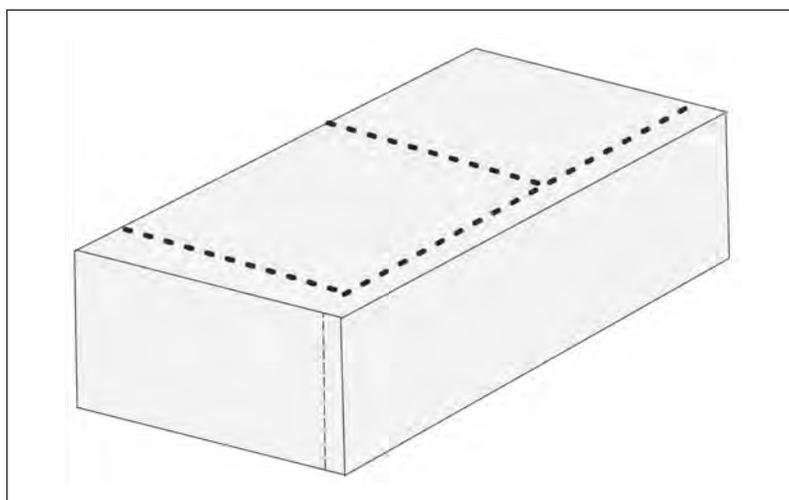


Figura 65 - Quarto estágio/Fase de acabamento. Adaptado de Jimeno, 1996.

6.3. Tecnologia de perfuração contínua

A perfuração contínua constitui-se em mais uma tecnologia baseada na perfuração sem uso de explosivo e que atualmente apresenta ótimos níveis de eficiência.

Esta técnica comporta a execução dos furos justapostos, de modo tal a obter um plano de ruptura contínuo ou interrompido de aberturas suficientemente fracas, para permitir um fácil destaque por tração (Figura 66). A necessidade de um perfeito paralelismo e com planaridade do furo põe limites evidentes ao longo do comprimento.



Figura 66 - Detalhe de corte realizado com furos contínuos.

O processo de talho contínuo consiste em dois passos: primeiramente se faz uma série de furos de 64 mm de diâmetro, com espaçamento igual ao diâmetro das furações e, em seguida, o espaço entre os furos é perfurado utilizando bit de 76 mm de diâmetro, obtendo-se uma fenda com aproximadamente 70 mm de espessura.

Esta tecnologia utiliza um equipamento sofisticado e específico para talho contínuo, normalmente em rocha granítica, denominado de “*slot drill*”, que através de rotação contínua e reversível e percussões sobre a broca, promove uma fenda contínua por toda a linha de furos. A rotação reversível facilita a introdução e retirada das hastes, para alongar a broca e retirá-la da perfuração concluída.

Este tipo de perfuração utiliza brocas de extensão, que podem ter seu comprimento aumentado pela adição de hastes, bastando acrescentar uma nova haste rosqueada na última do conjunto já introduzido no furo e prosseguir com a furação.

O bit é o elemento que efetivamente realiza o trabalho de quebra da rocha, sendo calçado com botões de metal duro. Durante a perfuração os botões se desgastam frontal e lateralmente, perdendo sua forma original semiesférica. Portanto, para se manter a velocidade de penetração e a economia no processo, os botões devem ser afiados, quando o achatamento dos mesmos atingir determinados limites práticos (Fig. 67).



Figura 67 - Bits de perfuração montados nas hastes.
Foto: CETEM/MCTI, 2012.

A tecnologia com furos contínuos apresenta bons níveis de eficiência na abertura de canais, mas o seu emprego é pouco observado nas pedreiras do Brasil, por apresentar um custo x benefício pouco atrativo.

Sua competitividade em relação ao *flame-jet* é bastante evidente nas aberturas de canais, revelando-se extremamente vantajosa. Outra vantagem que apresenta, reside no fato desta representar a solução alternativa ao uso do *flame-jet* nas proximidades de áreas urbanas, ou ainda, quando persistem condições desfavoráveis da rocha, tais como: textura, vitrificação, trincas por superaquecimento, realização de rebaixos etc. Há algumas limitações, em bancadas altas, quando existem irregularidades na superfície de apoio para o equipamento, como é o caso da lavra por painéis verticais.

6.4. Técnica de divisão através de cunhas

Uma das técnicas amplamente empregada é aquela que utiliza os dispositivos com cunhas. O emprego de cunhas inseridas em furos alinhados é uma das mais clássicas técnicas de corte, pois desde os tempos da Antiga Grécia, tal prática é utilizada, para provocar a ruptura de uma rocha.

Nas rochas ornamentais, as cunhas são responsáveis pelas operações de subdivisão da rocha de acordo com planos pré-estabelecidos, geralmente, direcionados nos planos preferenciais de orientação dos minerais. Esta técnica de corte é utilizada, principalmente, nas fases finais de recorte e esquadreamento dos blocos ou ainda nas operações de recuperação de blocos na lavra de matacões. Sua limitação encontra-se na execução de cortes em superfícies maiores.

Na Europa (Portugal, Itália e Espanha) a técnica de corte mecânico, através de cunhas, possui emprego principalmente nas operações finais de obtenção dos blocos comercializáveis. Embora esta técnica acarrete irregularidade na superfície cortada, com uma considerável perda no volume vendido, este procedimento possui preferência devido ao seu custo reduzido, até o momento em que o emprego de técnicas mais modernas não lhe retirem a viabilidade econômica. Existem duas tecnologias por meios mecânicos de utilização de cortes de rochas ornamentais através de cunhas: manuais e hidráulicas.

Cunhas Manuais

As cunhas manuais, também chamadas de “Pichote”, são constituídas por três elementos a saber: a própria cunha e de duas chapas metálicas (contracunhas) de seção longitudinal em ângulo, entre as quais a cunha é introduzida. Estes elementos quando introduzidos nos furos sob pressão, transmitem uma tensão às paredes dos furos. A sequência desta operação ao longo da linha de furos produz uma linha preferencial de fraturamento, o que consequentemente provoca a ruptura do prisma ou do bloco (Fig. 68).

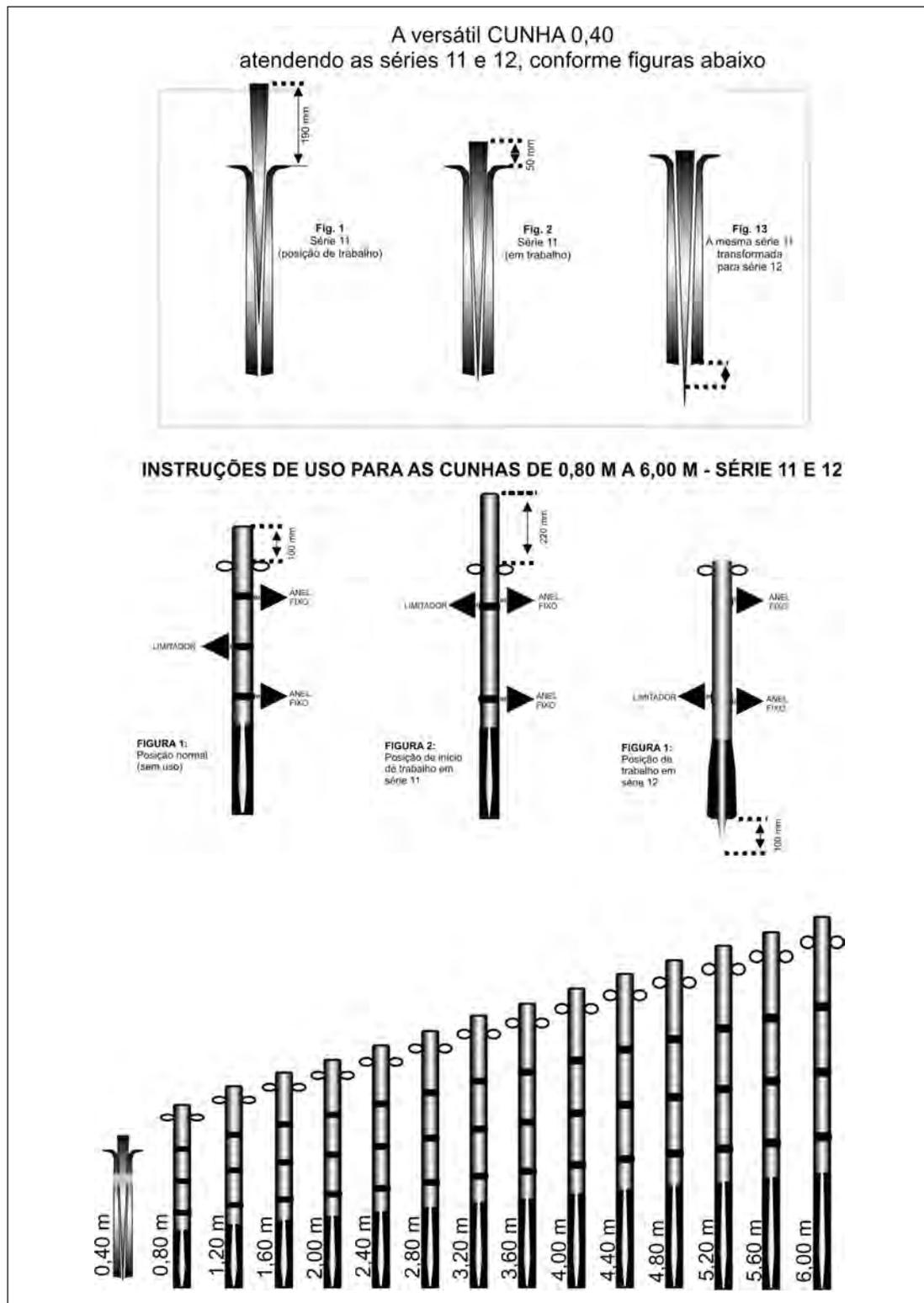


Figura 68 - Instruções de uso para as Cunhas de 0,80 M A 6,00 M – Série 11 e 12.

Existe outro tipo de cunhas manuais, ou seja, as denominadas de: tira fundo, as quais são empregadas em cortes de blocos com grande altura e que apresentam dificuldades de separação ao longo do plano de ruptura previsto. Nestes casos as contracunhas são introduzidas nos furos até uma ter profundidade de tal modo que os esforços à tração no plano de fratura não sejam gerados apenas nas proximidades da superfície (Fig. 69).

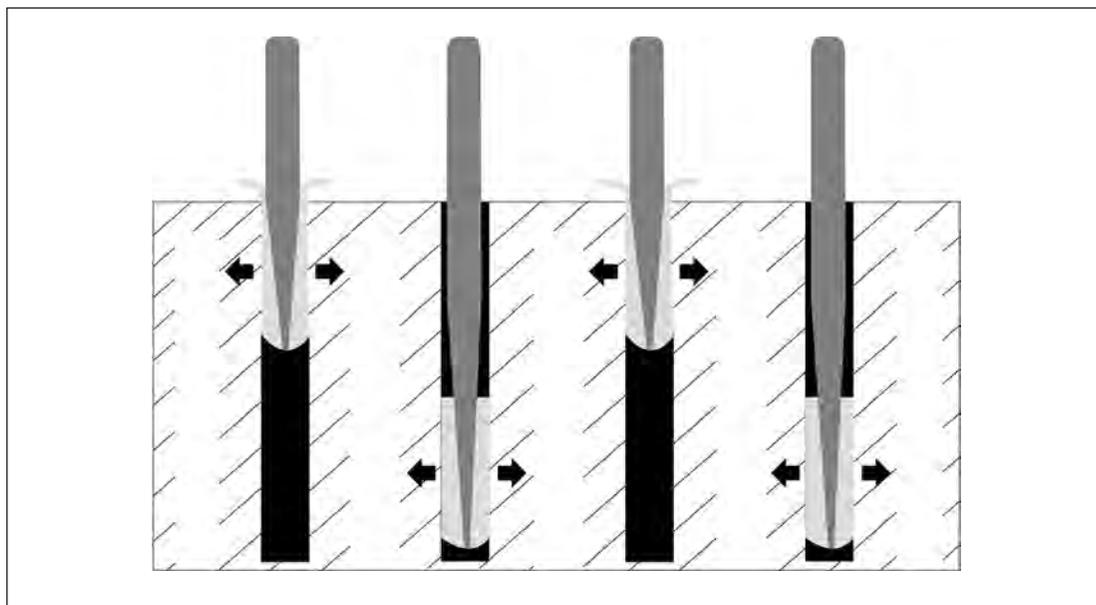


Figura 69 - Cunhas e contracunhas. Elaboração dos autores.

Para facilitar o trabalho das cunhas de modo a que as mesmas possam produzir um plano de corte contínuo e constante deve-se sempre que possível raiar os furos. Raiar um furo nada mais é do que uma operação que consiste em marcar no furo uma linha preferencial de ruptura de modo a que esta seja o mais uniforme possível.

Cunhas Hidráulicas

Atualmente também se utilizam às chamadas cunhas hidráulicas em trabalhos de lavra de rochas ornamentais. Basicamente estas cunhas são constituídas por uma bomba hidráulica de alta pressão e por vários cilindros hidráulicos, cada um deles unido a bomba através de mangueiras flexíveis reforçadas de alta pressão, com a bomba sendo acionada por um motor elétrico, ou a diesel, ou pneumático. Cada cilindro é composto de um macaco hidráulico de efeito duplo, que funciona sob uma pressão hidráulica de 50 MPA (Mega Pascal/1 MPA=10 kg cm²) e de um conjunto de cunha e contracunha na sua parte inferior. O embolo do pistão ao descer empurra a cunha que se encontra entre as contracunhas na boca do furo, com grande força. Existem no mercado vários tipos de cilindros hidráulicos que possuem forças de ruptura de até 365/t (Fig. 70).

São utilizados dois tipos de cunhas hidráulicas: *Stander* – com ângulo muito agudo, destinadas a rochas mais duras e cuja ação proporciona uma separação relativamente pequena a partir de uma alta força de ruptura e *Para Rochas Medianamente Duras* – com ângulo obtuso, cuja ação proporciona uma separação muito maior que a do tipo anterior (*stander*), a partir de uma força lateral mais baixa.

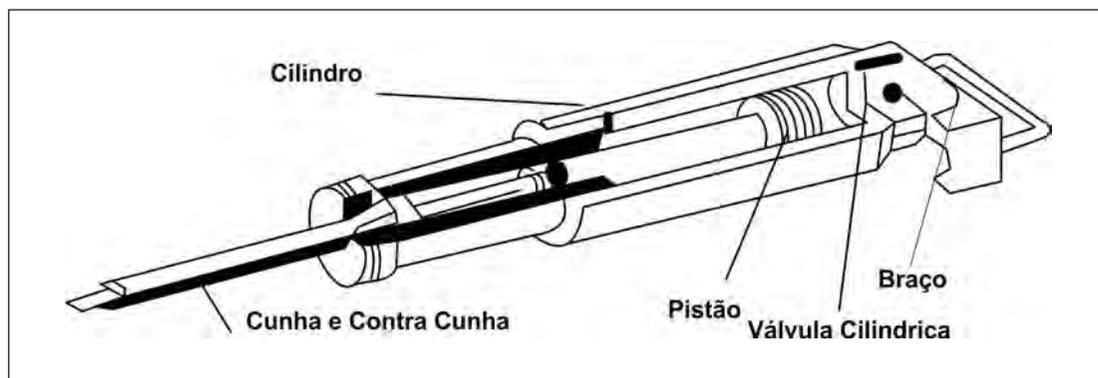


Figura 70 - Cunha e contra-cunha hidráulica.

A central hidráulica pode estar locada em uma plataforma de fácil manobra, constituída de um simples chassi feito de tubos e placas de aço, com rodas pneumáticas e acionamento elétrico, a diesel ou a gasolina. Cada central hidráulica pode acionar mais de uma cunha hidráulica, dependendo da potência instalada e da capacidade do tanque do fluido hidráulico. Equipamentos convencionais geralmente podem acionar de uma a oito cunhas. Recentemente foi colocado no mercado um equipamento que pode ser montado em trator ou carregadeira, equipamento este que dispõe de um braço articulado no qual é possível instalar muitas cunhas (Fig. 71).

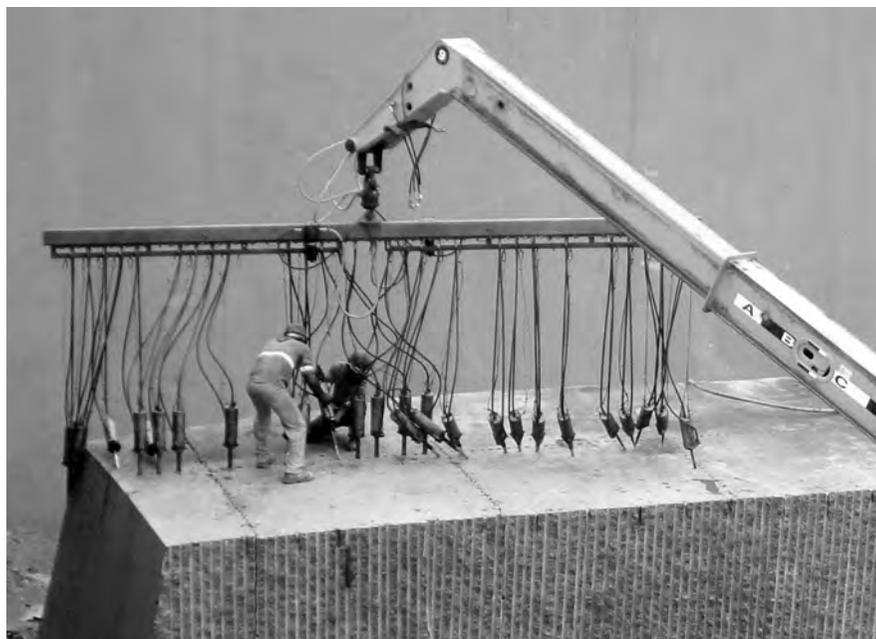


Figura 71 - Uso de cunhas hidráulicas montadas em trator com braço. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

As cunhas hidráulicas são fabricadas de acordo ao diâmetro dos furos, ou seja de 24 a 32 mm, com seu comprimento variando de 100 a 400 mm. O peso de cada cunha é da ordem de 8 kg, sendo que cada uma delas trabalha em conjunto a mangueiras de 1,20 m, capazes de suportar pressões de 20 MPA (200 kg/cm²).

6.5. Técnica de divisão com massa expansiva

A técnica que emprega o uso de agentes expansivos é utilizada no Brasil desde o final da década de 1990, na maioria dos casos, diretamente sobre as painéis e blocos.

No Brasil, este método de desmonte não era utilizado para rochas ornamentais. Neste setor, seu emprego relata pequenos ensaios exploratórios para desmonte de rochas sem a preocupação de preservar o bloco como produto acabado da mina. Entretanto, a partir de 1996, ensaios foram realizados em pedreiras de rochas ornamentais em alguns Estados (Espírito Santo, Bahia e Ceará), e esta técnica mostrou bom resultado no corte de blocos. No entanto para cortes longos de bancada apesar de ter mostrado resultados satisfatórios do ponto de vista técnico, somente tornou-se viável a partir do ano 2000.

Em uso atualmente no mercado nacional, a massa expansiva revolucionou a extração de blocos, contribuindo significativamente para um melhor desempenho operacional nas pedreiras, tanto na extração em maciços rochosos, como na extração de capeados e matacões, e nos mais diversos tipos de materiais, sejam granitos das mais variadas cores e texturas.

Trata-se de um produto em pó com composição química definida em função da temperatura ambiente, e que, antes do uso, deve ser misturado com água, na proporção especificada pelo fabricante. Inserida nos furos, esta massa irá expandir-se liberando espetaculares quantidades de energia, de modo progressivo e gradual, promovendo a ruptura da rocha ao longo da linha de furos.

Para preparação do agente expansivo é necessário apenas um recipiente, com capacidade suficiente para misturar uma quantidade de 10 kg do produto com água, na proporção de 33% em peso, ou seja, 3 litros de água para cada saco de 10 kg dissolvido. O produto deve ser adicionado sempre sob agitação, alcançando-se uma pasta cremosa, fluida e homogênea, sem grumos. Óleo, graxa ou substâncias orgânicas devem estar ausentes no recipiente e na água de mistura. O carregamento deve ser realizado logo após a preparação da mistura, com os furos limpos e assoprados, livre de água e sujeiras (Figs. 72, 73 e 74).



Figura 72 - Preparação e aplicação de massa expansiva. Foto: José R. Pinheiro, 2003.



Figura 73 - Carregamento com massa expansiva em furo vertical. Foto: José R. Pinheiro, 2003.



Figura 74 - Corte de levante efetuado com argamassa expansiva. Foto: José R. Pinheiro, 2003.

A massa expansiva, aplicada ao longo de furos alinhados e devidamente espaçados, exerce nas paredes dos furos uma pressão de expansão, em todas as direções, agindo como um esforço compressivo. As forças dessa compressão induzem reações de tensões trativas, no plano perpendicular àquelas forças compressivas atuantes no plano dos furos, promovendo, desta maneira, a ruptura da rocha por tração.

O tempo de reação, para geração de um corte, varia em função da temperatura ambiente, do espaçamento dos furos, das características petrológicas e mecânicas da rocha, além do seu aspecto textural, e da quantidade e tipo de massa a ser usada. A pressão de expansão exercida pelo produto pode chegar a 800 kg/cm^2 .

A opção pelo agente expansivo deve-se pela excelente relação custo x benefício que proporciona, ou seja, aumento da produtividade, através de maiores espaçamentos praticados (distância entre furos da mesma linha), com redução dos custos operacionais, além de garantir a regularidade das superfícies cortadas e preservar a integridade físico-mecânica da rocha, obtendo-se como resultado uma maior recuperação de blocos, com diminuição da geração de rejeito.

Nas pedreiras de maciço rochoso, a massa expansiva tem sido amplamente consorciada com a tecnologia do fio diamantado, sendo esta última utilizada nos cortes de isolamento de volumes primários de rocha e o agente expansivo empregado no desdobramento de filões/painéis. A viabilidade técnica e econômica deste consórcio é notória.

É uma tecnologia limpa, não poluidora e de fácil emprego, podendo ser destacada a maior segurança dos trabalhadores, comparada ao uso de material explosivo, além de não ser um produto controlado.

A distância entre os furos nos quais se coloca a massa varia em função do diâmetro dos mesmos ou seja de 32 mm a 50 mm e do tipo de material a ser cortado ou demolido. Para a maioria das rochas existentes e para o cimento armado a distância entre os furos varia de 30 a 80 cm em função do diâmetro dos furos.

A seguir será apresentada a aplicação mais comum de uso da massa expansiva, desmonte de bancada em lavra a céu aberto em rocha ornamental. As perfurações de diâmetro aproximado 30 mm podem ser preenchidas de modo alternado, dependendo da resistência da rocha.

O uso de massa expansiva no desmonte de bancadas em processos de lavra a céu aberto em rocha ornamental é um tipo de operação possível de ser realizada com a mesma. Neste caso, contudo, devem ser observadas algumas disposições quanto à inclinação dos furos, segundo o esquema abaixo indicado. Observar que as medidas de espaçamento e afastamento são idênticas. Para rochas graníticas o espaçamento ideal é da ordem de 20 cm, enquanto pra rochas calcárias o espaçamento aconselhável é de 30 cm entre os furos (Fig. 75).

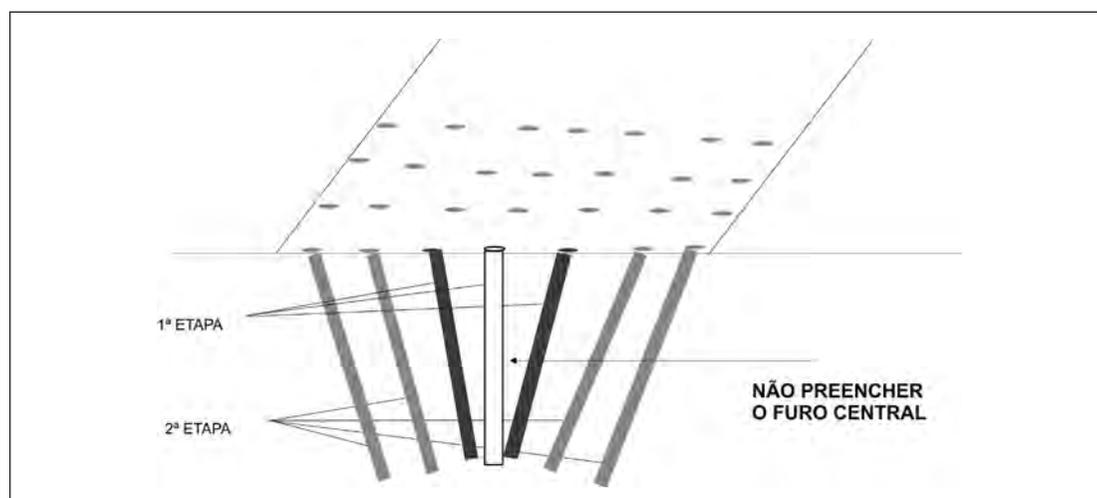


Figura 75 - Esquema de desmonte com argamassa expansiva. Elaboração dos autores.

6.6. Fio helicoidal

A tecnologia de corte por fio helicoidal, aplicada com sucesso no passado em algumas pedreiras norte-americanas e italianas, é considerada hoje obsoleta e encontra utilização ocasional somente em alguns países em desenvolvimento que possuem dificuldades de absorver técnicas de corte mais modernas.

Empregado na realização de cortes primários para extração de mármore desde 1895, o fio helicoidal consiste de três arames de aço trançados helicoidalmente com diâmetro externo de 3 ou 5 mm, responsável pelo transporte de uma mistura abrasiva constituída por areia e água, que atritada diretamente contra a rocha provoca a penetrabilidade do fio na mesma. A areia deve ser bastante silicosa, com granulometria entre 0,5 e 1,0 mm. A polpa abrasiva deve manter uma proporção em peso de 70% de água e 30% de areia. A água age como refrigerador do fio, além de facilitar a circulação do abrasivo.

A partir de meados da década de 1990, no Brasil, grande parte das pedreiras de mármore, principalmente aquelas localizadas no município de Cachoeiro do Itapemirim-ES, buscaram informações tecnológicas, inclusive através de visitas técnicas a países com tradição na extração de mármore, como Itália e Portugal, e, através da análise custo x benefício, substituíram ou estão substituindo o fio helicoidal pelo fio diamantado.

No Brasil, mais particularmente no Estado da Bahia, empresas que exploram o mármore Bege Bahia até pouco tempo atrás ainda utilizavam esta tecnologia, sendo a viabilidade econômica sustentada pelo fato de tratar-se de utilização em rochas macias e com pequena concentração de quartzo, nas quais o corte pode ser feito com relativa facilidade, através do uso de areia quartzosa como elemento abrasivo. Mesmo sendo material macio acabou sendo substituído pelo fio diamantado, com maior velocidade de corte e menor custo operacional. Nas rochas silicáticas, nas quais a concentração de quartzo é nitidamente superior, seria necessário o emprego de carborundo com elemento cortante o que elevaria o custo operacional.

O fio helicoidal baseia-se no movimento, em circuito fechado, de um fio construído por três cabos de aço na forma de hélice, tencionado contra a superfície rochosa a ser cortada (Fig. 76). O fio helicoidal, puxado por um motor, corre através de roldanas a uma velocidade de 10 a 15 m/s e sob tensão de 150 a 250 kg. O plano de corte é orientado através de poços, furos de grandes diâmetro e trincheiras laterais, nos quais se introduz o fio para início do corte. Para a maximização do avanço e resfriamento do fio utiliza-se polpa abrasiva de água com areia. A areia deve ser essencialmente quartzosa e com grãos angulosos, de diâmetro entre 0,1 e 1,0 mm. A mistura da polpa deve manter constante uma proporção em peso, de 70% de água e 30% de areia.



Figura 76 - Uso do fio helicoidal no Mármore Bege Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2007.

O sistema de alimentação da mistura abrasiva é normalmente constituído por dois reservatórios: um com areia e água e outro do qual sai apenas água em quantidade convenientemente controlada, para manter constante o percentagem de sólido da poupa e também uma boa refrigeração do fio. A vazão de água gira em torno de 3 litros/minuto, com alimentação de areia cerca de 2 kg/minuto.

O fio helicoidal é mantido esticado por um equipamento denominado “carro esticador”. Este é uma vagoneta colocada sobre trilhos em um plano inclinado, com uma carga de 2 a 3 t, dotado de uma polia pela qual passa o fio. O devido tensionamento do fio (150 a 250 kg) é necessário, para que este exerça uma pressão mínima sobre o abrasivo contra a rocha, e assim, com o acomodamento da areia no seu vazão helicoidal e, através do seu movimento de translação, o corte venha a ser efetuado.

O conjunto de acionamento do fio helicoidal é composto basicamente de um motor elétrico (10 a 15 hp) a diesel, ligado por correias a uma polia responsável pelo seu movimento de translação, cuja velocidade é de 10-15 m/s.

Após perder o contato com o corpo rochoso, ou seja, sair do corte e retornar, o fio helicoidal passa por um sistema de polias estrategicamente posicionadas, com a função de realizar a completa refrigeração do fio, em contato com o ar. Para tanto, a rede de arame normalmente possui um comprimento considerável, variando de 900 a 1.500 m, conforme a zona de corte (Fig. 77).

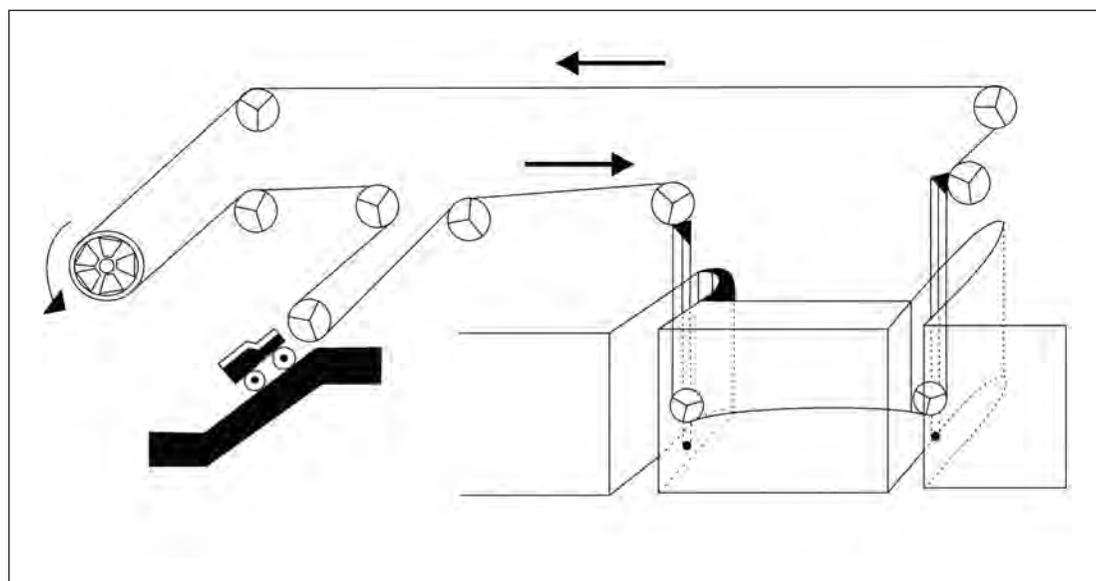


Figura 77 - Esquema da operação de corte com fio helicoidal. Elaboração dos autores.

Devido à baixa velocidade de corte apresentada pelo fio helicoidal (0,5 a 1,0 m²/h) associada às dificuldades de controle do mecanismo e com o advento da tecnologia do fio diamantado, as pedreiras de mármore de todo o mundo praticamente o aboliram totalmente. A tabela 7 mostra algumas características de utilização do fio helicoidal nas operações de corte no mármore.

Este tipo de tecnologia foi utilizado por várias décadas nas operações de corte das rochas carbonáticas, até o aparecimento da tecnologia de corte por fio diamantado. As rochas carbonáticas são preponderantemente lavradas com utensílios de corte contínuo, em particular com o fio helicoidal associado ao cortador a corrente diamantada, entretanto, possui limitadas possibilidades de aplicação no caso das rochas silicáticas.

Tabela 7 - Parâmetros operacionais de corte com fio helicoidal no mármore.

Modalidade Operacional	Parâmetros
Comprimento do fio (km)	1,0 - 4,0
Diâmetro do fio (mm)	3,5 - 5,0
Velocidade periférica do fio (m/s)	6,0 - 18,0
Potência instalada (kW)	10,0 - 40,0
Velocidade de corte (m ² /h)	0,5 - 1,5
Comprimento do corte (m)	10,0 - 20,0
Consumo de água (l/m ²)	300 - 400
Consumo de abrasivo (kg de areia/m ²)	100 - 150
Tipo de abrasivo	areia ou carborundo

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari, 1999.

6.7. Flame-jet

O *flame-jet* utilizado como tecnologia de corte contínuo, consiste em uma câmara de combustão revestida de material refratário, na qual são inseridos simultaneamente o comburente (ar comprimido = 1.500°C ou oxigênio = 2.500°C) e o combustível (querosene ou óleo diesel) nebulizado que proporciona uma chama análoga àquela produzida pelo maçarico oxiacetilênico. A temperatura de saída do gás varia de 1.200 a 1.300°C, ou mais, no caso da utilização de oxigênio como comburente.

O processo de corte na rocha, isto é, a desagregação, não se obtém por fusão, mas sim pelo fato de a elevada temperatura promover a dilatação dos minerais que, estando em uma situação de confinamento, não pode expandir-se deliberadamente, ocasionando assim, por crepitação, o rompimento de acordo com as superfícies cristalográficas. A aplicação do *flame-jet* é reconhecidamente reservada às rochas plutônicas e particularmente àquelas intrusivas ácidas (granitos) constituídas de minerais com revestimento cristalino completo.

A tabela 8 mostra alguns dados produtivos registrados na utilização do *flame-jet* em rochas graníticas.

Tabela 8 - Parâmetros técnicos e operacionais de corte com *flame-jet* nos granitos.

Modalidade Operacional	Parâmetros
Temperatura da chama (°C)	1500 - 2500
Largura do corte (cm)	10
Avanço do corte por passadas (mm)	6,0
Velocidade de corte (m ² /h)	0,5 - 1,5
Inclinação (graus)	60
Consumo de ar comprimido (m ³ /min)	10
Pressão do ar comprimido (MPa)	0,85
Consumo de combustível (m ³ /h)	0,045

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari, 1999.

Tecnologia utilizada para o isolamento de volumes primários de rocha granítica (cortes verticais e horizontais). O sistema de corte por *flame-jet* consiste na abertura de uma fenda com espessura de 10 cm, largura e comprimento variável, através da chama térmica do maçarico (1.500°C), que provoca na rocha uma dilatação diferencial dos minerais, que estão sob a ação do calor, sendo expulsos sob a forma de cavacos.

O *flame-jet* funciona a base de ar comprimido (vazão de 250 c.f.m.) e óleo diesel (consumo de 35 litros/hora). Utiliza reservatório de óleo pressurizado e é composto de gaste e cabeça de combustão (Fig. 78). O *flame-jet* requer um operador para realizar o corte de maneira contínua. Assim, a precisão do corte depende muito da habilidade do usuário. A velocidade média de corte nos granitos brasileiros varia de 0,7 a 1,0 m²/h. Obtêm-se maior sucesso com esta tecnologia em rocha com alto teor de quartzo e pequena incidência de biotita. Podemos citar o baixo investimento inicial como grande responsável pelo seu emprego até os dias de hoje.

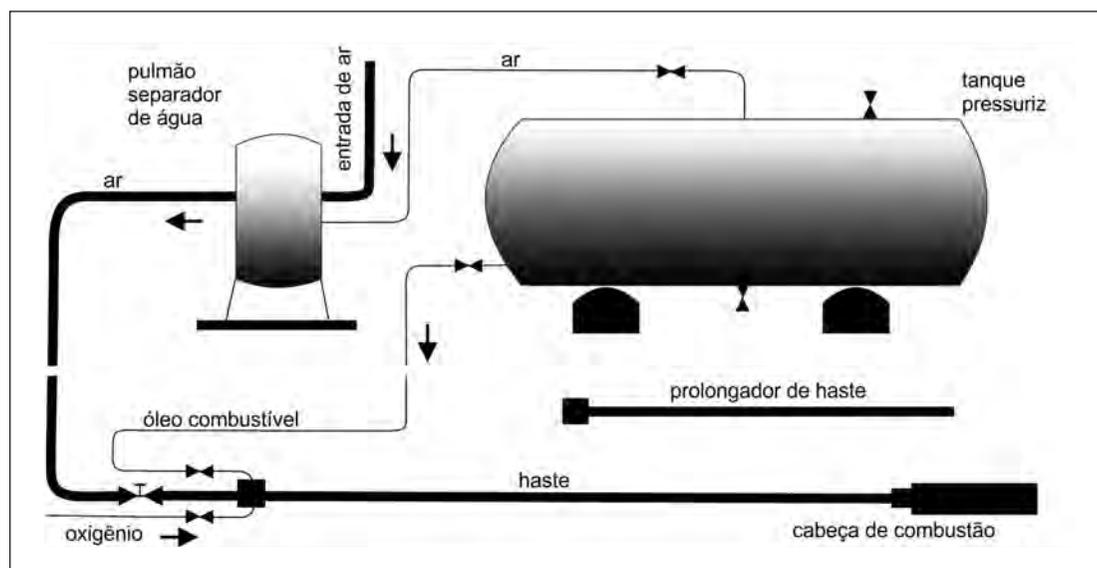


Figura 78 - Esquema de funcionamento do *flame-jet*.

O que limita o uso da chama térmica são as desvantagens que apresenta, tais como: elevado custo operacional, devido a baixa velocidade de corte e ao elevado consumo de óleo diesel; danificação na rocha, com incidência de microfraturas em até 30 cm nas laterais do corte, dependendo do tipo de rocha, provocando numa diminuição na recuperação de blocos; restrições para utilização em alguns tipos de granito; e acentuado impacto ambiental, com geração de barulho excessivo (130 a 140 decibéis) e produção de gás e poeira.

Embora esta tecnologia ainda seja largamente difundida nas pedreiras de granito, suas perspectivas futuras de utilização ficam comprometidas pelas desvantagens apresentadas. Atualmente vem sendo substituída progressivamente pelo fio diamantado.

Esta técnica foi experimentada com sucesso nos Estados Unidos, no taconito de Minnesota. Nas pedreiras mais modernas, o *flame-jet* é utilizado apenas para cortes cegos de abertura lateral das bancadas. A técnica só pode ser aplicada em rochas silicáticas e preferencialmente homogêneas, pois o corte é promovido através de dilatação térmica diferencial, por crepitação dos silicatos e, sobretudo, do quartzo. Concentrações de minerais máficos e vesículas de quartzo, que caracterizam heterogeneidades texturais, podem sofrer vitrificação e prejudicar o corte. Através da lança que suporta o bico de chama, executam-se cortes com até 8 m de profundidade, sendo de 8 a 10 cm a espessura do corte. Pela ação do calor ficam prejudicadas as duas bandas laterais ao corte, havendo assim perda de uma faixa com espessura variável entre 10 a 30 cm (Fig. 79).



Figura 79 - Emprego do *flame-jet* na realização de corte horizontal. Foto e desenho: CETEM/MCTI.

A introdução do *flame-jet* nas pedreiras de granito ofereceu a possibilidade de solucionar satisfatoriamente o problema da abertura de canais e rebaixos. Entretanto, é uma tecnologia ultrapassada. Embora seja ainda utilizada pelas empresas que visam uma utilização imediata a baixo custo, as perspectivas futuras ficam condicionadas a diversos fatores, como por exemplo: o alto custo operacional (combustível), limitações de uso em função da característica da rocha (anomalias, veios, falhas e fraturas), impacto ambiental acentuado (ruídos, produção de poeira tóxica), necessidade de vínculos organizacionais (espaços amplos para seu desempenho excluindo a possibilidade das demais operações na mesma área).

Os problemas de aplicação do corte com *flame-jet* relacionam-se ao alto nível de ruído (130 a 140 dB), calor e produção elevada de pó. Na Europa, os custos operacionais abrangendo equipamentos, combustíveis e mão de obra são da ordem de US\$ 100.00/m².

Em uma avaliação do setor extrativo do Brasil, enfocando os granitos, através de análises das jazidas e/ou minas, nos seus mais diversos aspectos de tecnologias de lavra utilizadas nas pedreiras do país, destaca-se a tecnologia de corte por *flame-jet* como sendo hoje uma tecnologia obsoleta, a qual os empresários ainda apreciam e utilizam, devido à simplicidade da sua utilização e o baixo investimento para aquisição do equipamento mas, não observam as perspectivas futuras e os seguintes fatores: elevado custo energético, as limitações ou dificuldades de emprego correlacionadas às características da rocha (diferenciações mineralógicas anômalas, veios, falhas e fraturas), a irregularidade das superfícies produzidas, os danos no material, algumas vezes, em grandes extensões, o elevado impacto ambiental e a introdução de mudanças organizacionais nos ciclos de trabalhos de lavra, em virtude da necessidade de amplos espaços para o seu uso, impedindo outras operações na área interessada do corte.

6.8. Jato d'água

A tecnologia de corte com jato d'água a alta velocidade, *water-jet*, pode ser considerada como um dos maiores avanços nos campos de corte e desmonte de materiais em virtude de sua flexibilidade e eficiência. Esta aplicação tem sido estendida rapidamente a outros ramos da indústria (VIDAL, 1999).

Na engenharia de minas, a energia hidráulica foi primeiramente usada para escavar rochas macias, usando monitores de baixa pressão. Com o advento da tecnologia de alta pressão começou ser usada a tecnologia *water-jet* para rochas mais duras, abrindo uma nova era na mineração. Posteriormente, seu uso foi ampliado pelo desenvolvimento de jato abrasivo, especialmente para cortes de precisão. Ciccu (1993), com particular referência à rocha ornamental, concluiu, com base nos resultados das investigações de laboratório e julgamento de campo, que o corte com *water-jet* era viável e seguro comparado ao de *flame-jet* e mesmo ao desmonte com explosivos, com vantagens adicionais em termos de engenharia de segurança, automação e impacto ambiental. Sua aplicação na indústria mineral começou na década de 1960 em países como Alemanha, Rússia, Polônia, Inglaterra, China e Estados Unidos, para o desmonte em vários tipos de depósitos minerais.

Os primeiros testes em pedreiras de granito ornamental foram realizados no distrito de Elberton (Georgia, EUA) na década de 1970. Nessa década e na seguinte, diversas empresas e instituições de pesquisa trabalharam no desenvolvimento de sistemas de corte de rochas ornamentais com jato d'água, cujos principais problemas eram o desgaste dos bocais e as bombas necessárias. Em 1984, a Universidade de Missouri-Rolla (UMR) reproduziu o complexo megalítico de Stonehenge em seu campus, utilizando exclusivamente *water-jet* para cortar o granito utilizado. Hoje esta tecnologia é pouco utilizada na extração de blocos, sendo aplicada apenas em algumas pedreiras de granito, nos Estados Unidos e de arenito, na França.

O jato d'água de alta pressão é aplicável para rochas com textura sacaroide, do tipo granular ou granuloblástica. O corte se processa por arranque (escarificação) dos grãos, desagregando a rocha no plano desejado (SUMMERS, 1989). Pesquisadores estudaram a caracterização minero-petrográfica de algumas amostras de granito americano, submetido a ensaios de corte com a tecnologia *water-jet*, e observaram que a dimensão média do grão e a presença de fissuras nos contatos intergranulares são as características de maior influência sobre a desagregação da rocha estudada (AGUS *et al.*, 1990). Bortolussi (1993) estudou a dependência do mecanismo de corte com jato d'água em relação à porosidade, em um granito de granulação fina da região da Sardenha (Itália) e verificou, para o material estudado, que existe uma boa correlação entre o resultado do corte e os dados relativos à porosidade. Encontrou uma relação do tipo quadrática entre a velocidade superficial de corte e a porosidade relativa aos poros de dimensão inferior a 1 mm.

A experiência industrial para o corte de rocha, tipo granítica, recomenda uma pressão do jato d'água da ordem de 70 a 270 MPa, sendo a precisão e rendimento proporcionais à pressão. Este tipo de corte aplicado para rochas mais cristalinas, como quartzitos, necessitará de mais altas pressões, até 400 MPa.

O sistema de corte é composto por um conjunto de bombas hidráulicas e motor de alimentação, de alta pressão, de uma haste que sustenta o bico injetor e de uma estrutura de suporte e movimentação. A estrutura de suporte serve também como guia da haste e tem a função de regular os movimentos que devem ser executados, uma vez que o corte é realizado por passadas sucessivas (ALENCAR *et al.*, 1996). O jato de água filtrada e pressurizada sai por uma ponta de diâmetro de 0,5 a 1 mm e, para a execução do corte, deve se manter uma distância do bico de jato até a rocha de 2 a 10 cm (CICCU, 1992).

O jato d'água, mediante o movimento oscilatório da ponta, abre canais na rocha que permitem a penetração da haste até o fundo e seu posterior movimento transversal ao longo do plano de corte. As tabelas 9 e 10 apresentam alguns valores de velocidade de corte e energia específica, em função do diâmetro do bico e da pressão da alimentação, na aplicação da tecnologia do *water-jet*, para corte de rocha ornamental.

Tabela 9 - Parâmetros da velocidade de corte em função do diâmetro de saída, para diversas pressões de trabalho (69, 138, 207 e 276 Mpa).

Diâmetro (mm)	VELOCIDADE DE CORTE (m ² /h)			
	69 MPa	138 MPa	207 MPa	276 MPa
0,254	0,03	0,05	0,08	0,10
0356	0,06	0,11	0,16	0,21
0,508	0,13	0,24	0,34	0,44
1.016	0,55	1,04	1,50	1,95
1.270	0,89	1,68	2,43	3,15
1.524	1,32	2,48	3,59	4,66

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari. Extraído de Alencar *et. al*, 1996.

Tabela 10 - Valores de energia específica em função do diâmetro de saída, para diversas pressões de trabalho (69, 138, 207 e 276 Mpa).

Diâmetro (mm)	ENERGIA ESPECÍFICA (kW/m ² /h)			
	69 MPa	138 MPa	207 MPa	276 MPa
0,254	88	97	170	200
0,356	84	127	161	191
0,508	80	121	153	182
1,016	72	109	139	164
1,270	70	105	134	159
1,524	68	103	131	155

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari. Extraído de Alencar *et. al* (1996).

Algumas vantagens da técnica com *water-jet* residem em seu menor impacto ambiental pela redução de poeira e resíduos, na segurança dos trabalhadores e na evidente redução do custo operacional de mão de obra que significa a principal incidência das outras técnicas, com exceção do *flame-jet*. Embora devam ser controlados rigorosamente os parâmetros operacionais, como pressão e vazão d'água, velocidade rotacional dos jatos, velocidade de translação etc., isto é hoje feito com equipamentos computadorizados, de forma que não é necessário manter um operador dedicado ao equipamento durante o corte.

A grande vantagem é a seletividade da tecnologia que permite extrair blocos diretamente do maciço, em qualquer local e em qualquer direção de corte, com auxílio de suportes simples. Isso significa que podem se alcançar taxas de recuperação, na pedreira, próximas aos 100%, com grandes benefícios ambientais.

Com tais condições, estimava-se no final do século XX, que a tecnologia *water-jet* seria, nas pedreiras a céu aberto a mais utilizada hoje, porém, por diversas razões isto não aconteceu. Acreditamos que o principal motivo tenha sido o desenvolvimento do fio diamantado que permite produções em grande escala, inatingíveis com jato d'água. Outro motivo pode ter sido, além do alto investimento inicial, o alto custo energético do *water-jet* para obter as pressões necessárias para os cortes e o custo de manutenção, também elevado.

Por outro lado, a flexibilidade e seletividade do jato d'água podem ser muito úteis no futuro, especialmente em ambientes subterrâneos, onde o uso desta tecnologia eliminaria a necessidade de remoção de estéreis, dentre outras vantagens.

A tabela 11 mostra alguns parâmetros operacionais da tecnologia *water-jet* em algumas pedreiras de granito dos Estados Unidos, Canadá e França (ALENCAR et al., 1996).

Tabela 11 - Parâmetros operacionais em pedreiras de granito com *water-jet*.

Pedreira (Localidade)	Potência (kW)	Pressão (Mpa)	Vazão (l/min)	Vel. de corte (m²/h)
Colorado (USA)	30	310	7	1
Georgia (USA)	130	100	60	1,20 – 2,5
S. Dakota (USA)	115	100	41	1,5
Québec (Canadá)	150	138	76	1,7
França	280	240	60	1,5

Fonte: DIGITA - Universidade de Cagliari. Modificado de Alencar et. al, 1996.

6.9. Aplicação da tecnologia mista

A lavra das rochas ornamentais, em particular o granito, geralmente é feita utilizando combinações de diversas tecnologias com o objetivo de maximizar o resultado econômico e conferir a necessária flexibilidade ao ciclo produtivo. No entanto, considerações a critério de racionalidade sugerem o emprego de métodos mais destrutivos, como aqueles baseados no uso de explosivo e do *flame-jet* para a execução dos cortes primários, no que se refere ao destaque da bancada de grande volume, deixando os outros métodos para a subdivisão sucessiva e em particular as operações de retalho e esquadreamento dos blocos. Parece não muito lógico, por exemplo, utilizar o *flame-jet* como uma técnica única para extração direta dos blocos do maciço, enquanto que a proporção do volume utilizável, levando em consideração a extensão da zona danificada, resulta dessa forma inaceitável. Analogamente, sabe-se que é aconselhável evitar o uso do explosivo para subdivisão de volumes inferiores de 40 a 50 m³.

Considera-se pouco racional utilizar tecnologias caracterizadas de elevada precisão (fio diamantado e "*water-jet*") para os cortes primários, deixando a qualidade das superfícies do bloco final com o uso de técnicas mais grosseiras, como aquelas baseadas na perfuração para a etapa de acabamento sucessivo. Vale ressaltar que o estabelecimento e a gestão da lavra, bem como a escolha tecnológica, dependem de fatores de natureza diversa (característica da jazida, condições, topografia do lugar, posição geográfica, área para operação, meio ambiente etc.) que possam orientar a escolha versus soluções diferentes.

O processo produtivo mais frequentemente utilizado consiste no emprego em etapas sucessivas de extração e subdivisão, respectivamente ao destaque do maciço em bancadas de volumes de

rocha da ordem 500 a 2.000 m³ e o corte em painéis de 50 a 100 m³. A seguir, o retalho final dos blocos de volumes de 8 a 15 m³. Nos cortes primários e secundários da abertura da frente de lavra é utilizado o fio diamantado. A subdivisão da bancada em fatias pode ser também executada com explosivo leve como o cordel detonante, mas parece preferível recorrer aos dispositivos de massa expansiva e cunhas para não produzir danos e ter um melhor aproveitamento do material.

Os blocos obtidos por meios das tecnologias tradicionais, invariavelmente, apresentam-se com suas faces rugosas, de acordo com a técnica utilizada. Este aspecto incide negativamente sobre o volume comercial do bloco. As dimensões tomadas correspondem ao menor lado de cada face, que por sua vez, vem descontado geralmente de 5 cm e, portanto, o paralelepípedo inscrito possui um volume muito inferior ao correspondente de todo o bloco. O volume de rocha desprezado, de acordo com o valor de mercado aplicado, pode assumir em alguns casos um valor econômico considerável. O procedimento de valorização se reflete nas operações sucessivas onde a irregularidade do bloco incide desfavoravelmente a começar do transporte que é medido por peso. No caso de um melhor nível de acabamento dos blocos, pode-se minimizar tais problemas que poderão refletir diretamente na fase de serragem e polimento.

Com base na experiência obtida nestes últimos 20 anos, sugere-se a utilização da tecnologia de fio diamantado em substituição a perfuração descontínua com explosivo e *flame-jet* na extração de granito de elevado preço comercial. Em caso de granito de baixo valor comercial, isto também é justificado quando são necessários cortes de áreas maiores para o desmonte de grandes volumes. Atualmente os custos elevados são facilmente amortizados, quando o emprego de tecnologia de fio diamantado implica no aumento da recuperação na lavra se tornando superior ao custo do corte (VIDAL, 1999).

7. Técnicas de tombamento de painéis e movimentação de blocos

A atividade extrativa de rochas ornamentais, além dos equipamentos principais de corte empregados na tecnologia de lavra, necessita do emprego de máquinas robustas para auxiliar no processo de obtenção do bloco – produto de pedreira. As máquinas funcionam nas diversas operações das etapas de lavra a seguir:

- Obtenção de painéis e blocos da pedreira, e movimentação dos rejeitos;
- apoio a movimentação de blocos para carregamento, ou para corte em monofio na pedreira.

Como se sabe, as principais operações produtivas de uma pedreira de rocha ornamental se destacam as tecnologias de perfuração, corte e desmonte. Entretanto, existem outras operações, não menos importantes, essenciais e complementares, que utilizam equipamentos específicos, bem como ferramentas e acessórios adequados. São as operações de movimentação de carga (tombamento, estocagem e carregamento de blocos/remoção de estéril e rejeitos) e acabamento (aparelhamento) dos blocos.

7.1. Tombamento de painéis

O tombamento de painéis e a movimentação de blocos são etapas de operação da lavra que se iniciam uma vez isolados os filões do maciço. Os filões são tombados em “camas” constituídas, na sua maioria, por solo e fragmentos de rocha, previamente preparados com o objetivo de amortecer o impacto de queda. Do filão tombado, também chamado painel, são esquadrejados os blocos.

Geralmente, para o tombamento desses volumes de rocha previamente isolados do maciço, são utilizadas ferramentas ou dispositivos de equipamentos constituídos por:

Macaco hidráulico e braço extensor de bancada:

Este tipo de macaco hidráulico funciona com um cilindro hidráulico que é acionado mediante uma central móvel que permite acionar simultaneamente dois ou mais cilindros de diferentes tamanhos.

A operação consiste em colocar os cilindros entre o maciço rochoso e o painel ou bloco obtido no corte, através da realização de dois pequenos furos para início da operação. Uma vez que a mudança começa, desliza um dos lados do cilindro através do recorte ampliado, dando continuidade ao impulso para alcançar a reversão completa do bloco. A figura 80 mostra o macaco hidráulico empurrando o painel para o tombamento.



Figura 80 - Macaco hidráulico. Foto: José R. Pinheiro, 2003.

Este equipamento é adequado para empurrar painéis ou blocos com uma base de 2,8 a 3 m de largura e altura de 9 e 10 m, respectivamente. Para blocos maiores pode ser utilizado o braço extensor (Fig. 81).

A maior ou menor altura do painel ou bloco não influencia o esforço de despejo, ele sempre será maior do que a largura da base, pelo menos 150%. Caso contrário, o painel deslizaria em vez de tombar.

Assim, para um painel de 3,2 m de largura e 6 m de altura, o comprimento máximo para que se consiga o tombamento com o menor macaco hidráulico é de 8m.



Figura 81 - Braço extensor.
Extraído de DyD, 2013.

Na figura 82 é mostrado um esquema com as etapas de funcionamento deste equipamento.

1. Expansão do braço mecânico para empurrar o painel até 0,80 m, depois colocar uma pedra na abertura.
2. Retração do braço mecânico à posição inicial para instalação de um prolongador de 0,70 m.
3. Expansão do braço mecânico para conseguir um afastamento do painel de 1,50 m; depois a retração do braço e posterior do prolongador de 0,70 m por um de 1,40 m.
4. Expansão do braço mecânico para conseguir uma abertura de 2,10 m. A operação anterior será repetida até o terceiro prolongador que permite uma abertura de 2,80 m e em consequência disso o tombamento do painel.

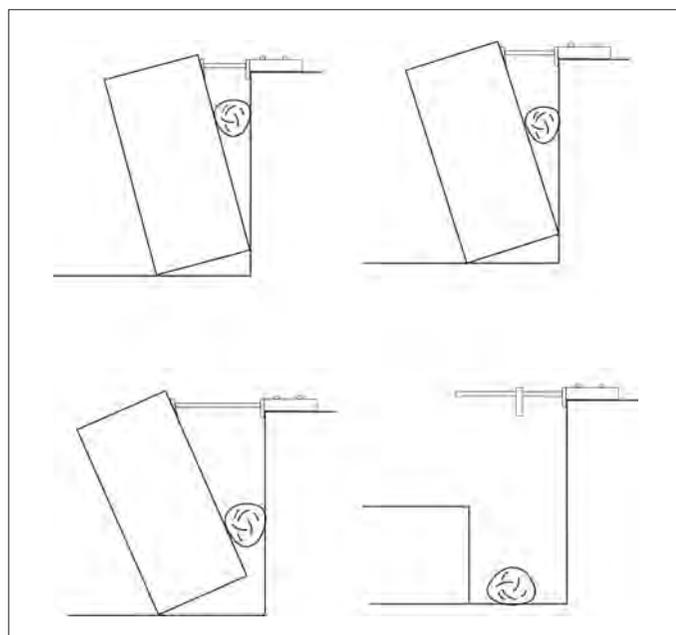


Figura 82 - Tombamento do filão. Elaboração dos autores.

Para que o macaco hidráulico não caia na abertura durante a operação, quando se quer tombor painéis com mais de 2,0 m de largura, é necessário que o equipamento seja fixado ao terreno, uma vez que o braço com os prolongamentos é mais pesado que o cilindro hidráulico.

Colchão inflável

O colchão inflável consiste em uma almofada metálica ou de outro material que se introduz no corte posterior do filão para empurrar o painel. Para cada painel colocam-se vários colchões que são, depois, preenchidos com ar comprimido ou água aumentando seu volume e produzindo a separação do filão antes isolado.

Os colchões infláveis hidráulicos são acionados por meio da injeção de água, e são conectados a uma central acionada por um motor elétrico que permite o uso de três ou mais colchões.

Normalmente as dimensões são 100 x 100 cm, com uma espessura inicial a 4 mm e um peso de 8 kg. Sua constituição é totalmente metálica.

Os colchões são preenchidos com água a 3,0 Mpa de pressão, fornecendo um empurrão de 300 t por colchão e um deslocamento de 20 cm. A espessura dos colchões infláveis é perfeita para que o colchão seja colocado no interior do corte produzido pelo fio diamantado ou cortadora de braço.

Já os colchões infláveis pneumáticos trabalham com a injeção de ar comprimido na faixa de 0,3 a 0,8 Mpa de pressão e possuem uma pressão de ruptura de 3,0 Mpa. A constituição dos colchões pneumáticos é mais complexa, e são fabricadas com neoprene e armadas com uma malha de cabo de aço. Seu peso é, portanto, superior aos colchões infláveis hidráulicos, estando entre 19 e 40 kg. Tem espessura entre 2,5 e 3 cm, com deslocamento de 41 a 52 cm, e um empurrão de 42 a 60 t.

O preço dos colchões pneumáticos são muito mais elevados quando comparados com os hidráulicos. A operação dos dois equipamentos é a mesma. Os colchões são introduzidos não inflados nos cortes previamente feitos por fio diamantado, cortadora de braço. Sua pequena espessura permite que os colchões sejam introduzidos e deslizem sem dificuldade através dos cortes. Uma vez dentro dos cortes, são preenchidos com ar comprimido ou água de modo que se consiga fazer o tombamento do painel com pode se ver nas figuras 83 e 84, a seguir:

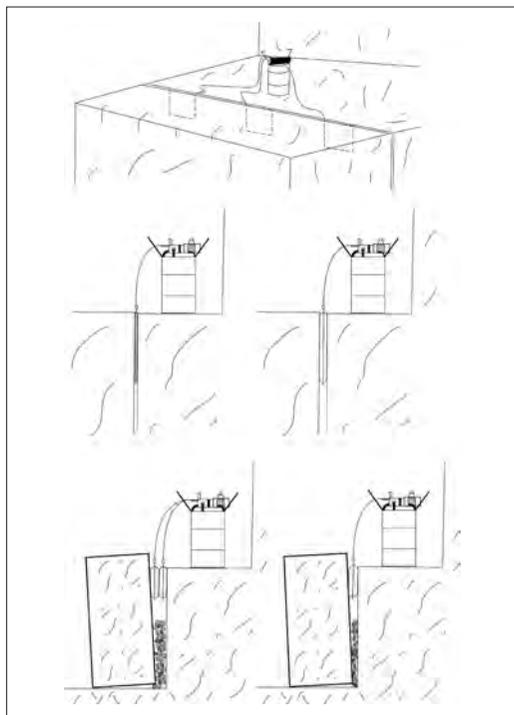


Figura 83 - Fluxograma esquemático da utilização do colchão inflável.



Figura 84 - Colchão inflável.
Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Moitão

É uma técnica muito utilizada para tombamento e movimentação de bloco. Moitão é um sistema constituído de roldanas móveis, cujo objetivo é multiplicar a força física do operador, e deslocar grandes pesos.

No caso da derrubada de painéis ou blocos o moitão é usado para diminuir a distância entre o cabo de aço que é passado pelo painel e fixado no piso da praça da pedreira, fazendo com que essa operação não necessite de máquinas robustas. A figura 85 exemplifica o moitão.



Figura 85 - Exemplo da prática do "moitão" para o tombamento do painel. Fotos: Granitos FUJI, 2009.

Manobra

A manobra é uma técnica muito utilizada na movimentação de blocos principalmente. Consiste de um sistema híbrido em que se utiliza o sistema de roldanas móveis acoplado a máquinas robustas para realização de transporte de blocos ou tombamento de painéis. A figura 86 mostra um trator de esteiras puxando o painel com auxílio de roldanas móveis.



Figura 86 - Trator de esteira puxando o painel. Foto: José R. Pinheiro, 2003.

Máquinas robustas

As máquinas robustas são capazes de movimentar grandes volumes de rocha. São elas: trator de esteira, escavadeiras, retroescavadeiras, pá carregadeira, guincho de arraste, entre outras.

As pás mecânicas utilizadas nas minas são carregadeiras de esteira ou de pneus, com potência mínima de 140/150 HP. Cada uma dessas pás apresenta vantagens e desvantagens segundo as diferentes condições de operação. A carregadeira de esteira é lenta; seu alcance de ação não supera uma centena de metros no caso de obras contínuas (sua utilização em distâncias maiores se torna pouco econômica). Por outro lado, sua articulação chega a 90°, o que a torna preferível quando os espaços disponíveis são pequenos, bem como nas situações em que a estabilidade do solo é dificultada (por acúmulo de água, terrenos moles etc.), ou onde a altura disponível é limitada (nas fases iniciais de escavações subterrâneas). Os carregadores com pneus têm menor capacidade de tração no solo, porém grande capacidade de carregamento, com grande flexibilidade de utilizações e amplo alcance de ação. As máquinas mais comumente utilizadas atualmente têm potências não inferiores a 250 HP nas minas médias e pequenas, e superiores a 400 HP nas minas de maiores dimensões. As capacidades das caçambas são de 3 a 12 m³.

A pá carregadeira é uma máquina automática equipada de um dispositivo de carga (caçamba), situado em posição frontal. É utilizada para derrubar painéis na fase de desmonte, sendo equipada com uma lança própria. Na fase de remoção, é utilizada para carregar os caminhões com os estéreis (equipada com caçamba) ou transportar os blocos de rocha para a zona de alcance da grua ou, mesmo, para o parque de blocos (equipada com patolas). As figuras 87 e 88 apresentam diferentes situações de movimentação de blocos na praça da pedreira.



Figura 87 - Pá carregadeira usada na movimentação de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 88 - Retroescavadeira usada na movimentação de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

O guincho de arraste é utilizado para pedreiras de baixa produção de blocos. É movido por motor geralmente a diesel, com o auxílio de roldanas móveis, acopladas aos cabos de aço. A figura 89 exemplifica o guincho de arraste para puxar os blocos. A figura 90 mostra a pá carregadeira realizando a mesma função do guincho.



Figura 89 - Guincho de arraste. Foto: José R. Pinheiro, 2003.



Figura 90 - Carregadeira com arraste de bloco. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Quase sempre as pás são parte das escavadeiras – máquinas decisivamente potentes com base de esteira ou de pneus, cuja utilização se mostra cada vez mais indispensável. As escavadeiras podem transportar grandes massas rochosas com uma mobilidade e uma capacidade de articulação que as pás normais não têm, o que as tornou máquinas absolutamente necessárias nos últimos anos, pelo menos nas minas de grandes dimensões e níveis de produtividade. Dentre as várias funções auxiliares de que dispõem, devemos nos lembrar da possibilidade de montagem do martelo demolidor, o que significa uma oportunidade bastante cômoda no tratamento de fachadas instáveis e na redução do peso dos detritos de maiores dimensões. Dentre outras coisas, o martelo demolidor se revela um instrumento precioso nas operações de abatimento mecânico em minas de rochas com estratificações naturais bastante proeminentes, que podem ser explotadas em ciclos regulares e que não permitem a produção de blocos.

A escavadeira e a retroescavadeira são usadas geralmente para movimentação de solos para limpeza das frentes de lavra do maciço rochoso. A figura 91 mostra uma retroescavadeira limpando o terreno.



Figura 91 - Escavadeira hidráulica. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Boca de lobo

Logo após o isolamento do filão, do maciço rochoso, é iniciado o processo de tombamento que consiste na utilização de explosivos com a metodologia de chamada de “boca de lobo”. Este método visa a instabilização do filão com a diminuição da área de parte inferior do mesmo.

Para que esta operação seja realizada com sucesso é necessário, primeiramente, que a prancha não esteja completamente isolada, sendo que sua superfície trincante esteja ainda presa à rocha, porém, já perfurada. Na base da prancha com mais ou menos, 0,5 m de altura, será confeccionado um plano de fratura com uma inclinação de 30° em relação ao plano horizontal, de modo que ultrapasse metade da espessura da prancha de acordo com a figura 92 a seguir:

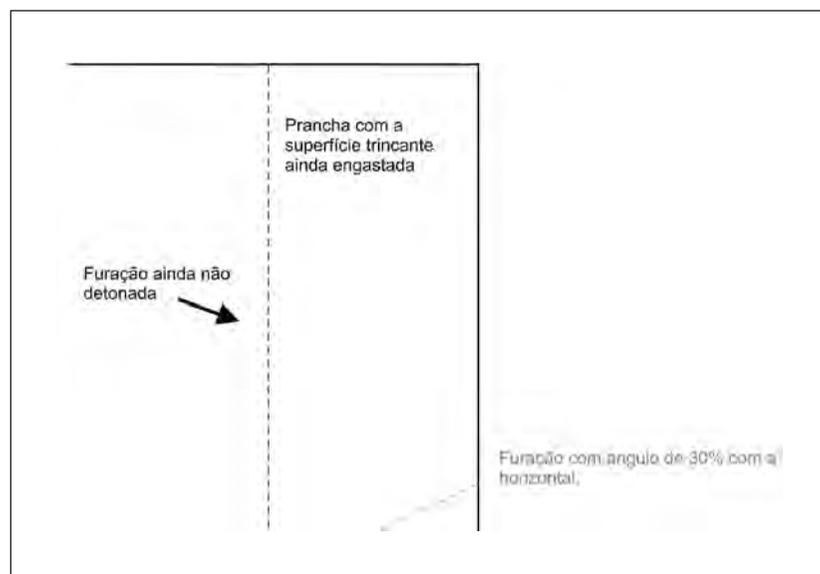


Figura 92 - Vista esquemática da inclinação de furação em relação a horizontal.

A furação deverá ser feita com um espaçamento de 0,2 metros entre os furos para a formação do plano de fratura. Ao término da confecção do plano de fratura inclinado no pé da prancha será realizado o carregamento e a detonação seguido da limpeza, formando assim, a boca de lobo.

Logo em seguida são realizados os procedimentos para o isolamento da prancha, através do carregamento e detonação do plano de fratura no plano trincante da rocha com o uso de explosivos ou a utilização de macacos hidráulicos conjugados com o corte de fio diamantado. No caso do uso de explosivos serão confeccionados furos espaçados entre si, formando um plano de fratura na qual, o mesmo será detonado de acordo com seu plano de fogo.

Já com o uso de fio, a máquina fará o corte na superfície trincante e o próprio peso do da prancha será utilizado para o tombamento da mesma, conforme as figuras 93 e 94.

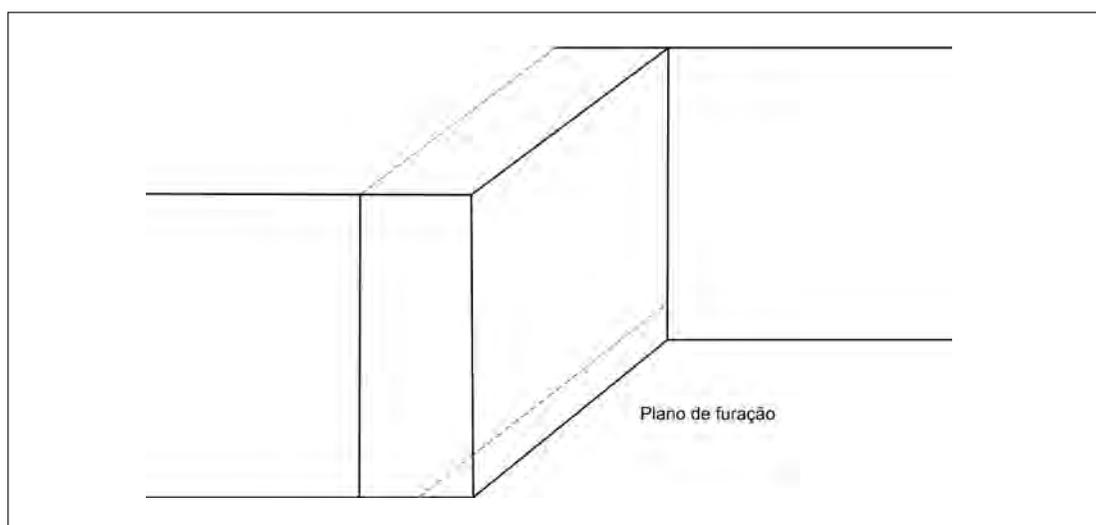


Figura 93 - Imagem ilustrativa do plano de furação para a confecção da boca de lobo.

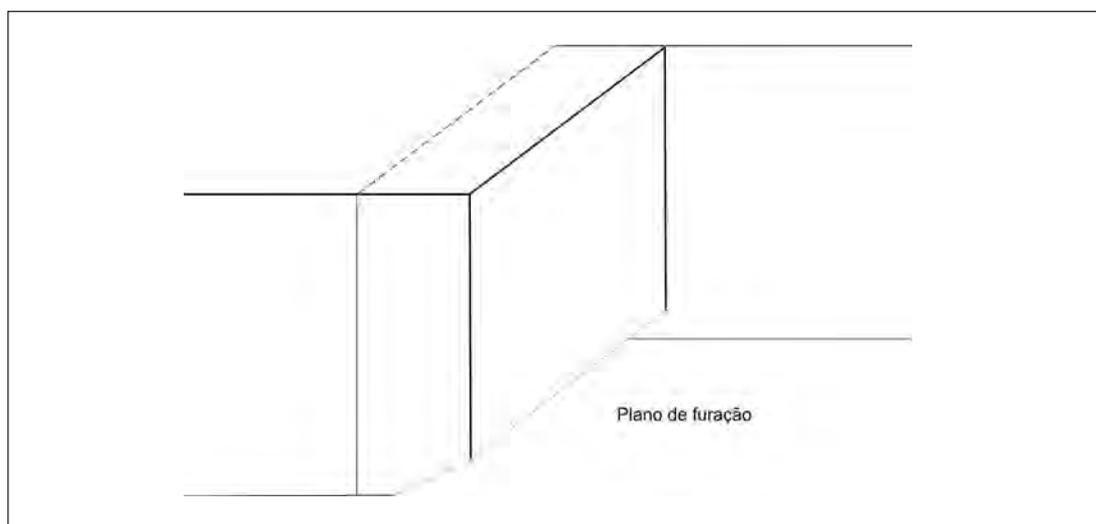


Figura 94 - Vista esquemática da prancha após a detonação e limpeza da boca de lobo.

Após as operações mencionadas o tombamento da prancha é inevitável, uma vez que origina o desequilíbrio da prancha até esta cair numa “cama” previamente confeccionada com o material terroso estéril, ou seja, sem matéria orgânica. A cama tem uma dupla função: amortecer o impacto da queda da fatia derrubada, minimizando a quantidade de fraturas induzidas pelo choque, e ajudar posteriormente a operação de esquadrejamento, permitindo a passagem do fio adiamantado, caso haja necessidade, sem que seja necessário proceder a nova furação. A cama é normalmente construída com solo e pequenos fragmentos de rocha.

7.2. Movimentação de blocos

A movimentação de blocos é entendida como sendo toda a operação que envolve o levantamento, carregamento, descarregamento, transporte e colocação no pátio.

A movimentação de blocos começa desde o local de esquadrejamento até a saída da pedreira, após a operação de tombamento do painel de cima para baixo da bancada e em seguida o esquadrejamento dos blocos.

Após o esquadrejamento, a movimentação dos blocos até o local de embarque é feita por arraste, através de cabos de aço tracionados por guincho ou através de zorra (prancha metálica sobre a qual se coloca o bloco) puxada por pá carregadeira; por tombos sucessivos, com emprego direto de pá carregadeira, retroescavadeira, ou mesmo trator de esteira adaptado para este fim; ou conduzidos por garfo, montado diretamente numa pá carregadeira de maior potência.

Deixando de lado algumas ferramentas que normalmente estão presentes nas minas, mas que não são continuamente empregadas nas atividades mais comuns voltemos nossa atenção às pás carregadeiras mecânica, às guas derrick, às escavadeiras e aos cabrestos.

Os aparelhos de elevação com guas derrick ainda são bastante difundidos embora consolidados quanto aos procedimentos de utilização, e sem grandes inovações técnicas recentes, as guas desenvolvem funções insubstituíveis em minas cuja geometria não permite com facilidade o uso de outros maquinários, ou então não permitem acesso (minas subterrâneas em forma de poço). No entanto, são bastante comuns mesmo em minas a céu aberto onde, apesar de poderem ser operadas sobre amplos raios de ação (cerca de 40 a 50 m e 220º a 360º), têm como principal limitação a instalação fixa – isto é, a necessidade da instalação ser modificada conforme a evolução da mina.

Por fim, devemos mencionar os guinchos, um pouco obsoletos, utilizados para arrastar, puxar, deslocar blocos e outras ferramentas mais ou menos volumosas em todos os tipos de situações.

Para movimentação de blocos são utilizados: Pá carregadeira com implementos, como os mostrados na figura 95, trator e retroescavadeira, conforme descrito nas máquinas robustas do item tombamento de painéis.

Grua Fixa tipo Derrick

Sistema de elevação de blocos e outros materiais do fundo das pedreiras formado por uma haste fixa a um mastro giratório, capaz de operar 360º. É utilizada essencialmente, para içar da pedreira os blocos de rocha aproveitáveis, embora possa servir para remover estéreis e para transportar para o interior da pedreira alguns equipamentos.

Pau de carga

Sistema simples para a elevação e carregamento de blocos, consistente em um poste (de madeira ou metálico) com uma polia no topo. Pode ser fixo ou girar.

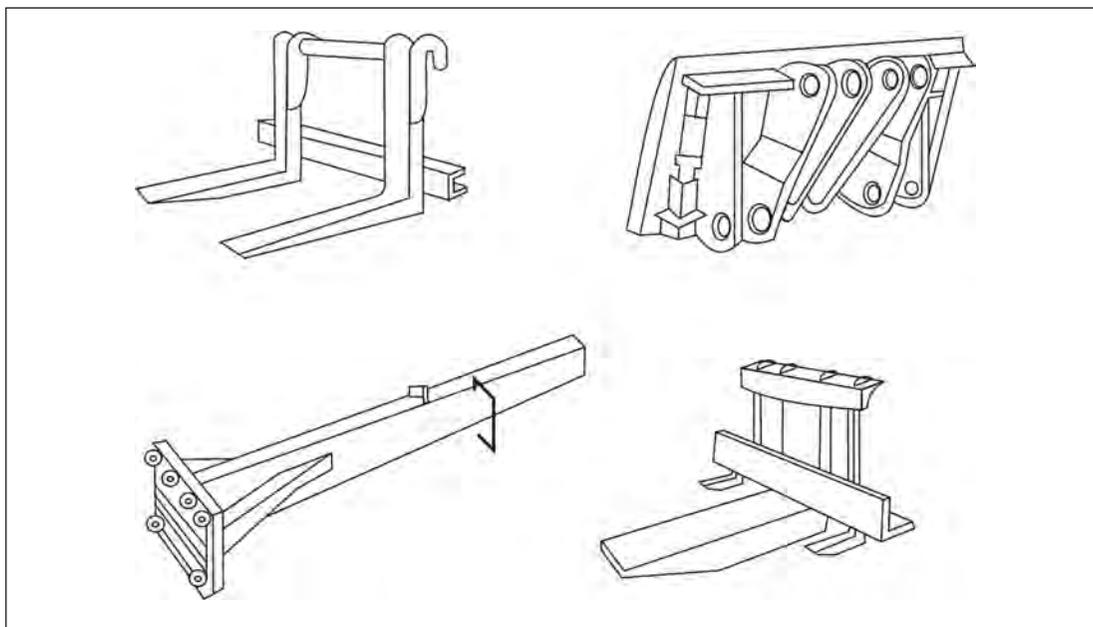


Figura 95 - Tipos de implementos de pá carregadeira para movimentação de blocos.

O carregamento dos blocos é realizado predominantemente com o emprego de “pau de carga”, auxiliado por guincho de arraste, pá carregadeira ou trator de esteiras (Figs. 96 a 98). Também podem ser empurrados diretamente para cima dos caminhões, através de rampa previamente construída com esta finalidade (Fig. 99). O uso de derrick para içamento e carregamento de blocos, muito comum em pedreiras da Europa, quase não é observado no Brasil (Figs. 100 a 102).



Figura 96 - Pau de carga usado na movimentação de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 97 - Pau de carga usado no carregamento do caminhão. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 98 - Guincho para içamento de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2006.



Figura 99 - Carregamento de blocos com o auxílio de pá carregadeira. Foto: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 100 -
Exemplo de
Grua Derrick,
em Portugal.
Foto: CETEM/
MCTI, 2007.



Figura 101 - Exemplo de Grúa Derrick, em Carrara, Itália. Foto: CETEM/MCTI, 2007.



Figura 102 - Grúa em pedreira de mármore, no Brasil. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Em pedreiras em cava muito profundas, como a mostrada nas figuras 103 a 105, são necessários outros meios de carregamento não só de blocos, mas também das ferramentas e utensílios de trabalho e dos estéreis da mina, como elevadores de caminhões.



Figura 103 - Elevador utilizado para retirar estéreis da cava, em Portugal. Foto: CETEM/MCTI, 2007.



Figura 104 - Detalhe da subida do elevador utilizado para retirar estêreis. Foto: CETEM/MCTI, 2007.



Figura 105 - Chegada do caminhão de estêreis no topo da cava. Foto: CETEM/MCTI, 2007.

8. Bibliografia e referências

ADAM, Jean-Pierr. Roman Building: Materials and Techniques. Routledge, 2003, ISBN: 0415208661, 360p.

AFONSO, J.C.A. Influência da Fraturação Natural na Mineralização do Desperdício em Pedreira de Rochas Ornamentais, Tese de Mestrado; Universidade de Lisboa; Lisboa; Portugal; 1991.

AGUS, M. et al Aspetti di meccanica del taglio dei graniti con le tecnologie innovative. In: III CONVEGNO DI GEOINGEGNERIA SCAVO IN ROCCIA: IL FUTURO ED IL FUTURIBILE, Torino, 1992. p. 264-274.

AGUS, M. et al. Características minero-petrográficas e disgregabilidad dei graniti con la tecnologia water jet. In: Caracterização tecnológica na engenharia e indústria mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1990. p. 181-183.

ALENCAR, C.R.A. et al. Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento. v.3, Fortaleza, IEL/FIEC, agosto-1996.

ALMEIDA, F. Manual de Conservação de Cantarias. IPHAN/Programa Monumenta, 2005 - 2ª Edição, 87p.

ALMEIDA, S.L.M. & Luz, A.B. Manual de Agregados para a Construção Civil. CETEM, 2011.

AZAMBUJA, J.C. & SILVA, Z.C.G. Perfil Analítico dos Mármore e Granitos, Boletim n°. 38, v.l. DNPM, 1977. p. 43-44.

BERRY P. et al. Industrial viability of soft technologies for hard stone quarrying. Proc. XV World Mining Congress, Madrid, 1992. p. 533 – 542.

BIASCO, G. Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks. Stone, IDR n°. 5, 1993. p. 252-255.

BORTOLUSSI, A. et al. Il taglio al monte del granito con il filo diamantato: Risultati dell'esperienza sarda. Atti delle giornate di studio, Convegno Internazionale. Anais Cagliari, 1989. p. 243-247.

BORTOLUSSI, A. Studio dell' influenza della porosità nel taglio dei graniti con la tecnologia water-jet. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, 1993. p. 713-723.

BORTOLUSSI, A. et al. Influenza delle caratteristiche petrográficas e strutural sulla resa di cava e la distribuzione del volume del blocchi. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., Cagliari, 1990. Anais. Cagliari, 1990b. p. 9-19.

BORTOLUSSI, A. et al. Escavazione e Preparazione du Blocchi di Granito. Carrara, Zingno 1988a, in Marmi Graniti, Pietre, vol. 29º, nº 162. p. 17-33.

BORTOLUSSI, A. et al. Improved Technology and Planning in Modern Stone Quarrying. In: Mine Planning and Equipment Selection, Balkema, Rotterdam, 1988b. p. 107-119.

BORTOLUSSI, A. et al. Oganizzazione razionale dell'attivitá di cava mediante tecniche di simulazione. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990a. Anais. Cagliari, 1990, p. 351-361.

BORTOLUSSI, A. et al. Prestazioni e usura del filo diamantato nel taglio dei graniti. In: CONGRESSO

INTERNAZIONALE DI GEOINGEGNERIA. Torino, 1989. Anais. Torino, 1989, p. 195-200.

CARANASSIOS A. Applicazione di tecnologie avanzate per il taglio del granito. Cagliari, 1993. Tese de Doutorado – Universitá Degli Studi di Cagliari.

CARANASSIOS, A. et al. Prospective di innovazione tecnologica nelle cave di granito brasiliane. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, 1993. p. 357-377.

CARANASSIOS, A.; CICCUCI, R. Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais. Rochas de Qualidade, São Paulo, n.º 109, p. 58- 77, 1992.

CARANASSIOS, A.; PINHEIRO, J. (2003). O emprego do fio diamantado na extração de rochas ornamentais: curso básico para operadores. Cachoeiro de Itapemirim. CETEMAG.

CARANASSIOS, A.; STELLIN JÚNIOR, A.; AYRES DA SILVA, L. A. Considerações acerca do estado de tensões dos maciços na lavra de rochas ornamentais. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 3., Verona, 1994. Anais. Verona, 1994. p. 283-285.

CARUSO, L.G. Pedras Naturais – Extração, Beneficiamento e Aplicação. Rochas & Equipamentos. Documentos. 3.º. Trim., n.º. 43, 1996. p. 98-156.

CHIODI FILHO, C. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Série Estudos e Documentos, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, 1995.

CHIODI FILHO, C.; ONO. P. A. Tipos de lavra e técnicas de corte para desmonte de blocos. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 120, 1995. p. 93- 106.

CICCUCI, R. et al. Studio dell' Organizzazione di una cave di Granito in Sardegna. IV Convegno Nazionale su Attività Estimativa e Defesa del Suolo, Saint-Vincent, setembro 1986.

CICCUCI, R. Coltivazione e valorizzazione dei lapidei silicei quarrying and processing of eruptive rocks. ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO, Convegno Internazionale Su: Situazione e Prospettive Dell' Industria Lapidaria, A.N.I.M., Anais. Cagliari, 1989, p. 165-177.

CICCUCI, R. et al. Moderne tecniche di estrazione dei lapidei ornamentali i problemi di impatto ambientale in Italy. In: Simposio EPUSP sobre controle ambiental e segurança em mineração, São Paulo, Anais, São Paulo, 1989b. p. 51-65.

CICCUCI, R. Tecnologia avanzate per la coltivazione e la lavorazione dei lapidei. In: 1ª CONFERENZA EUROPEA SULLE CAVE - EUROCAVE, A.N.I.M., Anais.. Saint Vincent, 1992, p. 211-220.

CICCUCI, R. Waterjet in ornamental stone engineering. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, 1993. p. 407-424.

CICCUCI, R. Granite slotting in the quarry using water jet. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURAL, 1, LISBOA 1995. Anais. Lisboa, 1995.

CLUI - CENTER FOR LAND USE INTERPRETATION – Base de dados de uso da terra. Disponível em: <http://clui.org/ludb/site/danby-quarry>. Acessado em 20 nov. 2012.

CRESPO, A. Novas tecnologias para extração de rochas ornamentais. Rochas & Equipamentos, Lisboa, n. 24, 1991. p. 122-136

- DANIEL, P. Granite Quarrying – Cut, Wast & Costs. IDR, n° 1, 1986b. p. 1-4.
- DANIEL, P. More Granites Succumb to Diamond Wire. IDR, n° 5, 1986a. p. 187-194
- DANIEL, P. Slate without waste. Quarrying, IDR, n° 4, 1993. p. 200-203
- DE BEERS, Syndrill Cuts Costs in Stone Extraction. Stone, 1995. p. 53-55
- DEL SOLDATO, M. & PINTUS, S. Historical-geological study of extraction activities and techniques in eastern Liguria. Lunigianese Academy of Science, vol. XLV-XLVII, La Spezia, 1985.
- DINIS DA GAMA, C. O Futuro das Pedreiras Subterrâneas. Boletim de Minas, Vol. 38 - n° 4. Instituto Geológico e Mineiro, 2001. Versão Online no site do IGM (http://www.igm.pt/edicoes_online/boletim/vol38_4/artigo1.htm).
- DINIS DA GAMA, C., COUTO, R.T.S., COSTA E SILVA, M.M., BERNARDO, P.A.M., BASTOS, J.N., GUERREIRO, H.J.P., NEVES, A.P.F., PEREIRA, A.J.C., PEREIRA, H.C. & HORTA, J.M.M.. Estudo da Viabilidade Técnica da Exploração Subterrânea de Mármore no Anticlinal de Estremoz (Coordenador: Dinis da Gama). Instituto Geológico e Mineiro – IGM, Departamento de Prospecção de Rochas e Minerais Não- Metálicos, Portugal, 2001. Disponível em: <http://www.igm.ineti.pt/departam/nmetalicos/projectos/concluidos/subterraneos/relatorio/default.htm>
- DUARTE, G. W. Uso e desempenho do fio diamantado em maciço rochoso. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 115, 1993. p. 93-97
- DUARTE, G.W. Método de lavra determina a eficácia do rendimento. Rochas de Qualidade, São Paulo, n. 138, 1998. p. 91-110
- FILGUEIRA, M. Produção de Fios Diamantados “in situ”. UENF, 2000. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes.
- FILIPPI, E. The soft stones of Vicenza and Nanto. Marmi Pietre Graniti, July-August, 1980. p. 79-96.
- FORNARO, M. & BOSTICCO, L. Underground Stone Quarrying in Italy: partes 1, 2, 3 e 4. Revista Marmomacchine International. Ano 2, n° 6, 7, 8 e 9, 1994.
- FORNARO, M. et al. Studio sperimentale del funzionamento del filo elettodeposto nel taglio delle oficalciti. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1., Cagliari, 1990. Anais. Cagliari, 1990, p. 307-331.
- GUEDES, M.F.H. Apreciação Técnico-Econômica dos Diferentes Processos de Destaque de Blocos para Fins Ornamentais. Rochas & Equipamentos, p. 106-126, 1992.
- HAWKINGS, A.C. ET ali. The Diamond Wire Saw in Quarrying Granite and Marble. Dimensional Stone, 1990.
- HIGH WIRE DEBUT. Diamonds in Industry. Ed. De Beers, 1995. p. 25.
- KALVELAGE, M. R. Modelamento Informatizado da Lavra de Rochas Ornamentais – Granito Casablanca. UFPB, 2001. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Engenharia de Minas.
- KOPPE, J. C; NOVA, P. A. C.; COSTA, J. F. C. L. Projeto e recuperação de área degradada por lavra de granito ornamental em Viamão/RS, Brasil. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, 1993, p. 395-404.

LÓPEZ JIMENO, C. (editor) Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, explotación, elaboración y colocación. LOEMCO (Laboratorio Oficial para Ensayo de Materiales de Construcción), Madrid, 1996.

Manual de Perfuração de Rochas (Teórico/Prático); Sandvik do Brasil; São Paulo.

Manual de Perfuração de Rochas; Kurt Herman; Editora Polígono; São Paulo; 1969.

Manual de Perfuração e Desmontes; Atlas Copco do Brasil; São Paulo; 1969.

Manual de Utilização de Trasteg (Massa Expansiva); Asa Branca Mármore e Granito Ltda; Rio de Janeiro; 1999.

Manual para Perfuração de Rochas; Atlas Copco do Brasil: São Paulo; 1967.

MARCON, Douglas Bortolote; PEITER, Carlos César; FERNÁNDEZ CASTRO, N. Utilização de fio diamantado na lavra de granitos comerciais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2012, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: CETEM, 2012.

MARLES, T. Norse Saga. IDR, n°. 1, 1990. p. 6-7.

MELLO, Jr, L. A. A Indústria de Rochas Ornamentais. UNICAMP, 1991. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências.

MODERN technology to uncover earth's stone. Stone World. New York, august, 1993, p. 75-82.

MOYA, M. M. UNICAMP, 1995. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências.

NANOSANCHEZ (Own work) [Public domain], via Wikimedia. Canteras romanas de arenisca de la ciudad de Carthago Nova, actual Cartagena (España) - 2009. Disponível em: Commonshttp://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACanteras_romanas3.jpg. Acessado em: 20/06/2013.

Perfuraciones y Voladuras para Operaciones Mineras; Lúcio Veja Rodrigues/José Murillo; Libreria Editorial Juventud; La Paz/Bolivia; 1990.

PINZARI, M. Quarrying Stone by Diamond Wire in Italy. IDR n°. 5, 1989. p. 231-236.

PRIMAVORI, P. Technological developments in machinery and installations for extracting and processing stone materials. Directory 2002. Associazione Italiana Marmomacchine, Milano, Itália, 2002. p. 41-196.

RUSSO, S. Máquina para corte com água a alta pressão em pedreira de granito ou mármore. Rochas & Equipamentos, Lisboa, n. 33, 1994. p. 39-43.

SCHAFFNER, J., BLASER, E. Building Owner Saves Money. Diamond in Industry. Ed. De Beers, 1995. p. 2-3

SCHMIDT, H. Nápoles subterrânea. Edición del 24 al 31 de octubre de 2004. Disponível em <http://www.elsalvador.com/hablemos/2004/241004/241004-3.htm>

SILVA, R. E. C. Estudo de Pré-Viabilidade para uma Potencial Lavra Subterrânea de Rocha Ornamental. UFRJ, 2005. Tese de Doutorado – Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza – Instituto de Geociências – Departamento de Geologia.

SMITH, M. Dimensional stone blasting in Finland. Mining Magazine, october 1987. p. 312-317.

SOUZA, D. V, VIDAL, F. W. H, FERNÁNDEZ CASTRO, N, Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: CETEM, 2012.

STELLIN Jr, A., CARANASSIOS, A. Extração de Rochas Ornamentais. Brasil Mineral, São Paulo, n°. 89, 1991. p. 30-34.

SUMMERS, D. A. Water jet use in quarrying. ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO, Convegno Internazionale Su: Situazione e Prospettive Dell' Industria Lapidea, A.N.I.M., Anais Cagliari, 1989, p. 9-14.

THOREAU, B. Diamond Impregnated Wire for Sawing Hard Abrasive Stones. IDR, n°. 2, 1984. p. 94-95

TOMARAS, P. Mármoles de la antigua Grecia que se siguen empleando hoy – Partes I y II. Disponível em <http://www.litosonline.com/articles/60/ar6003s.shtml>, 2005.

TRANCU, T. C. Diamond Wire Machine Cuts Marble – Quarrying Costs. IDR, 1980. p. 329-331.

TURCHETTA, S. Tecnologie di Lavorazione Delle Pietre Naturali. 2003. 261p. Tese (Doutorado) – Università Degli Studi di Cassino, Italy (Europa).

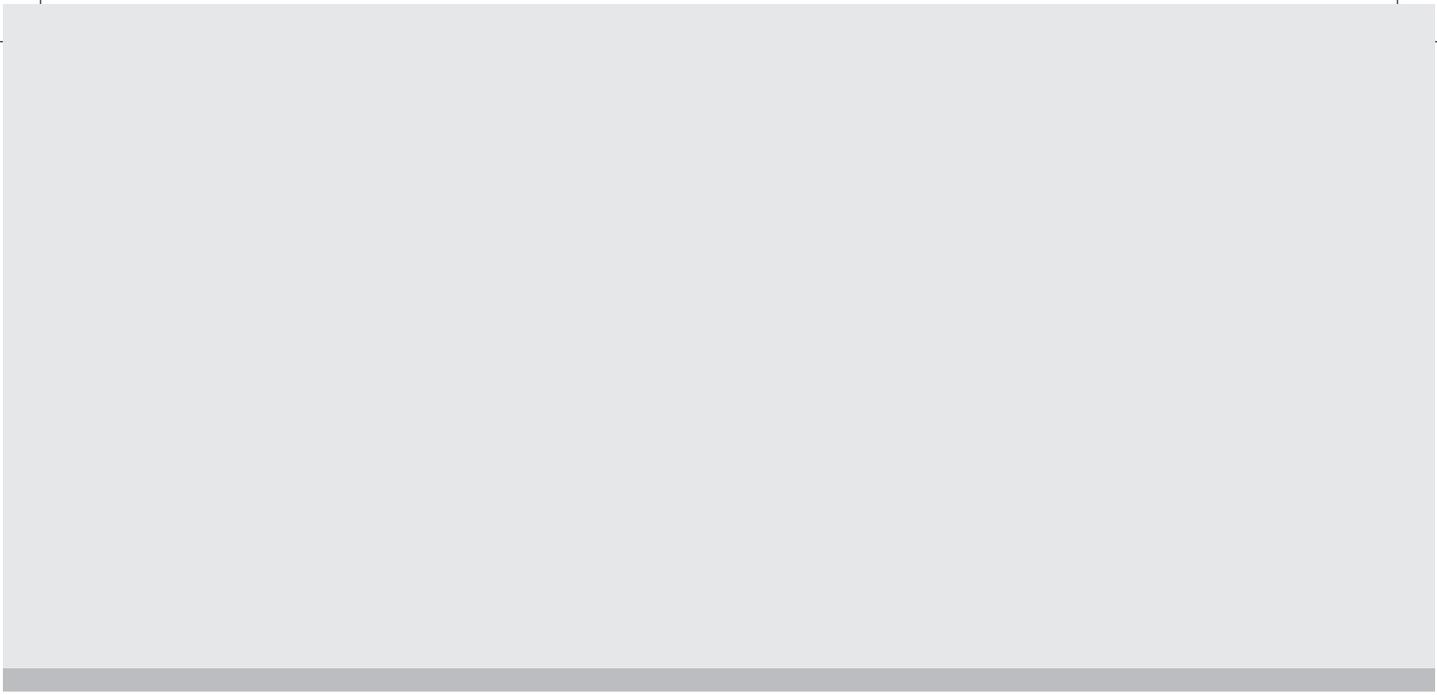
VIDAL, F.W.H. A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará. São Paulo. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995. EPUSP, Departamento de Engenharia de Minas. 178p.

_____ Estudo dos elementos Abrasivos de Fios Diamantados para Lavra de Granito do Ceará. São Paulo, USP, 1999. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas.

VIDAL, F.W,H et al Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará. Fortaleza, CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 176p.

WRIGHT, D. N. Últimos Avanços em Corte com Fio Diamantado. Seminário sobre Diamante e CBN na Indústria, 18-19 de março de 1991, São Paulo.

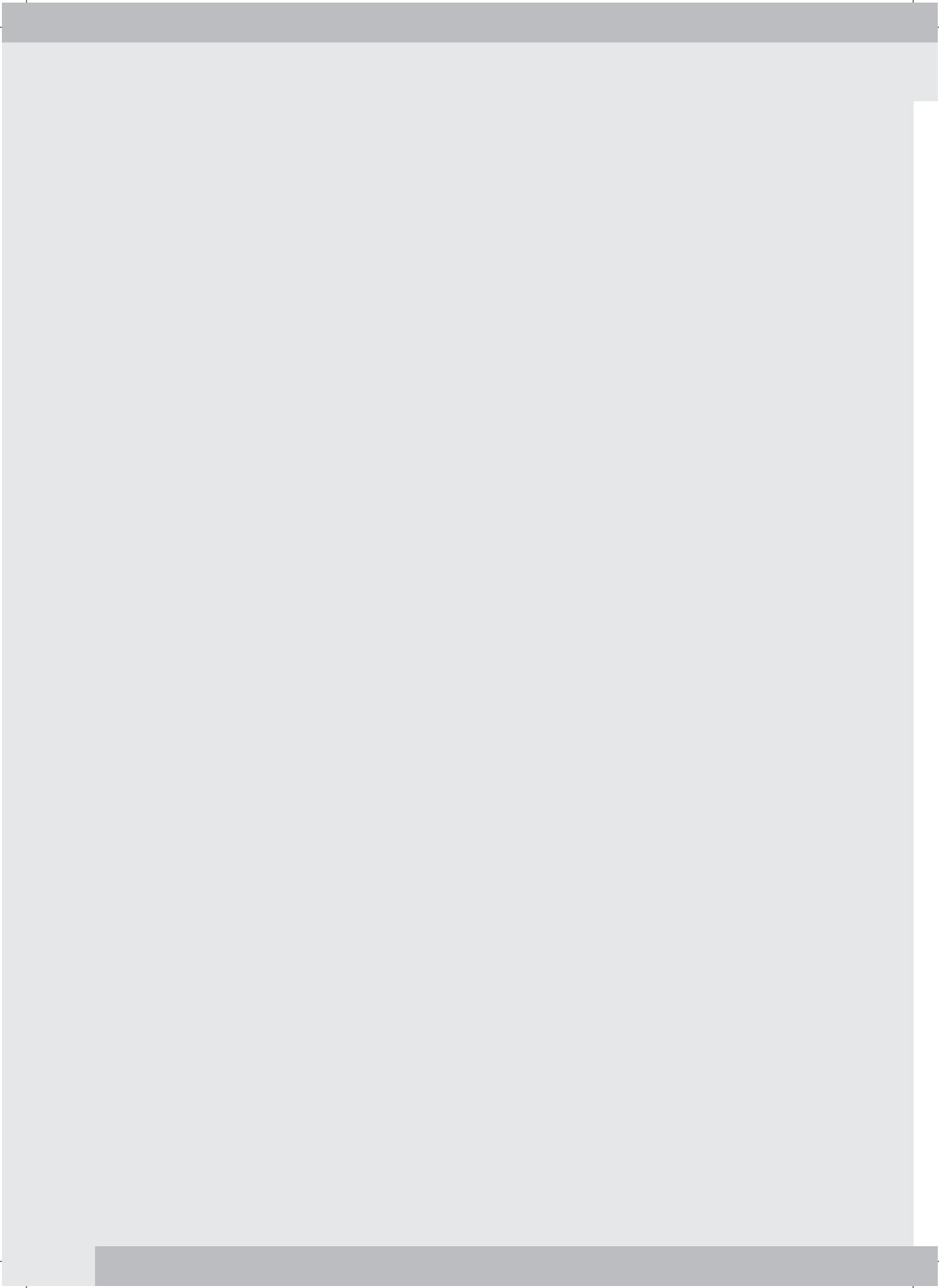
ZUCCHETTI, S., SANDRONE, R & SIMONETTI, O. Applicative, technical and geolithical study of “Finale Stone” (Savona). Min. of the 1st Int. Conv. on Quarrying Stone and Lithoid Materials, Turin, 1974.



Capítulo 5

Aspectos legais das rochas ornamentais

Rosana Elisa Coppedê da Silva, Enga. Geóloga, D.Sc., CETEM/MCTI



1. Introdução

O conhecimento da Legislação pertinente é fundamental para o desenvolvimento de qualquer empreendimento. Na Mineração ele é essencial, uma vez que são investidos vultosos recursos financeiros na aquisição de equipamentos para a exploração de substâncias minerais. Muitas vezes o desconhecimento da Legislação acarreta ao minerador prejuízos significativos. Assim é importante que o minerador conheça a Legislação e acompanhe as normas jurídicas do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, as dos órgãos ambientais e os entendimentos firmados nos Pareceres Jurídicos desses Órgãos.

Este capítulo trata da legislação Mineral e Ambiental relativa às rochas ornamentais. Quanto à legislação Mineral destacam-se o Regime de Licenciamento e o de Autorização e Concessão de Lavra. Incluem-se também orientações para a mudança no regime de aproveitamento da substância mineral de emprego direto na construção civil. Ainda no que se refere à legislação Mineral, discorre-se sobre a instrução do requerimento de concessão de lavra e sua tramitação no DNPM.

Na legislação Ambiental destacam-se as orientações para requerimentos de licenças ambientais no Registro de Licença, na Autorização de Pesquisa, na Guia de Utilização e na Concessão de Lavra.

Na parte final, apresenta-se uma relação de toda a legislação Mineral e Ambiental atualmente em vigor. Nos últimos anos o Brasil está preparando e discutindo um novo marco regulatório que implicará em mudanças para todos os setores da mineração, quando e se aprovado. Por não se encontrar ainda em vigor, não será abordado em detalhes neste capítulo.

2. Legislação mineral

As rochas ornamentais podem ser aproveitadas por dois regimes: Regime de Licenciamento e Regime de Autorização e Concessão de Lavra.

O Regime de Licenciamento está disciplinado pela Lei nº. 6.567, de 24 de setembro de 1978, alterada pela Lei nº. 8.982, de 25 de janeiro de 1995, e regulamentada pela Portaria DNPM nº. 266, de 10 de julho de 1998. No caso das rochas ornamentais encaixam-se nesse regime apenas as rochas para aparelhamento de paralelepípedos, de guias, sarjetas, materiais foliados como quartzitos, gnaisses, calcários e outros desde que não exista beneficiamento.

No entanto, sua exploração por este regime não proporciona segurança ao investidor, pois este fica sempre dependendo de uma licença municipal. Se o prefeito, por qualquer razão, não fornecer a renovação da licença no prazo próprio, o registro do licenciamento será cancelado e a área colocada em disponibilidade.

Por isso é aconselhável que as rochas ornamentais sejam aproveitadas pelo Regime de Autorização e Concessão, pois apesar de demandar mais tempo e pesquisa haverá plena segurança jurídica quando for publicada a Portaria de Concessão de Lavra. A partir da publicação desse título não há mais a necessidade de Licença Municipal, e a concessionária poderá investir na lavra, desde que cumpra todas as exigências preconizadas no Código de Mineração e legislação correlata.

2.1. Regime de licenciamento

Trata-se de um regime de licenciamento no qual a extração do bem mineral, não depende da execução de trabalhos preliminares de pesquisa mineral (condição principal e obrigató-

ria em um regime de autorização de pesquisa) e nem de um plano de aproveitamento econômico prévio (condição obrigatória num regime de concessão), que depende a princípio de: licença específica promulgada pelo município, onde se situa a jazida, segundo critérios e regulamentos próprios do registro no DNPM, além de licenciamento ambiental emitido pelo órgão competente.

O licenciamento é o registro da licença expedido pela prefeitura municipal de situação do jazimento mineralizado, no DNPM. Sem este título, mesmo o proprietário do terreno (superficiário) não pode extrair a substância mineral ocorrente em sua propriedade. Caso o proprietário do solo resolva explorar a ocorrência mineral existente sem a devida licença do DNPM, estará cometendo crime, a teor do que preconizam o artigo 21, da Lei nº. 7.805, de 18 de julho de 1989; o artigo 55, da Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; o artigo 2º, da Lei 8.176, de 8 de fevereiro de 1991; o artigo 22, do Decreto nº. 98.812, de 9 de janeiro de 1990; e o artigo 42, do Decreto nº. 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Além disso, incumbe às prefeituras municipais, por imposição legal, exercer vigilância para assegurar que o aproveitamento da substância mineral só tenha seu início depois de publicada no Diário Oficial da União – DOU - o competente registro de licenciamento outorgado pelo DNPM.

Na licença expedida pela prefeitura municipal de situação da área requerida, de acordo com a Lei 6.567, de 24 de setembro de 1978, atualizada pela Portaria DNPM nº. 266/2008, deve conter, no mínimo, as seguintes informações: nome do licenciado; localização, município e estado em que se situa a área; substância mineral licenciada; área licenciada em hectares; memorial descritivo da área licenciada e a data da expedição.

A partir do dia 2 de maio de 2006, a Portaria DNPM nº. 268, de 27 de setembro de 2005, instituiu a obrigatoriedade do pré-requerimento eletrônico de direitos minerários, a ser preenchido no sítio do DNPM na internet, para fins de obtenção de alvará de pesquisa e de registro de licença. Depois de preenchido deverá ser impresso pelo interessado para protocolização na forma e prazo fixados na Portaria 268/2005, no distrito em cuja circunscrição situa-se a área pretendida, onde será numerado, autuado e registrado.

Desta forma, o requerimento de registro de licença deverá ser instruído com as seguintes informações e documentos:

1. Em se tratando de pessoa física, comprovação da nacionalidade brasileira, ou, tratando-se de pessoa jurídica, comprovação do número de registro da sociedade no Órgão de Registro do Comércio de sua sede e do Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica - CNPJ.
2. Licença específica expedida pela autoridade administrativa competente do(s) município(s) de situação da área requerida.
3. Declaração de ser o requerente proprietário de parte ou da totalidade do solo ou instrumento de autorização do(s) proprietário(s) para lavrar a substância mineral indicada no requerimento em sua propriedade ou assentimento da pessoa jurídica de direito público, quando a esta pertencer parte ou a totalidade dos imóveis, excetuando-se as áreas em leito de rio.
4. Planta de situação da área assinada por profissional legalmente habilitado, em escala adequada, contendo, além da configuração gráfica da área, os principais elementos cartográficos tais como ferrovias, rodovias, rios, córregos, lagos, áreas urbanas, denominação das propriedades, ressaltando divisas municipais e estaduais quando houver.

5. Memorial descritivo da área objetivada na forma estabelecida na Portaria DNPM nº 263, de 10 de julho de 2008.
6. Anotação de Responsabilidade Técnica – ART – original do profissional responsável pela elaboração do memorial descritivo e da planta de situação.
7. Plano de lavra assinado por profissional legalmente habilitado, quando o empreendimento se enquadrar em qualquer das seguintes hipóteses: realizar desmonte com uso de explosivos; desenvolver atividades em área urbana que afete a comunidade circunvizinha pela geração de poeiras, ruídos e vibração; operar unidade de beneficiamento mineral, inclusive instalações de cominuição, excetuando-se peneiramento na dragagem de areia; desenvolver atividade no interior de Áreas de Preservação Permanente – APP, em conformidade com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – Resolução CONAMA, nº 369/2006; operar em locais sujeitos à instabilidade, com manutenção de taludes acima de 3 m; ou tiver produção anual superior ao limite máximo estabelecido para as seguintes substâncias minerais: areia (agregado) 70.000 t, cascalho (agregado ou pavimentação) 10.000 t, saibro ou argila para aterro 16.000 t, argilas (cerâmica vermelha) 12.000 t, rochas (paralelepípedos/guias/meio-fio/rachão etc) 6.000 t.
8. Plano de lavra assinado por profissional legalmente habilitado, ainda que o empreendimento não se enquadre em nenhuma alínea do inciso anterior, quando o requerente empregar contingente superior a cinco pessoas entre efetivos, temporários e terceirizados.
9. Procuração pública ou particular com firma reconhecida, se o requerimento não for assinado pelo requerente.

10. Prova de recolhimento dos emolumentos fixados na Portaria DNPM nº 400, de 30 de setembro de 2008, através de documento original, vedada a apresentação de agendamento de pagamento.

Em caso de ocorrer a expiração do prazo da licença municipal, da autorização do proprietário do solo ou do assentimento do órgão público ainda na fase de requerimento de Registro de Licença, o requerente deverá protocolizar, em até 30 dias contados do vencimento dos mesmos, novos elementos essenciais, dispensada qualquer exigência por parte do DNPM, sob pena de indeferimento do requerimento de Registro de Licença (artigo 5º da Portaria DNPM nº 266/08).

O requerente deverá apresentar ao DNPM, no prazo de até 60 dias contados da protocolização do pedido de Registro de Licença, as licenças ambientais: Licença de Instalação – LI ou Licença de Operação – LO, ou comprovar que a requereu através de cópia do protocolo do órgão ambiental competente, dispensada qualquer exigência por parte do DNPM, sob pena de indeferimento do requerimento de Registro de Licença (artigo 6º da Portaria DNPM nº 266/08).

2.2. Regime de autorização e concessão

O aproveitamento de substâncias minerais pelo Regime de Autorização e Concessão segue a regra geral do Código de Mineração, ou seja, estando livre a área onde ocorre a rocha, será atribuído o Direito de Prioridade a quem primeiro protocolizar no DNPM o Requerimento de Autorização de Pesquisa, independente da autorização do superficiário no primeiro momento.

O requerimento deverá ser instruído com os seguintes elementos de informação e prova relacionada nos incisos do artigo 16 do Código de Mineração, que são:

- I. Nome, indicação da nacionalidade, do estado civil, da profissão, do domicílio e do número de inscrição no Cadastro de Pessoas Físicas do Ministério da Fazenda – CPF – do requerente, pessoa física. Em se tratando de pessoa jurídica: razão social, número do registro de seus atos constitutivos no Órgão de Registro de Comércio competente, endereço e número de inscrição no Cadastro Geral dos Contribuintes do Ministério da Fazenda;
- II. prova de recolhimento dos respectivos emolumentos;
- III. designação das substâncias a pesquisar;
- IV. indicação da extensão superficial da área objetivada, em hectares, e do Município e Estado em que se situa;
- V. memorial descritivo da área pretendida, conforme definido na Portaria DNPM nº 15/1997;
- VI. planta de situação, cuja configuração e elementos de informação estão estabelecidos na Portaria DNPM nº 15/1997; e
- VII. plano dos trabalhos de pesquisa, acompanhado do orçamento e cronograma previstos para a sua execução; além da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do técnico responsável por sua elaboração.

Da mesma forma que para o regime de licenciamento, desde o dia 2 de maio de 2006, pela Portaria DNPM nº. 268, de 27 de setembro de 2005, é obrigatório pré-requerimento eletrônico de direitos minerários, a ser preenchido no sítio do DNPM na internet, preenchido, impresso e protocolizado na forma e prazo fixados na Portaria 268/2005, no Distrito em cuja circunscrição situa-se a área pretendida, onde será numerado, autuado e registrado.

Para preencher o pré-requerimento é necessário cadastrar o requerente (pessoa física ou jurídica) no DNPM. Isto também é feito via eletrônica, acessando o site do DNPM – www.dnpm.gov.br, preenchendo a ficha cadastral; se pessoa física, deve ser brasileiro, maior de 21 anos ou emancipado aos 18 anos; se pessoa jurídica, a empresa tem que ser constituída sob as leis brasileiras e ter sede e administração no Brasil, sob a forma da Lei (artigo 176 da Constituição da República); quando do cadastramento, o formulário de cadastro emitido pelo DNPM deve ter a assinatura do requerente reconhecida em cartório, assim como os documentos pessoais do mesmo (Registro Geral – RG, CPF, comprovante de residência) devem ter suas cópias autenticadas.

No DOU será publicada a aprovação do Alvará de Pesquisa; a data dessa publicação servirá para determinar o prazo de validade do alvará, que é de dois anos ou três, em alguns casos. O DNPM, através de correspondência própria, comunicará ao requerente a aprovação do alvará.

Deverá o requerente comunicar ao DNPM no prazo de sessenta dias, a partir da publicação do alvará, o início das pesquisas, sob o risco de multa, por falta de cumprimento de prazo.

Finalizado o prazo de validade de cada Alvará de Pesquisa, o requerente apresentará ao DNPM um Relatório Final de Pesquisa Positivo, se a área objeto dos trabalhos de pesquisa apresentar indícios da ocorrência de um depósito mineral, que possibilite seu futuro aproveitamento econômico ou um Relatório Final de Pesquisa Negativo, se a área não possuir indícios de que possa encerrar um depósito mineral de valor econômico. Uma terceira opção que pode ser adotada é solicitar ao DNPM, até sessenta dias antes do prazo de vencimento do alvará, a prorrogação do prazo

de vigência do mesmo, pelo prazo permitido em lei devido à impossibilidade de execução de todos os trabalhos de pesquisa anteriormente previstos.

Uma indenização aos proprietários, ou posseiros, dos terrenos deve ser acertada entre as partes (requerente e proprietários), de modo a cobrir os danos e prejuízos causados pelos trabalhos de pesquisa. Este acordo, que também pode ser obtido por via judicial, deve ser anexado ao processo.

Durante o prazo de vigência do Alvará de Pesquisa, será pago anualmente pelo requerente ao DNPM a Taxa Anual por Hectare – TAH – no valor de R\$ 2,02 por hectare requerido. O pagamento que pode ser feito até ao último dia dos meses de janeiro ou julho, a depender da data de publicação do alvará. Se for publicado entre janeiro e junho, o pagamento deve ser feito até 31 de julho, e se o alvará for publicado entre julho e dezembro, o pagamento deve se efetuado até 31 de janeiro.

Outros aspectos devem ser abordados neste item do presente capítulo, a saber:

Durante o prazo de vigência do Alvará de Pesquisa, o titular do alvará pode requerer ao DNPM uma Guia de Utilização, para poder explorar provisoriamente uma determinada tonelage do bem mineral existente na área, visando custear as pesquisas em curso ou a fim de realizar testes de beneficiamento para o bem mineral em questão. A tonelage do bem mineral a ser lavrado varia de acordo com o tipo de minério e para as rochas ornamentais é de 16.000 toneladas. A Guia de Utilização é um tipo de permissão temporária muito útil para o setor de rochas ornamentais, pela necessidade desse tipo de produto ser apresentado ao mercado para se determinar a viabilidade técnico-econômica do empreendimento mineiro. Por não serem *commodities*, para poder determinar o valor de mercado de um mármore ou um granito, devem se extrair blocos de tamanho comercial (amostragem) em uma lavra experimental, desdobrá-los em chapas e dar acabamento a estes (testes tecnológicos) para, em seguida, oferecer os produtos ao mercado.

Deve o requerente, quando da protocolização do pedido de Guia de Utilização no DNPM, anexar uma Autorização Ambiental, fornecida pelo órgão ambiental estadual.

O não pagamento da TAH, nos prazos previstos em lei, implica em multa de R\$ 2.036,39, para cada alvará de pesquisa requerido. A não comunicação ao DNPM do início dos trabalhos de pesquisa, no prazo de sessenta dias após a publicação do alvará, também implica em multa. A inadimplência dos pagamentos implica na colocação do nome do requerente na lista de Devedores da Dívida Ativa da União, com as implicações daí resultantes.

O alvará de pesquisa poderá ser suspenso se as atividades de pesquisa programadas para a área forem desenvolvidas de forma contrária às especificações previstas no Código de Mineração e legislações correlatas.

Regime de concessão de lavra

Deve ser solicitada a Portaria de Lavra no DNPM após o cumprimento dos dispositivos legais e técnico-administrativos em relação ao regime de autorização de pesquisa que seriam a apresentação de um Relatório Final de Pesquisa Positivo, aprovado pelo DNPM que pode visitar a área com esse fim e, posteriormente, apresentação de um Plano de Aproveitamento Econômico - PAE, que também deve ser aprovado pelo DNPM, para a jazida em questão. Caberá ao Ministro de Minas e Energia outorgar a Portaria de Lavra, a qual será publicada no DOU. O DNPM, após visita à área, concederá ao titular do processo a Emissão de Posse da jazida.

A Portaria de Lavra, que não tem prazo de validade preestabelecido, terá, em tese, um tempo de vigência igual ao da vida útil da mina. Pode dita portaria ser suspensa quando as atividades previstas para a lavra não forem realizadas de acordo com o Código de Mineração e legislações correlatas, ou quando contrárias ao interesse público.

O acompanhamento por parte do DNPM, sobre o desenvolvimento da exploração mineral na área com Portaria de Lavra, é anualmente feito através dos Relatórios Anuais de Lavra - RAL, que têm prazo até ao dia 15 de março de cada ano, para serem apresentados ao DNPM, via internet. A paralisação parcial ou final dos trabalhos de lavra deve ser comunicada ao DNPM.

Indenizações específicas ao proprietário ou posseiro da área, na qual se situa a jazida, devem ser realizadas, já que os mesmos têm direito a 50% sobre o valor obtido no cálculo de Compensação Financeira Pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM. A base de cálculo para este imposto, obtida a partir do faturamento líquido resultante da venda ou transferência do bem mineral, levando em conta a classificação do bem, é a seguinte:

- 3% - para minérios de alumínio, manganês, sal-gema e potássio;
- 2% - para minérios de ferro, fertilizantes, carvão e demais bens minerais, com exceção do ouro; e
- 1% - para o ouro, pedras preciosas e metais nobres.

A base de cálculo da CFEM para rochas ornamentais é de 2% do valor do faturamento líquido da venda de produtos finais da empresa que podem ser blocos, chapas, ladrilhos ou outras peças, dependendo de sua estrutura.

No regime de autorização e concessão devem ainda ser obtidas licenças ambientais específicas em cada fase: Licença de Prévia - LP, na fase de pesquisa, Licença de Instalação - LI, para realizar a abertura da pedreira e Licença de Operação - LO - ou Licença Simplificada - LS, para a fase de operação e produção. As questões ambientais relacionadas às atividades de lavra, são abordadas com mais detalhes no item 3 deste capítulo.

2.3. Novo marco regulatório da mineração (PL 5807/2013)

Apesar de estar sendo ainda discutido, menciona-se aqui o projeto de lei novo marco regulatório para a mineração, que trata da criação do Conselho Nacional de Mineração, da Agência Nacional de Mineração e do novo Código de Mineração, pois, se aprovado, trará mudanças substanciais aos regimes de aproveitamento dos bens minerais, que passariam a ser por contrato, com ou sem licitação ou autorização para bens minerais de extração simples. A tabela 1 resume as principais mudanças propostas.

O projeto traz expectativas positivas para o setor de rochas ornamentais que, pela primeira vez, podem não ser categorizadas como *commodities* e a elas não se aplicaria o regime de concessão por contrato mostrado na tabela 1. As rochas ornamentais entrariam no grupo de substâncias cuja extração seria com Regime de Autorização de Aproveitamento Mineral, que incluiria: substâncias minerais para emprego imediato na construção, filitos e outros materiais para cargas minerais, argilas destinadas à fabricação de revestimentos, tijolos, telhas e afins, água mineral e minérios empregados como corretivo de solo na agricultura. Isto, caso aprovado, viria facilitar e agilizar os processos de obtenção de permissões legais, diminuir o nível de exigência das operações de lavra e desonerar os produtores, reduzindo o valor de tributos e taxas.

Tabela 1 - Principais mudanças no projeto do novo Código de Mineração para o regime de concessão.

Principais mudanças	Código de mineração atual	Projeto de lei nº 5.807
Regime de acesso	Prioridade	Licitação ou chamada pública
Instrumento de outorga	Portaria MME	Contrato de concessão
Prazo do contrato	Não há	Definido em edital (máximo de 40 anos, prorrogáveis por períodos de até 20 anos)
Crítérios para renovação	Não há	Adimplemento aos termos do contrato
Cessão e transferência de direitos	Averbação pelo DNPM	Anuência prévia pelo Poder Concedente
Regulação	Lei estabelece regras e prazos para apresentação de requerimentos; designa os elementos de informação e prova aceitáveis; descreve o conteúdo pormenorizado do Plano de Aproveitamento Econômico da jazida; estabelece as obrigações do concessionário	Lei estabelece as obrigações do Concessionário e os fundamentos para extinção da Concessão. As normas e procedimentos técnicos serão estabelecidos por atos do órgão regulador
Sanções administrativas	Multa e caducidade	Multa até R\$ 100 milhões; suspensão temporária das atividades; caducidade; e apreensão de minérios, bens e equipamentos.

Fonte: MME, 2013.

3. Legislação ambiental

A proteção do ambiente, dever do Estado em seus diversos níveis, insere-se, pela Constituição Federal de 1988, naquelas matérias em que há competência material comum (artigo 23) e naquelas em que a competência formal é concorrente (em relação aos Estados e à União). Portanto, todos os entes federados detêm, de uma forma ou de outra, competência para dispor sobre a proteção do ambiente.

A Constituição Federal, pelo artigo 24, incisos VI e VII, autoriza expressamente os Estados da Federação a legislaem concorrentemente à União sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição; proteção ao patrimônio histórico, cultural, artístico, turístico e paisagístico; e, pelo artigo 30, incisos I e II, autoriza os municípios a suplementar a legislação federal e estadual no que couber.

O artigo 24 fixa, em seu parágrafo 1º, a competência da União em estabelecer apenas normas gerais, e não exclui a competência de suplementar a legislação emanada pela União, dos Estados. Em seus parágrafos 2º e 3º, atribui competência legislativa plena aos Estados para atenderem suas

peculiaridades, em caso de inexistência de lei federal, em caso de superveniência, as normas gerais federais prevalecerão, suspendendo-se a eficácia de regras que as contrariem.

Isto quer dizer que os Estados e municípios têm plena competência para legislarem em matéria ambiental, desde que não contrariem preceitos estabelecidos pelas leis federais, ou seja, desde que não tragam disfarçada desobediência às regras gerais. Desse modo, governos estaduais e prefeituras municipais podem tornar as normas federais mais restritivas, mas nunca menos restritivas do que aquelas válidas em todo território nacional.

Por outro lado, cumpre consignar que, muito embora a competência legislativa seja concorrente, a competência executiva para “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”, bem como para “preservar as florestas, a fauna e a flora”, é comum, conforme determinado pelo artigo 23 da Constituição Federal, entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os municípios, cabendo a qualquer destes entes à atribuição/responsabilidade de promover ações aptas a tais fins.

É importante lembrar que, no regime federativo, não há propriamente uma hierarquia entre União, Estados e municípios. O que existe são recortes territoriais de competência e reserva de iniciativa em alguns deles.

A Resolução CONAMA nº 237/97 reafirmou os princípios de descentralização da política ambiental e buscou determinar as competências correspondentes aos níveis de governo federal, estadual e municipal para sua realização.

A Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989, que alterou alguns dispositivos da Lei nº 6.938/81 estabeleceu que, no caso de empreendimentos de âmbito nacional ou regional com significativo impacto ambiental, o licenciamento passa a ser de competência exclusiva do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. A Resolução CONAMA nº 237/97 define como Impacto Ambiental Regional todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente (área de influência direta do projeto), no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados.

O licenciamento ambiental em nível federal pode ocorrer ainda em casos onde o licenciamento ambiental for considerado de significativo impacto ambiental de âmbito nacional. Quando o licenciamento for considerado inadequado em relação aos procedimentos adotados ou por inexistência de condições técnico-administrativas, o licenciamento ambiental em nível federal é considerado de caráter supletivo, conforme o estabelecido pela Lei nº 6.938/81, no seu artigo 10º.

Os órgãos estaduais de meio ambiente preenchem as condições para exercerem o licenciamento ambiental, embora cada um dos Estados e o Distrito Federal apresentem diferentes condições de implantação dos seus respectivos sistemas de licenciamento ambiental. O licenciamento ambiental é realizado após considerar o exame procedido no município onde se localiza a atividade ou empreendimento e examinar o parecer dos demais órgãos envolvidos no processo de licenciamento.

Compete aos órgãos municipais de meio ambiente, segundo a Resolução CONAMA nº 237/97, o licenciamento de empreendimentos e atividades de impacto local, ou seja, aqueles que se circunscrevam aos limites do território municipal, e outras que lhes forem delegadas pelos Estados, através de instrumentos legais e convênios. Assim, devem caber aos municípios as atividades de licenciamento e controle ambiental, tais como poluição do ar por veículos, controle industrial, drenagem urbana, contaminação de águas subterrâneas e coleta e tratamento de águas, resíduos sólidos e esgoto sanitário, bem como regular o uso e a ocupação do solo.

O desenho institucional evidencia que a preservação, conservação, defesa, recuperação e melhoria do meio ambiente natural, artificial e do trabalho, são deveres da União, dos Estados e do

Distrito Federal e dos municípios, com a participação da coletividade, atendidas as peculiaridades regionais e locais e em harmonia com o desenvolvimento social e econômico. Isto quer dizer que os órgãos pertencentes ao Sistema Nacional de Meio Ambiente – Sisnama, dentro de suas esferas de competência, têm a obrigação legal de fazer valer os imperativos da Política Nacional de Meio Ambiente, seus mecanismos e instrumentos, ainda que não exista, no nível estadual ou municipal, norma ambiental própria. Cabe aos órgãos ambientais impor sanções e penalidades às atividades que não atendam à legislação ambiental. O atendimento aos padrões ambientais de controle de emissões pelas atividades consideradas potencialmente poluidoras é aferido, pelos órgãos governamentais, por meio de ações de inspeção e fiscalização realizadas periodicamente.

Além dos aspectos estabelecidos na Lei nº 6.938/81, quanto às penalidades aplicáveis aos que não atenderem às medidas necessárias à preservação ou correção dos danos gerados à qualidade ambiental, o descumprimento da legislação foi fortalecida, recentemente, com as inovações introduzidas pela Lei nº 9.605, de 13 de fevereiro de 1998. Entre os aspectos introduzidos, destacam-se a responsabilização da pessoa jurídica e a forma de penalização às condutas danosas ao meio ambiente. A responsabilização estende-se aos planos administrativo, civil e penal das empresas quando cometerem infração “por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou benefício da sua entidade” (artigo 3º).

A supressão de vegetação em APP, de acordo com o artigo 2º poderá ser autorizada pelo órgão ambiental competente somente se devidamente caracterizada e motivada mediante procedimento administrativo autônomo e prévio, e atendidos os requisitos previstos nessa resolução e outras normas federais, estaduais e municipais aplicáveis, bem como no Plano Diretor, Zoneamento Ecológico-Econômico e Plano de Manejo das Unidades de Conservação, se existentes, somente em alguns casos de Utilidade Pública para atividades de pesquisa e extração de substâncias minerais, outorgadas pela autoridade competente, exceto areia, argila, saibro e cascalho.

O Estudo de Impacto Ambiental – EIA, que é exigido para o licenciamento ambiental de qualquer atividade de aproveitamento de recursos minerais e dele se distingue, tem sua definição, normas e critérios básicos e diretrizes de implementação estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 001/1986.

A exigência do EIA aplica-se aos empreendimentos mineiros de toda e qualquer substância mineral. Entretanto, para as substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, em função das características do empreendimento, poderá ser dispensada a apresentação do EIA. Nesse caso, a empresa de mineração deverá apresentar o Relatório de Controle Ambiental – RCA, em conformidade com as diretrizes do órgão ambiental estadual competente.

A obtenção do Licenciamento Ambiental é obrigatória para a localização, instalação ou ampliação e operação de qualquer atividade de mineração objeto dos regimes de concessão de lavra e licenciamento.

3.1. Licenças ambientais

A Licença Ambiental, como definida na Resolução nº 237/97, é o

“ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadores dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.”

O Sistema de Licenciamento Ambiental é o processo administrativo sistemático das consequências ambientais da atividade que se pretenda desenvolver, desde sua fase de planejamento, e das medidas adotadas para seu controle por meio da emissão de três licenças sucessivas e pela verificação de restrições determinadas em cada uma delas. Inclui os procedimentos de acompanhamento das licenças concedidas, por meio da inspeção e verificação periódica realizada pelos órgãos ambientais. Portanto, trata-se de uma poderosa ferramenta de planejamento para o empreendedor e não um simples ato administrativo.

Esse licenciamento está regulado pelo Decreto no 99.274/1990, que dá competência aos órgãos estaduais de meio ambiente para expedição e controle das seguintes licenças:

Licença Prévia – LP

A ser expedida na fase de planejamento e concepção de um novo empreendimento ou atividade, contendo os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo. Sua concessão depende das informações sobre a concepção do projeto, sua caracterização e justificativa, a análise dos possíveis impactos ao ambiente e das medidas que serão adotadas para o controle e mitigação dos riscos ambientais.

A LP estabelece as condições para a viabilidade ambiental do empreendimento ou atividade, após exame dos impactos ambientais por ele gerados, dos programas de redução e mitigação de impactos negativos e de maximização dos impactos positivos, permitindo assim, que o local ou trajeto escolhido como de maior viabilidade tenha seus estudos e projetos detalhados.

Em projetos de significativo impacto ambiental será exigida a realização de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e o correspondente Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA, como condicionantes para a obtenção da licença prévia. Estes instrumentos foram normalizados pela Resolução nº 001/86 do Conama e, complementarmente, pela Resolução nº 237/97.

Licença de Instalação – LI

A ser expedida após análise das especificações do Projeto Executivo do empreendimento e da apresentação dos planos, programas e projetos, onde serão apresentados o atendimento das condicionantes da LP e as informações detalhadas do projeto, processos e tecnologias adotadas para a neutralização, mitigação ou compensação dos impactos ambientais provocados, assim como os procedimentos de monitoramento ambiental.

A LI precede os procedimentos de efetivo início de implantação da atividade ou empreendimento.

Licença de Operação – LO

A ser expedida para autorizar o início da operação da atividade ou empreendimento, após as verificações necessárias do funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição e do atendimento das condicionantes constantes nas Licenças, Prévia e de Instalação.

As licenças ambientais poderão ser expedidas isoladas ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

O Conama definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas também neste caso, a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento, e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

O Ibama sempre que necessário estabelecerá procedimentos de pré-operação visando adequar e compatibilizar as características do empreendimento ao processo de licenciamento.

A Resolução CONAMA nº 237/97 também prevê o estabelecimento de critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que programem planos e programas voluntários de gestão ambiental, visando a melhoria contínua e o aprimoramento do desempenho ambiental.

Os prazos para emissão e validade de cada licença poderão variar de acordo com a modalidade de licença e as normas federais e estaduais vigentes. Entretanto, o artigo 18, da Resolução CONAMA nº 237/97, estabelece diretrizes e considerações sobre a determinação dos prazos de validade para as licenças em geral, como visto adiante.

Os prazos de análise poderão ser diferenciados para cada modalidade, observado o prazo máximo de seis meses a contar do protocolo do requerimento até seu deferimento ou indeferimento, ressalvados os casos em que houver EIA/RIMA e audiência pública, quando o prazo máximo é de até doze meses. A contagem do prazo é suspensa durante a elaboração de complementações ou preparação de esclarecimentos pelo empreendedor. Estes prazos podem ser alterados mediante justificativa do empreendedor e concordância do Ibama.

O atendimento às solicitações de esclarecimentos ou complementações deve ser realizado em até quatro meses, a contar do recebimento da respectiva notificação. Também neste caso o prazo poderá ser prorrogado, desde que justificado pelo empreendedor e com a concordância do Ibama.

O Ibama poderá estabelecer prazos de validade específicos para a Licença de Operação de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridades, estejam sujeitos a encerramento ou modificação em prazos inferiores.

No que se refere à renovação da LO, esta deve ser requerida com antecedência mínima de 120 dias da expiração de seu prazo de validade, ficando automaticamente prorrogada até a manifestação final do Ibama. Na renovação, o Ibama poderá aumentar ou diminuir o prazo de validade após avaliação do desempenho da atividade ou empreendimento, respeitado o limite mínimo e máximo para esta licença.

A Tabela 2 apresenta uma síntese das atribuições institucionais com relação à mineração e meio ambiente.

Tabela 2 - Distribuição das Atribuições Governamentais em Relação a Proteção Ambiental e Planejamento da Mineração.

Atividade de mineração	Poder municipal	Poder estadual	Poder federal
Requerimento de Concessão ou Licença	Leis de Uso e Ocupação do Solo	Licença Ambiental por Legislação Federal	Deferimento ou Indeferimento
Pesquisa Mineral	Leis de Uso e Ocupação do Solo	Licença Ambiental por Legislação Federal	Acompanhamento Aprovação ou Negação
Lavra Mineral	Alvará de Funcionamento	Análise do EIA/RIMA e Licença Ambiental por Legislação Federal	Acompanhamento e Fiscalização Mineral
Recuperação da Área Minerada	Definição do Uso Futuro do Solo	Licença Ambiental por Legislação Federal	

Fonte: Sintoni, 1994.

Está claro que, uma das dificuldades está na delimitação das fronteiras de responsabilidade entre as três esferas de poder (União, Estado e Município), com vistas à área de competência para a atividade mineral.

Existem incompatibilidades entre as disposições das leis de zoneamento municipais e a vocação mineral das zonas estabelecidas na legislação municipal de uso e ocupação do solo.

Os impactos causados pela mineração, associados à competição pelo uso e ocupação do solo, geram conflitos socioambientais pela falta de metodologias de intervenção, que reconheçam a pluralidade dos interesses envolvidos. Os conflitos gerados pela mineração, inclusive em várias regiões metropolitanas no Brasil, devido à expansão desordenada e sem controle dos loteamentos nas áreas limítrofes, exige uma constante evolução na condução dessa atividade para evitar situações de impasse.

3.2. Consultas e pareceres de órgãos estaduais e municipais

No processo de licenciamento ambiental, o Ibama faz o licenciamento considerando o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, conforme estabelecido no parágrafo 1º, do Art. 4º, da Resolução CONAMA nº 237/97.

Os órgãos estaduais e municipais envolvidos têm sua participação por meio de pareceres, considerados em conjunto com os demais critérios durante o processo de análise ambiental conduzido pelo Ibama. Essa participação também se dá por meio de contribuições para elaboração do Termo de Referência e acompanhamento das vistorias e das Audiências Públicas. Para tanto, o Ibama deverá estabelecer prazos a serem obedecidos para tais manifestações, nos termos dos artigos 14 e 16 da mesma Resolução.

Cabe ressaltar que no procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão das municipalidades declarando a conformidade da localização e do tipo de empreendimento ou atividade com a legislação de uso e ocupação do solo urbano. Portanto, a Licença Prévia só será emitida após a apresentação da referida certidão.

3.3. Exploração de recursos minerais

O DNPM é a autarquia responsável pela exploração mineral, com competência para promover a concessão relativa à exploração e ao aproveitamento dos recursos minerais e baixar normas, em caráter complementar, exercendo a fiscalização sobre o controle ambiental das atividades de mineração, em articulação com os órgãos responsáveis pelo meio ambiente. Os empreendimentos que se destinem a exploração de recursos minerais deverão, quando do desenvolvimento dos procedimentos de licenciamento ambiental, apresentar documentos próprios a este tipo de atividade.

Desta forma, quando da apresentação do EIA e do correspondente RIMA para obtenção da LP, devem submeter à aprovação do Ibama: Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD, por determinação do Decreto no 97.632/89. Entende-se como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades originais, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

A obtenção de Permissão de Lavra Garimpeira, emitida pelo DNPM, instituída pela Lei no 7.805/89 e regulamentada pelo Decreto no 98.812/90, depende de prévio licenciamento concedido pelo órgão ambiental competente. Nos casos previstos na Resolução CONAMA 237/97 cabe ao Ibama este licenciamento.

Pela Resolução CONAMA no 009/90, a obtenção da LI para as atividades de lavra e/ou beneficiamento mineral das classes I, III, IV, V, VI, VII, VIII, e IX, excetuado o regime de permissão de lavra garimpeira, depende de apresentação de comunicado do DNPM julgando satisfatório o PAE. A obtenção da LO, por sua vez, exige a apresentação de cópia da Portaria de Lavra, emitida pelo DNPM.

O licenciamento da exploração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil (conhecidas também como material de Classe II, segundo a antiga classificação mencionada abaixo, ainda vigente) é regulamentado pela Resolução CONAMA no 010/90, que determina a precedência do licenciamento ambiental do Ibama nos casos de empreendimentos de fronteira ou de significativo impacto ambiental. O DNPM exige a apresentação da LI para a concessão do Registro de Licenciamento. Para a obtenção da LO, o empreendedor deverá apresentar ao Ibama cópia deste Registro.

Na figura 1 ilustra-se, de forma resumida, um fluxograma de processos minerários e ambientais e sua interdependência.

4. Análise de riscos e recuperação ambiental

Toda atividade gera impactos no meio ambiente. A Tabela 3 indica os principais aspectos ambientais e impactos negativos associados das operações produtivas de rochas ornamentais, na lavra e no beneficiamento. Especialmente a lavra de rochas ornamentais provoca alterações nos meios físico, biótico e socioeconômico, que são detalhadas a continuação.

4.1. Alterações no meio físico

A atividade de mineração, como qualquer outra atividade extrativista, ocasiona impactos ambientais, e pode interferir na qualidade da água e do ar e na potencialidade do solo. A seguir, são pontuadas as principais alterações para o meio físico que devem ser levadas em consideração quando da elaboração das medidas de controle ambiental e de recuperação das áreas afetadas pela atividade.

Alterações decorrentes da ação das intempéries sobre o substrato desnudo

Quando uma determinada quantidade de água chega à superfície de um solo não saturado ou mesmo de substrato rochoso fraturado, inicia-se um processo de infiltração, essencialmente vertical, em decorrência da ação conjunta de forças capilares e gravitacionais. A ação das águas das chuvas gera dois impactos de caráter direto, negativo, temporário, local e reversível: erosão e assoreamento.

Emissão de particulados

A emissão de particulados para a atmosfera ocorre principalmente de fontes móveis, como a poeira proveniente das vias de acesso interna e externas, e dos pátios de estocagem constituídos de terra batida e por vezes desprovidos de cobertura vegetal ou através de fonte fixa, no caso das pilhas de estocagem do minério e pilha de estéril quando houver. As principais fontes e emissão são:

- Serviços de decapeamento;
- serviços de perfuração de rocha;
- serviços de desmonte;
- serviços de escavação; e
- serviços de carregamento e transporte interno.

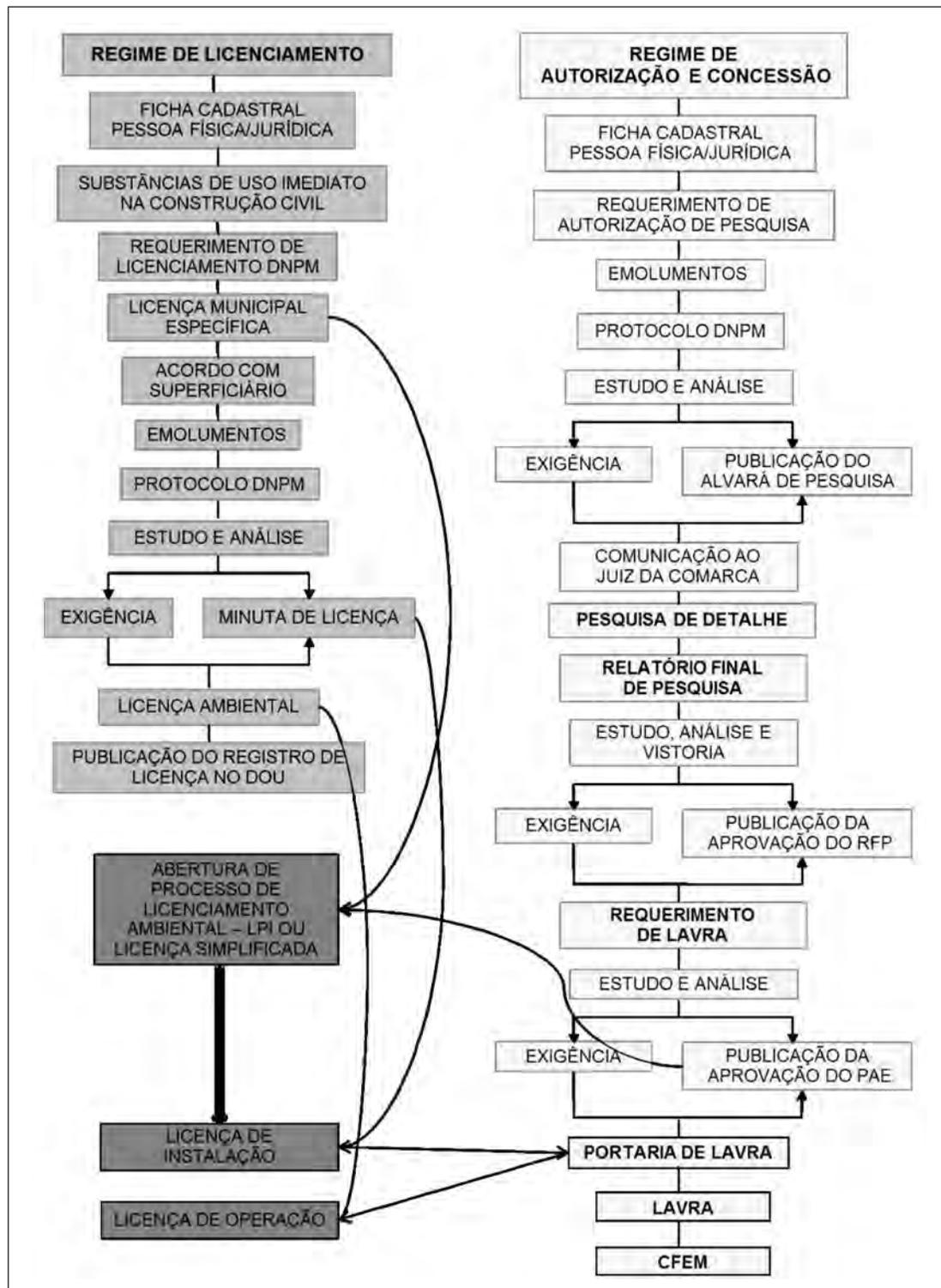


Figura 1 - Processos de licenciamento. Elaborada por Rosana Elisa Coppedê da Silva e Luciana Marelli Mofati CETEM/MCTI, 2013.

Tabela 3 - Principais aspectos ambientais e impactos negativos associados.

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental Negativo
Remoção da vegetação para decapeamento na mineração ou para instalação de edificações para serragem ou para marmoraria.	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da cobertura vegetal; • perda de habitat para a fauna; e • impacto visual pela alteração da paisagem, particularmente no caso da mineração.
Exposição de solo pelas escavações realizadas na mineração e por cortes e aterros em áreas industriais.	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleração do processo de erosão pela água podendo acarretar turvamento da água de cursos d'água e assoreamento. O turvamento da água pode prejudicar captações existentes a jusante. O assoreamento dos cursos d'água pode facilitar a ocorrência de inundações em época de chuvas cujas consequências vão depender do tipo de forma de uso e ocupação afetada.
Ultralancamento de fragmentos de rocha decorrente de fogacho na mineração.	<ul style="list-style-type: none"> • As consequências vão depender do que for eventualmente atingido, podendo variar de danos materiais até ferimentos e mesmo óbito.
Ruído decorrente da utilização de martelotes no desbaste de blocos, do funcionamento de teares de serragem de bloco e do funcionamento de serras e politrizes no corte e polimento de placas.	<ul style="list-style-type: none"> • O ruído pode causar de simples incômodo até comprometimento irreversível da audição. Geralmente, os impactos decorrentes de ruídos ficam restritos à área do empreendimento, tornando-se um problema de saúde e segurança do trabalho.
Emissão de partículas sólidas para a atmosfera no fogacho, a partir do uso de martelotes no desbaste de blocos de rocha e na circulação de veículos na mineração e no corte e polimento de placas de rocha.	<ul style="list-style-type: none"> • A emissão de partículas sólidas para a atmosfera compromete a qualidade do ar, podendo acarretar problemas no sistema respiratório, particularmente nas pessoas que trabalham próximas do local onde se desenvolvem operações que emitem partículas sólidas, sendo assim, um problema mais afeito à saúde e segurança do trabalho; e • no caso de partículas sólidas se depositarem sobre a vegetação, pode prejudicar os processos de fotossíntese e respiratório vegetal, causando a degradação da cobertura vegetal existente nas proximidades.
Geração de resíduos sólidos na mineração e no acabamento de placas ou peças.	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos sólidos descartados de forma irregular podem acarretar danos à vegetação; e • impacto visual.
Geração de resíduos líquidos (polpas) na serragem e no acabamento de placas ou peças.	<ul style="list-style-type: none"> • Polpas liberadas sem tratamento podem acarretar o turvamento da água de cursos d'água e seu assoreamento. O turvamento da água pode prejudicar captações existentes a jusante. O assoreamento dos cursos d'água pode facilitar a ocorrência de inundações em época de chuvas cujas consequências vão depender do tipo de forma de uso e ocupação afetada.
Vazamento de combustíveis e óleos em geral a partir de equipamentos ou tanques utilizados na mineração, na serragem e na marmoraria.	<ul style="list-style-type: none"> • Dependendo da quantidade de óleo, pode ocorrer contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.
Manipulação de produtos químicos na mineração e na marmoraria.	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuais acidentes durante a manipulação de produtos químicos, como resinas e óleos, podem prejudicar a saúde do trabalhador e, caso atinjam o solo, acarretar contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.
Acidentes com veículos que transportam produtos da mineração, serragem e marmoraria.	<ul style="list-style-type: none"> • Atropelamentos de animais silvestres e pessoas, que podem acarretar de ferimentos a óbitos.

Fonte: Mello et al., 2004.

Efluentes líquidos

Como qualquer outra atividade que envolva pessoas e máquinas, a exploração de uma área, produzirá efluentes líquidos que se não forem corretamente mitigados e monitorados, ocasionarão a contaminação de córregos, lençóis freáticos e solos. Os principais agentes de contaminação são:

- Resíduos provenientes da lavagem, lubrificação e manutenção de equipamentos, que devem ser devidamente tratados;
- o esgoto proveniente das instalações sanitárias que deve ser conduzido a fossas sépticas e sumidouros, e realizadas limpezas de fossa a cada seis meses por empresas especializadas;
- a água oriunda das frentes de lavra, das vias de acesso e pátios de estocagem que em períodos chuvosos desloca-se saturada em particulados e deve ser sedimentada em caixas de decantação; e
- o tanque de abastecimento de combustível que pode gerar a contaminação do lençol freático, caso haja vazamentos para o subsolo.

Impactos causados pelas detonações

- Vibração.
- Impacto de ar ou air blast.
- Emissão de gases.
- Danos à rocha remanescente.

Alteração paisagística

Os principais impactos observados na paisagem com a implantação de uma mina referem-se às alterações nos seguintes elementos paisagísticos: forma, coloração, tonalidade e textura. A descaracterização torna-se mais evidente quando se utilizam como parâmetros as formas de vegetação no entorno da mineração.

4.2. Alterações no meio biótico

A mineração se distingue de outras atividades industriais pela extrema variedade de situações em que pode se processar, conflitando de alguma forma com esses ambientes. Isto se deve, em primeiro lugar, à própria diversidade de bens minerais que podem ocorrer em diferentes tipos de jazimentos, condicionando a utilização de tecnologias específicas de extração e beneficiamento.

Outras atividades provocaram impactos diretos no passado, como a implantação de campos de pastagem para atividades pecuárias.

Tais modificações, que trouxeram maior impacto na modificação do meio biótico, devem-se basicamente à retirada de vegetação existente.

No que é pertinente à fauna, pode ocorrer um êxodo de espécies silvestres, devido ao ruído gerado pela movimentação de máquinas, pessoas e equipamentos, essa possível migração dos animais provavelmente ficou contida nos diversos refúgios de mata dentro da própria região.

4.3. Alterações no meio socioeconômico

Os impactos socioeconômicos decorrentes da atividade de mineração se resumem principalmente à alteração do espaço físico no qual está instalada a pedreira e a dinâmica social. Os prin-

cipais impactos, descritos a seguir, podem ser avaliados sob aspectos opostos, em determinados casos como nitidamente negativos, enquanto que em outros positivos, dependendo das circunstâncias em que se sucedem e como são tratados. Assim podemos citar:

- Alterações paisagísticas citadas anteriormente.
- Incômodos devido aos ruídos, emissão de poeira e águas turvas, porém todos de baixa expressão.
- Alteração das formas de uso do solo.
- Substituição das atividades econômicas.
- Aumento da oferta de empregos.
- Incremento da atividade econômica.
- Indução ao desenvolvimento local.
- Aumento da arrecadação tributária.
- Especialização da mão de obra local.

5. Bibliografia e referências

ALMEIDA, S.L.M. & Luz, A.B. Manual de Agregados para a Construção Civil. CETEM, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Normas Reguladoras da Mineração. Disponível em: http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_01.htm. Acessado em 10/02/2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Aspectos Práticos da Legislação Minerária Brasileira. Disponível em: http://www.ibram.org.br/150/15001005.asp?ttCD_CHAVE=9341. Acessado em 11/02/2012.

MELLO, I.S.C. *et al.* A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo, IPT/CNPq/MCT/SCTDET, 2004, 191p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Guerra, E. A. PROJETO DE LEI Nº 5.807/2013 – MARCO DA MINERAÇÃO e APLs de Base Mineral; Palestra X Seminário Nacional de APLs de Base Mineral e VII Encontro da RedeAPLmineral; Vitória - ES; 5-7 Nov. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Resumo do Novo Marco Regulatório da Mineração. Brasília, s.d. 3p. Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/noticias/resumo_marco_regulatorio_da_mineracao.pdf. Acessado em fevereiro de 2013.

_____. Novo Marco Legal da Mineração. Brasília, s.d. 22 p.. Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/noticias/SGM_Apres_Novo_Marco_Regulatorio_da_Mineralizacao.pdf. Acesso em fevereiro/2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Texto Básico sobre Impactos Ambientais no Setor de Extração Mineral, Brasília, 2001. Disponível em: www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/mineracao.doc. Acessado em 09/05/2013.

SINTONI, A. A mineração no cenário do município de São Paulo: mercado e novas tecnologias. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. Anais... São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 31-42

LEGISLAÇÃO MINERAL E AMBIENTAL VIGENTES PARA ROCHAS ORNAMENTAIS

Contexto legal e normativo

Apresenta-se a seguir, o contexto legal e normativo federal de meio ambiente e mineração a que se encontra sujeito o setor mineral, na forma de quadros-sínteses com ementas. Os quadros serão apresentados separados em aspectos constitucionais, leis, resoluções CONAMA e normas ABNT.

Aspectos constitucionais

A seguir, serão ressaltados os principais artigos que constituem o arcabouço constitucional para as questões de meio ambiente para o Setor Mineral no Brasil.

Quadro 1 - Aspectos constitucionais relacionados ao meio ambiente no setor mineral.

Artigo	Inciso	Ementa
20	IX	Define que são bens da União “os recursos minerais, inclusive os do subsolo”
22	XII	Estabelece que compete privativamente à União legislar sobre “jazidas, minas, outros recursos minerais e metalurgia”.
23	XI	Estabelece que é competência comum da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios “registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios”. O Parágrafo único deste artigo determina que “lei complementar fixará normas para a cooperação entre a União e os estados, o Distrito Federal e os municípios, tendo em vista o equilíbrio do desenvolvimento e do bem-estar em âmbito nacional”.
176	-	Estabelece que “As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra”. Os parágrafos 1º a 4º deste artigo definem como se dá a concessão para pesquisa e aproveitamento desses recursos, e como é dada a participação do proprietário do solo nos resultados desse aproveitamento.
225	-	Capítulo do Meio Ambiente: estabelece que “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. No § 1º, inciso IV, este artigo incumbe ao poder público “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. No § 2º, determina-se que “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”. Com relação às sanções penais, o parágrafo 3º estabeleceu que “as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar o dano”. O parágrafo 4º. estabeleceu que “A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional”.
231	III	Estabelece que “a pesquisa e a lavra de riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivadas com autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei”.

*Leis e decretos federais***Quadro 2** - Legislação federal relacionada ao meio ambiente no setor mineral.

Lei/ Decreto	Data	Ementa
Decreto- Lei 3.365	21/06/1941	Dispõe sobre desapropriação por utilidade pública (define mineração como sendo de "utilidade pública")
Decreto- Lei 7841	08/08/1945	Estabelece o código de Águas Minerais
Lei 3.824	13/11/1960	Torna obrigatória a destoca e consequente limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas e lagos artificiais
Lei 3.924	26/07/1961	Estabelece que o Poder Público, através do IPHAN, deve proteger os monumentos arqueológicos e pré-históricos, considerados bens da União
Lei 4.717	29/06/1965	Regula a ação popular
Lei 4.771	15/09/1965	Estabelece o Código Florestal
Lei 227	28/02/1967	Estabelece o Código de Mineração
Lei 5197	03/01/1967	Dispõe sobre a proteção da fauna
Lei 6.902	27/04/1981	Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental
Lei 6.938	31/08/1981	Estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente
Dec. 88.351	01/06/1983	Estabelece o Sistema Nacional de Meio Ambiente
Lei 7.347	24/07/1985	Disciplina as ações civis públicas por danos ao meio ambiente
Dec. 95.733	12/02/1988	Estabelece que, identificados efeitos negativos de natureza ambiental, cultural e social, serão incluídos no orçamento dos projetos e obras federais a destinação de no mínimo 1% deste para a prevenção ou correção desses efeitos
Dec. 96.044	18/05/1988	Aprova o regulamento para transporte rodoviário de produtos perigosos
Lei 7735	22/02/1989	Cria o IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
Lei 7804	18/07/1989	Estabelece competências do CONAMA para apreciação de EIA/RIMA de atividades de significativa degradação ambiental nas áreas consideradas Patrimônio Nacional pela Constituição Federal e do IBAMA para o licenciamento de obras ou atividades com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional

Lei/ Decreto	Data	Ementa
Lei 7805	18/07/1989	Estabelece o regime de permissão de lavra garimpeira
Dec. 97.507	13/02/1989	Dispõe sobre o licenciamento de atividade mineral, o uso de mercúrio e do cianeto em áreas de extração de ouro (garimpos)
Dec. 97.632	10/04/1989	Exige de todos os empreendimentos de mineração a apresentação de PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
Dec. 97.634	10/04/1989	Dispõe sobre o controle da produção e da comercialização de substâncias que comportam risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente
Dec. 98.973	21/02/1990	Aprova o regulamento para transporte ferroviário de produtos perigosos
Dec. 99.274	06/06/1990	Reformula o Dec. 88.351 de 01/06/83, regulamenta a Lei 6.938/81 que Estabelece o Sistema Nacional de Meio Ambiente e o Sistema de Licenciamento Ambiental
Dec. 99.556	01/10/1990	Dispõe sobre a proteção de cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional
Dec. 78	05/04/1991	Aprova a estrutura regimental do IBAMA
Dec. 750	10/02/1993	Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão da vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da mata atlântica
Dec. 1.205	01/08/1994	Aprova a estrutura regimental do Ministério do Meio Ambiente e Amazônia Legal
Dec. 1.298	27/10/1994	Aprova o regulamento das FLONAS (Florestas Nacionais)
Lei 9.055	01/06/1995	Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte de asbesto/amianto e dos produtos que o contenham
Lei 9.314	14/11/1996	Reformula o código de Mineração (Lei 227, de 28/02/1967)
Lei 9433	08/01/1997	Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos
Lei 9.605	12/02/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (“Lei de crimes ambientais”)
Dec. 2.783	17/09/1998	Dispõe sobre a proibição de aquisição de produtos ou equipamentos que contenham ou façam uso de substâncias que destroem a camada de ozônio
Lei 9.985	18/07/2000	Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação

Resoluções CONAMA**Quadro 3** - Resoluções do CONAMA relacionadas ao meio ambiente no setor mineral.

Resolução	Ementa
04/85	Estabelece que são consideradas Reservas Ecológicas as formações florísticas e as áreas de florestas de preservação permanente mencionadas no Artigo 18 da Lei 6.938/81, bem como as que estabelecidas pelo Poder Público de acordo com o que preceitua o Artigo 1º do Decreto 89.336/84
01/86	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para os relatórios de impacto ambiental
1A/86	Dispõe sobre transporte de produtos perigosos
06/86	Dispõe sobre a aprovação de modelos para publicação de pedidos de licenciamento
20/86	Dispõe sobre a classificação de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional e sobre os padrões de qualidade de águas e de lançamento de efluentes
05/87	Aprova o programa nacional de proteção ao patrimônio espeleológico
09/87	Dispõe sobre a realização de audiência pública
01/88	Estabelece critérios e procedimentos básicos para implementação do Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental, previsto na Lei 6.938 / 81
02/88	Proíbe qualquer atividade que possa pôr em risco a integridade de áreas de relevante interesse ecológico (ARIEs)
10/88	Estabelece as normas para Áreas de Proteção Ambiental - APA
05/89	Institui Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - Pronar
01/90	Estabelece critérios e padrões para emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais
03/90	Estabelece padrões primários e secundários de qualidade do ar
08/90	Estabelece limites máximos de emissão de poluentes do ar, previstos no PRONAR
09/90	Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral das classes I a IX exceto a classe II
10/90	Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral da classe II
10/93	Dispõe sobre os artigos 3º, 6º e 7º do Decreto 750/93 sobre parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão de mata atlântica
01/96	Dispõe sobre critérios básicas e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental
02/96	Dispõe sobre a compensação ambiental, à razão de 0,5% do valor do investimento total
229/97	Regulamenta o uso de substâncias controladas que destroem a camada de ozônio
237/97	Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente, inclusive estabelecendo as competências de licenciamento do IBAMA e dos órgãos estaduais de meio ambiente
249/99	Aprova as diretrizes para a política de conservação e desenvolvimento sustentável da mata atlântica

Outras Portarias e Resoluções

Quadro 4 - Portarias e Resoluções de outros órgãos federais relacionadas ao meio ambiente no setor mineral.

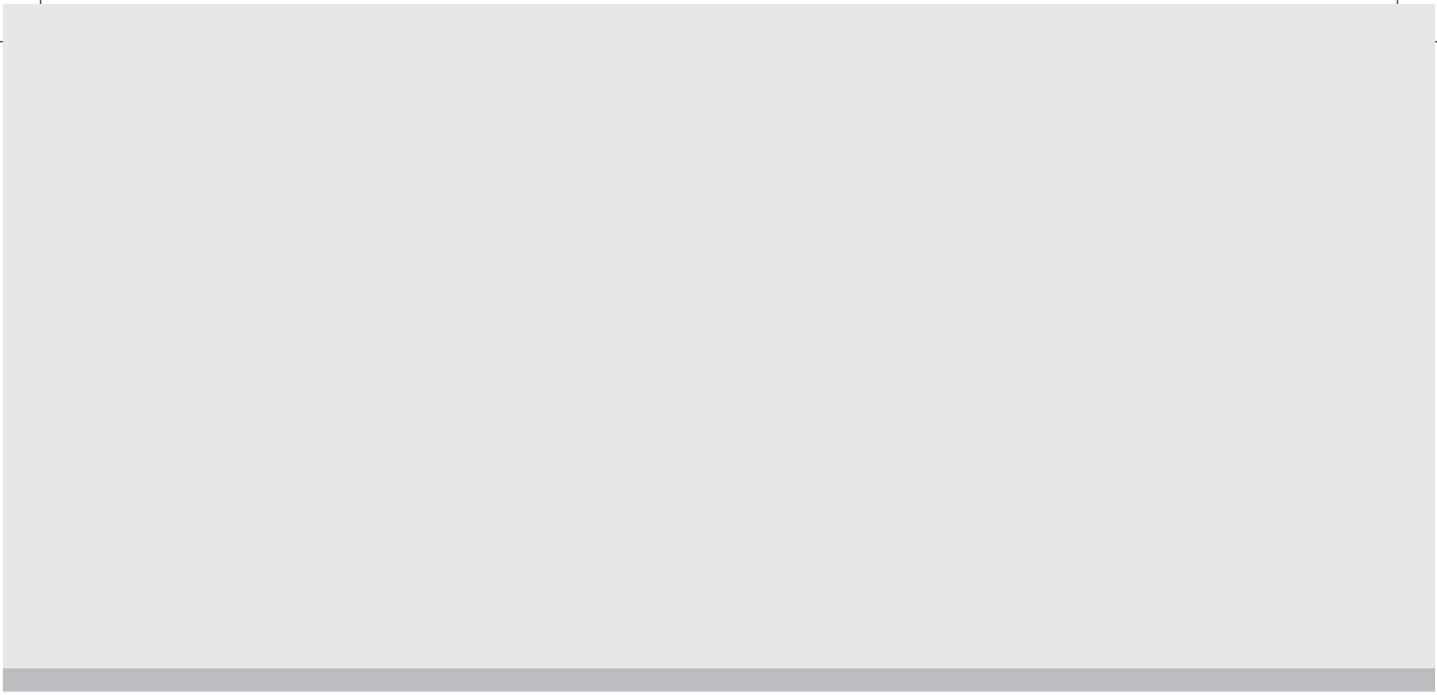
Portaria	Ementa
204/97 Min. Transpor.	Estabelece normas para transporte de produtos perigosos e o sistema de classificação de produtos perigosos
IN 01/2000 DNPM	Estabelece critérios para concessão de Guia de Utilização para extração mineral na etapa de Pesquisa Mineral
07/88 SPHAN	Regulamenta os pedidos de permissão e autorização e a comunicação prévia quando do desenvolvimento de pesquisas de campo e escavações arqueológicas

Normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Quadro 5 - Normas da ABNT relacionadas ao meio ambiente no setor mineral.

Norma	Ementa
98	Armazenamento e manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis
1183	Armazenamento de resíduos sólidos perigosos
1264	Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes
5422	Desmatamento seletivo
7229	Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos (alterada por NBR 13969)
7505	Armazenamento de petróleo, seus derivados líquidos e álcool carburante
9221	Dutos e chaminés de fontes estacionárias – determinação dos pontos de amostragem
9653 (orig.1036)	Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas
9547	Material particulado em suspensão no ar ambiente – determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume
10004	Classificação de resíduos sólidos
10005	Testes de lixiviação em resíduos
10006	Testes de solubilização em resíduos
10007	Amostragem de resíduos sólidos
10151	Metodologia de medição e cálculo de ruído
10152	Metodologia de medição e cálculo de ruído

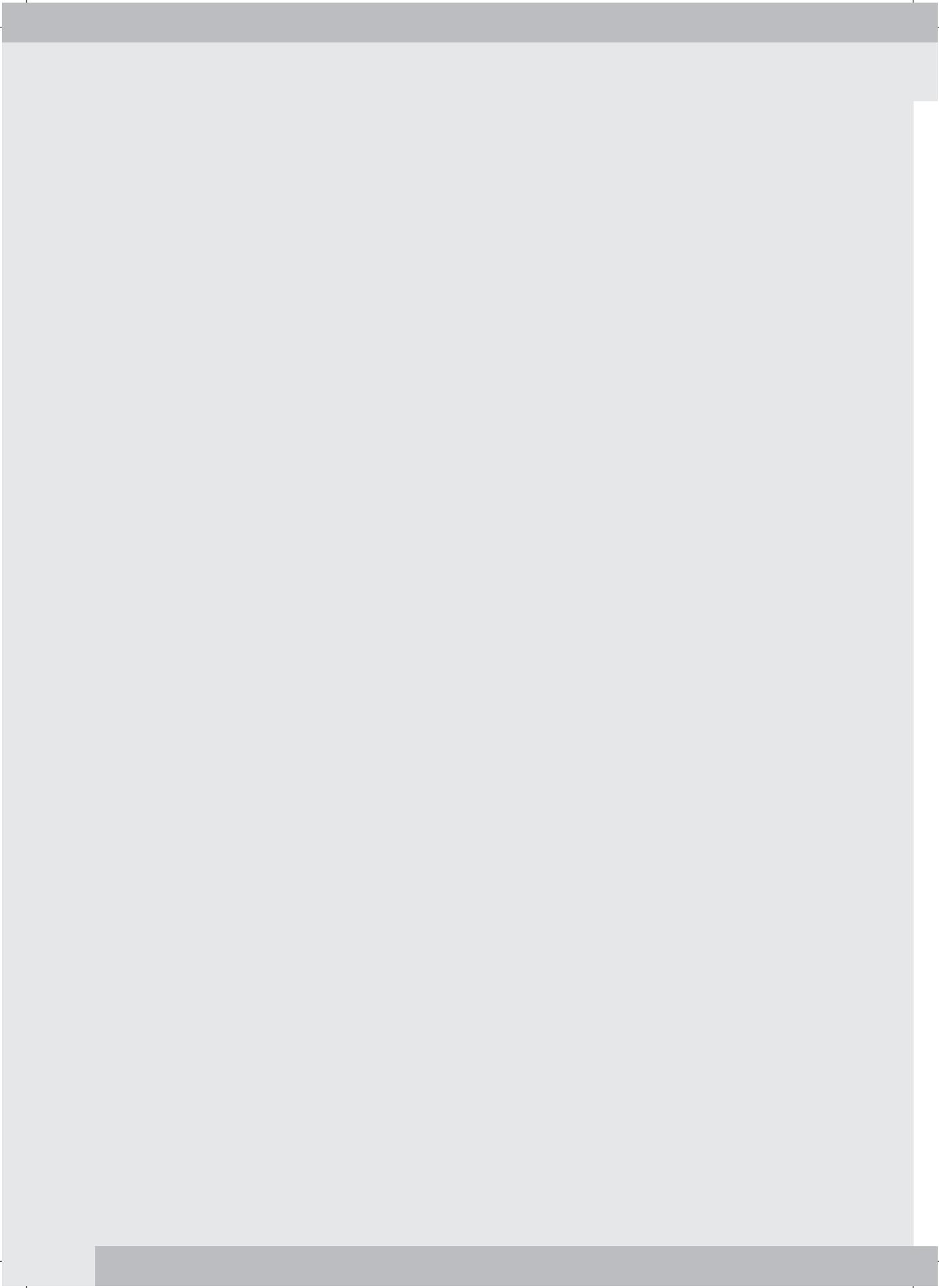
Norma	Ementa
12020	Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem
12649	Caracterização de cargas poluidoras na mineração (parâmetros de monitoramento)
13028	Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento, em barramento, em mineração
13029	Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração
13030	Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas em mineração
13221	Transporte de resíduos
13895	Construção de poços de monitoramento e amostragem
13896	Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação
13969	Tanques sépticos – unidade de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação (altera NBR 7229)
Série 14.000	Sistemas de gestão ambiental
14063	Óleos e graxas – processo de tratamento em efluentes de mineração



Capítulo 6

Plano de aproveitamento econômico de rochas ornamentais

*Fancisco Wilson Hollanda Vidal, Eng. de Minas, DSc., CETEM/MCTI
Marcos Nunes Marques, Eng. de Minas, Consultor
Carlos Rubens Araujo Alencar, Geólogo, Head Participações*



1. Planejamento de lavra e abertura de pedreiras

A indústria de mineração é caracterizada por visar ao aproveitamento econômico de um bem de capital exaurível e não renovável, o que a diferencia das demais indústrias. Observa-se, no cenário nacional do setor de rochas ornamentais, que o planejamento da atividade de mineração é quase inexistente, praticando-se, geralmente, uma lavra sem a metodologia adequada para um empreendimento mineiro, com abertura indiscriminada de frentes de lavra, que põe em risco o retorno do investimento, uma vez que não se avaliou o potencial produtivo da jazida.

Uma dificuldade comum no planejamento de lavra de rochas ornamentais está associada ao conhecimento da morfologia dos maciços rochosos onde se encontram as jazidas. As estruturas dos maciços rochosos compreendem o arranjo espacial das rochas e suas relações com o meio encaixante. Os maciços rochosos destinados a rochas ornamentais são frutos dos mais diversos tipos de gêneses geológicas e sofrem influência de forças tectônicas endógenas e exógenas além de forças gravitacionais. Isso gera uma série de feições, sejam regionais, locais ou em escala microscópica, que podem estar associadas às estruturas tectônicas geradas em estado de fluxo plástico (dobras, foliações, lineamentos, cisalhamentos) ou rígido (juntas e falhas) e também por estruturas tectônicas (juntas de alívio e, em menor escala, juntas de falha) causadas pela ação da gravidade agindo subparalelamente à superfície dos corpos rochosos mais resistentes. Tais descontinuidades permitem a ação do intemperismo físico-químico sobre as rochas gerando problemas de instabilidade e baixa recuperação nos blocos lavrados.

Alguns parâmetros de descontinuidade são essenciais para a caracterização de um maciço para fins ornamentais. Tais parâmetros englobam a orientação espacial, a continuidade da estrutura (persistência), a quantidade volumétrica das juntas, a morfologia de superfície da fratura, a forma e natureza do preenchimento, a abertura entre as superfícies opostas e a conectividade entre elas. Para minimizar esses problemas relacionados à extração dos blocos em condições de comercialização, técnicas de investigações de subsuperfície, aliadas ao mapeamento geológico estrutural de detalhe, tornam-se primordiais para o sucesso do empreendimento. A mais recente técnica de investigação de subsuperfície para maciços rochosos tem sido o GPR (*Ground Penetrating Radar*), por apresentar características ímpares quanto ao método utilizado.

Uma vez levantados os detalhes estruturais do maciço rochoso, é possível aplicar ferramentas especializadas de modelagem geológica para estudar o maciço e planejar a sua lavra.

O planejamento de lavra pode ser definido como sendo realmente uma boa parte do projeto de lavra de uma determinada pedreira contendo os dados técnicos para o nível de produção desejado, dimensionamento completo dos equipamentos e instalações, cálculo dos custos de todas as etapas e sequência das atividades, entre outras.

Normalmente o planejamento de lavra é feito em longo prazo não levando em conta as feições texturais e estruturais dessas rochas. No entanto, o planejamento da lavra a curto e médio prazo requer trabalho de modelagem de detalhe das jazidas com estudos de falhas, fraturas estruturais e texturas das rochas que são de importância fundamental para o estudo do corte de blocos, visando à obtenção de determinados efeitos estéticos e o aumento da recuperação na lavra dos blocos.

1.1. Planejamento em curto prazo

O planejamento em curto prazo compreende períodos de produção que vão desde alguns meses até um ano, e o objetivo é a obtenção de uma determinada produção de blocos do jazimento.

O rendimento total de exploração, ou seja, a relação entre o volume e o produto útil e o volume total explorado, pode ser expresso como o somatório dos rendimentos parciais de cada categoria comercial de blocos, classificados tanto por dimensões e formas como também por categoria com base na escolha “estética” associada ao modelo padrão e aos defeitos. Trabalhar com esquemas de corte distintos leva a troca de rendimento total, devido aos rendimentos parciais de cada categoria, influenciando notadamente o resultado econômico da empresa.

A escolha das modalidades de corte depende da política comercial do empreendimento. Um empreendimento “verticalizado” pode conseguir o máximo de rendimento total em volume, já que pelo fato de ser autônomo pode avaliar inclusive os blocos mal dimensionados ou mal formados; em contrapartida, um empreendimento com uma única pedreira que negocia blocos ou placas cortadas, tenderá a maximizar o rendimento em blocos padrões ou de qualquer forma e grandes dimensões.

Geralmente, os esquemas de cortes estão definidos de maneira empírica pelo responsável pela pedreira, baseando-se em sua própria experiência e nas exigências comerciais do momento, pois a escolha entre as distintas soluções possíveis, que se configuram como um processo prático de otimização, realiza-se levando em conta também o ponto de vista científico.

O procedimento se subdivide nas seguintes fases:

- Individualização da área a ser explorada;
- modelagem das famílias de fraturas;
- simulação do esquema de cortes por isolamento das bancadas;
- pesquisa do esquema ótimo de corte em blocos de cada bancada; e
- cálculo do rendimento total e por categorias de blocos.

O ponto mais delicado de todo o processo é a coleta de dados e escolha do modelo representativo do estado de fratura do jazimento. Na verdade, é necessário obter conhecimentos profundos da pedreira e avaliar, em cada caso, a possibilidade de utilizar um modelo determinista e probabilístico. O estudo deve considerar a orientação, a forma e a extensão das fraturas. Para a compreensão do fenômeno e da organização eventual das famílias é oportuno efetuar observações integradoras em função de cores, aberturas, hierarquias etc.

1.2. Planejamento de médio-longo prazo

O planejamento produtivo de médio-longo prazo finaliza com a determinação e a coordenação dos aspectos estratégicos da exploração. Os tradicionais aspectos técnicos impostos pelas exigências de produção se aplicam aos órgãos competentes de proteção ao meio ambiente. O responsável pelo planejamento deve procurar sempre uma alternativa que apresente uma solução responsável.

As alternativas escolhidas devem contemplar a definição e a evolução no tempo de:

- Frentes de lavra.
- Sequência de exploração nas frentes de lavra.
- Definição e hierarquias dos grandes volumes.
- Infraestruturas (acessos principais, secundários).
- Área de servidão.
- Depósito controlado de estéril (*bota-fora*).
- Proteção, recuperação ou reabilitação ambiental.

As diretrizes básicas ou os objetivos do projeto podem ser frequentemente distintos; os critérios principais são:

- Garantir em cada instante que a amplitude da frente de lavra se adeque à produção requerida pelo projeto.
- Garantir o acesso funcional às pedreiras.
- Sempre otimizar as distâncias percorridas pelos sistemas de transporte.
- Limitar as interações entre as diferentes pedreiras, tendo em vista a segurança.
- Limitar a visibilidade da pedreira em áreas frágeis do terreno.
- Mitigar os impactos no terreno.
- Garantir a possibilidade de recuperação ou reabilitação da área degradada.
- Otimizar o uso de energia de elétrica, reaproveitar materiais etc.

Para que seja possível conseguir os objetivos propostos não existem procedimentos ou regras de caráter geral. Os problemas são solucionados conforme vão aparecendo.

Para ser elaborado o projeto de lavra e se obter o sucesso desejado são necessárias diversas informações de caráter geológico, tecnológico e de cunho socioeconômico e sustentável. Para a elaboração do planejamento de lavra as informações técnicas, econômicas e ambientais relacionadas com os aspectos geológicos do depósito e local na sua circunvizinhança, quase sempre de rigidez locacional, são de suma importância, a saber:

- Potencial geológico do depósito, em que se destacam as características do depósito, parâmetros geoestruturais, descontinuidades e planos de fraqueza, além da variação estética no depósito relacionada com o tipo petrográfico e frequência de defeitos;
- compatibilização entre método de lavra e as características do depósito, relacionado com a qualidade do produto, preço e tamanhos dos blocos a serem obtidos;
- estimativa da recuperação, por meio dos estudos topográfico e geológico, em função do tamanho do bloco final desejado;
- dimensionamento da praça do bota-fora, rejeitos e produtos acabados e fora de padrão com possibilidade de comercialização;
- análise das condições regionais sobre a existência de água e em relação ao tipo de clima e estações do ano, bem como a mão de obra local e acesso etc; e, finalmente,
- o projeto conceitual completo da área de servidão com toda a infraestrutura e o sistema de drenagem da pedreira.

Ao se atingir certo grau de conhecimento da reserva em questão, tais como forma e volume disponíveis, qualidade do material, dimensões dos blocos possíveis de serem lavrados, características geológicas e petrográficas, deve-se passar ao estudo de planejamento da lavra da pedreira definindo sua metodologia de extração e recuperação ambiental. Um bom projeto de lavra exige a melhor escolha do método a ser empregado, adotando-se tecnologias adequadas, no qual devem ser identificados os níveis produtivos que se queiram atingir de acordo com as características da jazida, preocupando-se particularmente com medidas que preservem as zonas interessadas e também com as condições de higiene e segurança do trabalho. Para isto, o planejamento e organização das operações de lavra devem ser dotados de uma razoável flexibilidade de modo a oferecer condições de encontrar soluções alternativas durante o transcorrer da atividade, de forma a não interferir, assim, nas hipóteses inicialmente adotadas. Este exemplo de caso acontece muitas vezes quando a frente de lavra da pedreira é aberta em locais desconhecidos sob o ponto de vista geológico e aparecem anomalias que podem ser direcionadas à valorização de novos materiais, se-

guindo a tendência de mercado. O normal no projeto de lavra é escolher a frente de lavra na parte do depósito que proporcione a melhor sequência de extração para obter as variáveis operacionais estabelecidas no planejamento de forma a otimizar a lavra nos aspectos de custo, produtividade, qualidade, segurança e minimização dos impactos ambientais.

Para relacionar os resultados produtivos da lavra (rendimento, dimensão e forma dos blocos) e as características minero-petrográficas (tipo e distribuição das fraturas e imperfeições dos blocos), sugere-se utilizar um controle estatístico dos dados, confirmando assim, a necessidade de embasar a etapa de lavra sobre um conhecimento suficientemente aprofundado dos condicionantes geológicos e tecnológicos do jazimento. O potencial econômico de uma reserva de mármore ou granito depende do rendimento da lavra, de acordo com a dimensão dos blocos obtidos, que não deverá ser inferior a um limite determinado pelo valor comercial unitário do material extraído. Dessa forma, a produção da pedreira está diretamente influenciada pelo estado de fraturamento da jazida e pela qualidade da rocha. O fraturamento e as descontinuidades geomecânicas limitam as dimensões dos blocos a serem extraídos, que deverão ser compatíveis com os tipos de maquinaria das operações de lavra. A qualidade está relacionada com as características da rocha (tipo petrográfico, textura, composição mineralógica, índices físicos e mecânicos, anomalias genéticas, presença de veios e de elementos degradáveis).

Um aspecto de extrema importância, e que na maioria dos casos não é levado em consideração, é a necessidade de harmonizar, desde o início da atividade de produção, ações relacionadas à recuperação do meio ambiente. Muitas vezes o normal desenvolvimento da atividade produtiva fica comprometido devido à escassa disponibilidade de espaço, principalmente nas áreas onde a quantidade de resíduos é excessiva. Verificam-se frequentemente casos de pedreiras em que a colocação de material estéril a poucos metros da frente de lavra, acarreta consequências para as futuras possibilidades de desenvolvimento da lavra, além de ocasionar um forte impacto visual pela alteração da paisagem.

No planejamento de lavra algumas atividades são fundamentais para evitar erros relacionados com a falta de conhecimento da jazida, principalmente pelo fato de estarmos diante das mais variadas situações possíveis sob os aspectos geológicos e estruturais do depósito. Destacamos:

Pesquisa geológica de detalhe

A individualização de áreas mais favoráveis para a abertura de uma pedreira tem como premissa o levantamento geológico de superfície; a análise estrutural e litológica da jazida, com recomendável realização de sondagem; o estudo petrográfico da rocha; e os ensaios físico-mecânicos do material. O objetivo dessas informações é ter um conhecimento seguro sobre a reserva mineral, sendo a pesquisa geológica a base em que se apoiará todo o empreendimento.

Em escala adequada (1:2.000 por exemplo) devem ser evidenciados os traços físicos do local e das suas proximidades (morfologia), tipologia de eventual vegetação, visando a futura recuperação da área, e hidrografia presentes. O registro da hidrografia se dá pelo consumo significativo da água no processo extrativo, tornando-se uma condicionante da viabilidade de um projeto.

Pesquisa tecnológica

O desenvolvimento de uma lavra piloto ou experimental é de fundamental importância para a conclusão da pesquisa geológica de detalhe e caracterização de uma jazida. É a partir de uma lavra experimental que se determina o índice de recuperação do material aproveitável e se define com maior precisão a viabilidade econômica do empreendimento mineiro.

A compra de equipamentos e montagem da infraestrutura, para a lavra sistemática, devem ser sempre precedidas por uma lavra piloto, objetivando definir a possibilidade efetiva de extração de rochas com padronagem conhecida, em blocos com dimensões adequadas.

Verificam-se frequentes insucessos de pedreiras que acabam sendo abandonadas por terem sido iniciadas com investimentos já de certo vulto em locais que, se um estudo mais criterioso tivesse sido feito, seriam considerados impróprios para a exploração.

Análise mercadológica

Antes de se decidir pela implantação do projeto, é necessário garantir que o produto a ser produzido e elaborado tenha seu consumo garantido, em uma quantidade definida dentro de certos padrões por um tempo e preço determinados.

O estudo de mercado envolve conhecimentos atualizados da política mineral do setor e de mercado internacional. Devem ser verificados todos os aspectos ligados com as peculiaridades do material com relação ao mercado, seja ele nacional ou internacional. A futura unidade extrativa deverá ser analisada nos contextos nacional e regional, tornando claras as informações de rede viária, rede elétrica, cidades, instalações de transformação, portos, aeroportos, evidenciando a disponibilidade dos meios de transporte, serviços, comercialização do material, conexões internacionais etc. Esses dados são determinantes para a implantação do empreendimento mineiro.

Análise econômica

O estudo econômico tem a preocupação com os investimentos necessários e com os benefícios líquidos resultantes, de maneira que a empresa não invista em um projeto cujo retorno seja inferior ao custo de capital associado ao mesmo. Para tanto, são feitas estimativas dos investimentos iniciais previstos, custo de produção e análise de retorno do investimento.

Capital de Investimento

Uma vez verificada a potencialidade da jazida e a inserção do material no mercado (interno ou externo), trata-se de analisar os investimentos iniciais necessários, para aquisição dos tipos e números de máquinas e equipamentos indicados pelo planejamento.

Não se deve pensar em iniciar uma pedreira com poucos recursos, pois uma tentativa de se usar técnicas ou tecnologias de corte aparentemente baratas, porém não recomendadas para aquela situação, pode comprometer ou mesmo inviabilizar todo o projeto.

Os itens incluídos na determinação dos investimentos iniciais previstos são aquisição de máquinas e equipamentos, os investimentos pré-operacionais referentes a infraestrutura e preparação das áreas de extração e o capital de giro.

Custo de produção

A estimativa do custo operacional deve se cercar de toda a cautela que esses cálculos exigem, de modo que os resultados previstos realmente se verifiquem, pois se baseia necessariamente nos pressupostos que poderão ser confirmados somente durante a fase de operação da pedreira.

O custo de produção é função da escala de produção, variando inversamente com esta, caracterizando a economia de escala.

A incidência percentual de cada item, que compõe a formação do custo operacional, varia consideravelmente em função das características da jazida e do investimento que se quer realizar.

Na determinação do custo de produção são distinguidos dois tipos de custos: os custos fixos e aqueles variáveis. Os itens que os compõem estão listados a seguir:

Custos fixos:

- Despesas indiretas.
- Despesas administrativas.
- Despesas financeiras.

Custos variáveis:

- Mão de obra.
- Combustíveis e lubrificantes.
- Manutenção mecânica.
- Insumos.
- Depreciação (contábil-fiscal).
- Exaustão.
- Comercialização.
- Segurança e meio ambiente.
- Impostos e indenizações.

Fluxo de caixa

Para efeito de avaliação econômica (liquidez e rentabilidade) é fundamental a projeção de fluxo de caixa relativa ao período de implantação e de produção, com distribuição no tempo das entradas e saídas de caixa.

Uma vez identificados o custo de produção, a produção da pedreira e o preço de venda do produto, é possível definir o fluxo de caixa do empreendimento, permitindo uma visão econômica e financeira global do projeto.

Isto permite prever a rentabilidade sobre o lucro líquido, a partir do investimento realizado, com obtenção do ponto de equilíbrio (produção mínima sobre produção projetada), para o equilíbrio entre receitas e despesas, e do período de amortização dos investimentos.

1.3. Fases do planejamento de lavra

O conceito de planejamento é escolher um curso de ação e meta para decidir antecipadamente o que deve ser feito, em que sequência, quando e como. O planejamento focaliza o futuro, devendo ser flexível e elástico, a fim de poder adaptar-se a situações imprevistas.

A falta de planejamento conduz a erros primários, além de dispendir muito tempo para corrigi-los, ao invés de preveni-los ou, pelo menos, prever os problemas de atividades na mineração, o que é possível seguindo um planejamento efetivo.

Localização da área de servidão da pedreira

A área de servidão da pedreira compreende a jazida propriamente dita e todos os espaços nos quais se desenvolvem atividades, além dos serviços ligados ao ciclo produtivo. Portanto, no terreno e no mapa de detalhe deverão ser indicadas:

- Vias de acesso;
- frente(s) de lavra;
- praça da pedreira;

- área de estocagem e carregamento de blocos;
- área de disposição de resíduos;
- área de serviços (instalações operacionais: escritório, almoxarifado, refeitório, oficina mecânica, pontos de estocagem de óleo e combustível, depósitos de água etc.); e
- área de construção de paióis.

Definição do método de lavra

O planejamento de uma pedreira de rochas ornamentais deve ser elaborado para implementação mensal, trimestral e semestral, com a evolução da pedreira no espaço e no tempo, segundo um programa de produção preestabelecido, ao longo do período planejado. São calculados os volumes totais de material desmontado, recuperado (blocos) e por variedade ou classificação comercial produzidos no período previsto.

Uma base planialtimétrica em escala de detalhe (1:500) será a base do planejamento do trabalho, que será subdividido em fases sucessivas, para melhor evidenciar o sequenciamento das atividades.

Definição das tecnologias de extração

É o planejamento da atividade extrativa, de acordo com a avaliação das características petrográficas e estruturais da rocha, do valor mercadológico do material e das disponibilidades financeiras da empresa, que dá condições para definir as tecnologias a serem empregadas na extração.

Dimensionamento de máquinas e equipamentos

Os trabalhos são programados com base nos quantitativos a serem desmontados. Assim, o dimensionamento das máquinas e equipamentos que serão empregados requer o conhecimento da eficiência operacional de cada um.

Insumos a serem utilizados

Os insumos a serem utilizados estão relacionados às tecnologias de extração especificadas no planejamento, com estimativa de consumo, em função da escala de produção da pedreira e das características petrográficas da rocha.

Dimensionamento de pessoal

Também é dimensionada a mão de obra necessária, com as funções específicas de cada trabalhador.

Desenvolvimento de lavra

O desenvolvimento de lavra é o primeiro passo da fase de implementação do plano para a abertura de uma pedreira.

1.4. Abertura de pedreiras

Inicialmente, para implementar o plano de lavra faz-se necessário realizar uma série de trabalhos preparatórios, como construção de estradas e rampas de acesso ao ponto de abertura da pedreira na jazida (quota mais elevada alcançável). Para o desenvolvimento da lavra, tratando-se de jazida de maciço rochoso, com cobertura de solo e rocha alterada, tais coberturas estéreis devem ser removidas imediatamente.

O dimensionamento de uma pedreira responde a dois requisitos essenciais: a) conter os volumes de rocha necessários para o período de produção desejado; b) ter espaço e comprimento de frente de lavra suficientes para garantir uma determinada produtividade.

Um dos problemas de dimensionamento das frentes de lavra é a igualdade entre os recursos produtivos e a produtividade da pedreira.

Dimensionamento da frente de lavra

É um procedimento simplificado que se pode adotar como regra de dimensionamento, normalmente em resposta as exigências requeridas.

A exploração de uma pedreira pode ser descrita mediante a repetição periódica do ciclo elementar da produção, que é o conjunto de atividades que executadas sobre um determinado volume de rocha leva a produção dos blocos.

Definida a hierarquia dos volumes e das técnicas de produção, para cada atividade, determina-se a Solicitação Específica de Trabalho (SET), que é a relação entre a quantidade Q prevista para a atividade (número de furos, profundidade dos furos, dimensões dos cortes etc.) e o volume V ao qual se refere a atividade.

$$SET = \frac{Q}{V}$$

A produtividade de cada equipamento expressa-se, normalmente, em unidades de rendimento (perfuração em m/h e cortes em m²/h, por exemplo) e mediante o SET se expressa em unidades homogêneas.

Para a delimitação dos espaços, define-se, para cada atividade do ciclo, o espaço funcional relativo, ou seja, a área necessária para sua realização. A cadeia de espaços, que é a união de todos os espaços funcionais, delimita o espaço mínimo necessário para o desenvolvimento de um ciclo elementar de produção.

A utilização contínua de todos os equipamentos em uma única cadeia de espaços é uma hipótese alternativa para alcançar a máxima produtividade, mas é impossível em quase todos os ciclos de produção típicos da exploração de rochas ornamentais. Na verdade, é habitual que o mesmo espaço funcional seja necessário para duas atividades do ciclo.

Portanto, é necessário calcular o número n de cadeias de espaços necessários para a realização da utilização contínua de todos os equipamentos e, por conseguinte, da máxima produtividade P_c . O comprimento da frente L é dado, então, pelo produto do número de cadeias de espaços e pelo comprimento da frente elementar.

Para o dimensionamento, em regra, adotam-se coeficientes de 50-70% diminuídos em consequência da produtividade.

O mesmo procedimento, não simplificado, permite dar respostas mais detalhadas ao mesmo problema para: definir a produtividade de uma frente de lavra; definir o equipamento mínimo para se conseguir certa produtividade em uma certa frente de lavra; garantir a máxima utilização dos equipamentos; organizar os trabalhos de tal maneira que se possam alcançar determinados objetivos; coordenar as seqüências de restauração etc.

Os critérios de planejamento das pedreiras são essencialmente dois: o método tipo quadrado e o método das unidades de pedreira.

Crêterios de planejamento de pedreiras: método tipo quadrado

  o método tradicional baseado na disponibilidade total do espaço, disponibilidade que, nos últimos tempos, tem sido limitada pelas exigências de prote o ambiental.

Tem como referência o tipo quadrado, trabalhadores e equipamentos que operam a jazida em fun o das exigências produtivas e em fun o dos esquemas ditados pelas condi es do local. O método tipo quadrado se adota nas pedreiras explotadas com métodos pouco estruturados (inexistentes ou com hierarquia simplificada nos volumes e nas quais a variabilidade do estado de fratura o não permite a ado o de dire es fixas de avanço durante largos períodos).

Nestes casos, não existem vínculos modulares nas dimensões e, portanto, o dimensionamento faz referência tanto   produtividade, ligada   composi o do tipo quadrilha, como a outros aspectos de serviço, tais como: limita o das aberturas nas camadas, transferência de materiais e mão de obra, localiza o de instala o e eleva o etc.

A avalia o da rela o entre o espaço e a produtividade   geralmente atribuída a experiência.

Crêterios de planejamento de pedreiras: método das unidades de pedraira

Com este método a pedraira se transforma no resultado da composi o das unidades modulares.

Quando se adotam instala es de eleva o fixas, o módulo, a unidade da pedraira, tem um comprimento total da frente de lavra igual ao número de cadeias de espaços compatíveis com a instala o. Se a pedraira   projetada com mais bancadas, a dimensão mínima da unidade diminuir .

Em pedreiras equipadas com grandes p s e equipamentos de eleva o, o comprimento total da frente de lavra   um múltiplo da frente elementar, equivalente   rela o entre a produtividade da pedraira e a produtividade ciclo elementar. Neste caso, a largura mínima da pedraira será fun o inversa do número de bancadas em produ o simultaneamente. Nelas, a geometria e as dimensões dos cortes são relativamente constantes, otimizadas no que diz respeito   tecnologia e   sele o das opera es de cortes, e um ciclo elementar de produ o se desenvolve completamente no interior de uma cadeia de espaços cuja fórmula  , por norma, aproximadamente retangular. Também a dire o do avanço, ou seja, a dire o ortogonal aos cortes de bancada   constante neste tipo de pedreiras e eleita de maneira que se maximize o rendimento nos blocos.

Implanta o do plano de lavra

Na etapa de desenvolvimento da lavra   fundamental uma correta avalia o dos tempos de opera o das máquinas de terraplenagem, tipo: trator de esteira, retroescavadeira e p  carregadeira, não são pelos custos envolvidos com essa atividade, mas também para não atrasar a entrada em produ o da pedraira.

Concluída a fase anterior e já detalhada a metodologia de extra o do maciço rochoso, realizam-se os primeiros cortes com alturas definidas, a partir dos quais a pedraira evoluir  lateralmente e será progressivamente rebaixada, em níveis de lavra planos e horizontais, preferencialmente, e faces verticais no maciço.

No caso de uma lavra em maciço rochoso com capeamento, em que estão presentes sistemas de fraturas inclinados, que constituem planos de destaques naturais, os volumes primários a serem isolados serão locados seguindo o andamento dessas fragmenta es no sentido de baixo para cima, resultando em pisos ou faces inclinados.

Tanto nos cortes primários, quanto nos secundários e na fase seguinte de desdobramento dos volumes gerados por estes cortes (filões/pranchas), cujas dimensões foram previamente defini-

das, serão empregadas as tecnologias de corte especificadas e dimensionadas para essas atividades. O mesmo acontece nas fases posteriores de tombamento dos filões, esquadrejamento de blocos, movimentação e carregamento.



Figura 1 - Abertura de frente de lavra na Pedreira Escola da CBPM, em Ruy Barbosa – BA. Foto: CETEM/MCTI, 2002.

Recuperação ambiental

Normalmente a pedreira está inserida em zona rural, afastada de núcleos urbanos, gerando impactos ambientais relativamente pequenos se comparados a outras atividades minerais.

Entretanto, um projeto específico e criterioso, abordando todos os impactos gerados e os métodos de controle dos mesmos, deve ser elaborado, evidenciando as medidas para recuperação da área lavrável, de maneira a não haver prejuízo ao ambiente natural local.

A análise prévia de impacto ambiental é uma obrigação de toda atividade de mineração para obtenção do Licenciamento Ambiental junto ao órgão estadual competente, quando são julgados os impactos positivos e negativos identificados e as propostas de mitigação e controle dos mesmos.

Gerenciamento da atividade extrativa

Para o gerenciamento racional e econômico da atividade extrativa valem e devem ser aplicadas as leis que regulam todos os outros setores produtivos. O rigor técnico e administrativo deve ser ainda maior, em função da natureza da atividade (extração de um material natural), que pode trazer surpresas e imprevistos.

Nenhuma empresa funciona na base da improvisação, o que pode levar a desperdícios, perdas de tempo, atrasos ou antecipações desnecessários. A produção deve ser planejada e entregue no tempo e no custo esperados.

Plano de produção

O plano de produção da empresa, que é uma meta empresarial estabelecida para um determinado período, admite revisões periódicas, conforme a demanda de mercado e as particularidades da jazida, e deve sempre responder às perguntas:

- Qual o nível de qualidade dos produtos exigido pelo mercado? De que maneira a qualidade de nosso produto afetará as vendas?
- Qual o preço de venda praticado no mercado?
- A quantidade prevista do produto está além ou aquém da capacidade instalada atual? Serão necessárias expansões?

E para programar com proficiência a produção, com base no plano de produção estabelecido, são necessárias informações sobre:

- Equipamentos e ferramentas utilizados na produção;
- sequência de produção;
- tempos padrões de cada operação; e
- estimativas de vendas.

Acompanhamento e controle da produção

As operações devem ser acompanhadas para a verificação do andamento da programação, de modo a permitir a pronta identificação de eventuais atrasos e problemas operacionais.

O controle da produção é a etapa final do processo, encarregando-se de comparar a produção real com a produção programada e calcular as eficiências médias, que serão aplicadas nas novas programações.

O controle da produção tem por finalidade:

- Estabelecer padrões (de quantidade, qualidade, tempo, custos).
- Monitorar e avaliar continuamente a atividade produtiva.
- Comparar os resultados obtidos.
- Detectar problemas.
- Aplicar ações corretivas.

2. Viabilidade econômica da lavra

Em atendimento ao que pressupõe o Código de Mineração, há duas situações onde o empreendedor (ou minerador) deve comprovar a Viabilidade Econômica da Lavra de uma jazida mineral:

- quando da elaboração do Relatório de Pesquisa, no qual se deve incluir a “Exequibilidade de Lavra”; e
- quando da elaboração do Plano de Aproveitamento Econômico, parte integrante do Requerimento de Lavra.

No que refere às rochas ornamentais, estas duas fases da mineração - Pesquisa e Lavra - praticamente se complementam havendo, até, superposição de atividades inerentes a cada uma delas. Por exemplo, em uma amostragem industrial da jazida, executada com o uso do Guia de Utilização, inicialmente são produzidos blocos em quantidade suficiente para testes industriais e avaliação mercadológica, cujos resultados sendo satisfatórios, normalmente levarão à continuidade da produção, gerando-se quantidades mais expressivas. Portanto, ainda na fase de pesquisa, a jazida começa a ser lavrada, o que facilita substancialmente as análises de seu aproveitamento econômico.

Diante destas considerações, para efeito de elaboração da viabilidade econômica de jazidas de rochas ornamentais, são apresentados, nos itens seguintes, enfoques distintos para as fases de pesquisa e lavra da jazida.

2.1. Exequibilidade econômica de lavra - fase de pesquisa mineral

Para elaboração da Exequibilidade Econômica de Lavra, parte integrante do Relatório de Pesquisa da jazida a ser apresentado ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM é necessário que os trabalhos de investigação geológica e tecnológica estejam devidamente concluídos, tais como: mapeamento topográfico e geológico, em escala adequada; sondagens; análises químicas e petrográficas; testes industriais; avaliação de reservas; avaliação de mercado; estimativa de preços FOB e CIF (do inglês, *Freight On Board*, preço sem incluir custos de transporte e seguro e *Cost, Insurance and Freight*, preço incluindo transporte e seguro) etc.

Os estudos geológicos e de mercado tendo sido considerados satisfatórios para se empreender uma análise econômica do depósito mineral, permitirão a avaliação das reservas lavráveis e recuperáveis, decisivas para comprovar sua Exequibilidade Econômica e, conseqüentemente, a apresentação de um Relatório de Pesquisa Positivo para o DNPM.

No caso específico das rochas ornamentais, na maioria das vezes, as reservas minerais aproveitáveis ou recuperáveis são de difícil mensuração devido à heterogeneidade da massa mineral (padronagem), o que provoca diferentes padrões estéticos em cada parte da jazida, mesmo para pequenos volumes integrantes do “maciço granítico” em estudo. Assim, neste tipo de depósito mineral não há estimativa de teores, apenas estimativas de volumes lavráveis e dentre estes, volumes recuperáveis ou aproveitáveis comercialmente.

A estimativa do volume “em bruto” corresponderá à figura geométrica delimitada pelos trabalhos topográficos e geológicos.

No caso de jazidas de “maciços”, a exposição superficial definirá a área aflorante, sendo nesta delimitada as subáreas que caracterizam o padrão estético comercialmente aceitável pelo mercado consumidor. Evidentemente que estas subáreas também serão avaliadas química e petrograficamente, respaldadas pelos ensaios tecnológicos que se façam necessários. A profundidade do maciço rochoso ou sua terceira dimensão será função de diferentes sondagens na superfície com avaliação, de acordo com os testemunhos, das características do material extraído.

No caso de jazidas de “matacões”, as reservas são avaliadas mediante a estimativa do volume de cada matacão individualmente e da sua recuperação ou aproveitamento comercial.

Portanto, se observa que, em qualquer um dos casos citados, o conhecimento geológico do depósito mineral e a confiabilidade das informações para estimativa da recuperação são componentes que merecem destaque para análise da exequibilidade econômica da lavra.

Convém ressaltar que a estimativa da recuperação ou aproveitamento comercial da jazida deverá ser definida a partir da amostragem industrial empreendida na pesquisa mineral. Quanto maior o volume representativo da jazida amostrado e submetido a testes industriais, bem como à investigação comercial, maior precisão se terá para estimar a recuperação ou aproveitamento comercial.

Tal qual em outras jazidas minerais, as reservas são classificadas em Reserva Medida, Reserva Indicada e Reserva Inferida.

Essas reservas corresponderão aos volumes líquidos obtidos a partir da estimativa da recuperação. Para efeito de ilustração e melhor compreensão, recomenda-se apresentar as reservas em bruto e as reservas líquidas ou comercializáveis.

A partir dos estudos de mercado para o produto a ser comercializado, estimam-se:

- As quantidades anuais a serem produzidas;
- os preços a serem praticados considerando materiais de 1ª, 2ª e se necessário 3ª categoria;
- os custos unitários de produção e comercialização;
- os custos de frete entre a jazida e o mercado consumidor (por exemplo, unidades de processamento de blocos, portos de embarque etc.); e
- outros parâmetros julgados pertinentes para avaliação econômica ou exequibilidade de lavra.

Definidos tais parâmetros, estrutura-se uma demonstração da exequibilidade de lavra da jazida. Para fins de elucidação, ilustra-se a seguir um “estudo de caso” contemplando a metodologia acima exposta.

ESTUDO DE CASO I

Os estudos de mercado e testes industriais desenvolvidos em blocos de quartzito de porosidade média resultaram em aceitação comercial do produto, principalmente no mercado externo. Estimativas na fase pesquisa sugerem:

- Recuperação ou aproveitamento da jazida em torno de 15%.
- Preço médio de venda, F.O.B. pedra de R\$ 2.140,00/m³, considerando uma redução nas três dimensões dos blocos de 5 cm.
- Custos de produção e ambientais de R\$ 600,00/m³.
- Despesas administrativas e de vendas (comercialização) de R\$ 600,00/m³.
- Investimentos já realizados de R\$ 210.000,00.
- Investimentos a realizar de R\$ 676.000,00.
- Necessidade de capital de giro de R\$ 200.000,00.

A simulação econômica apresentada a seguir demonstra a exequibilidade de lavra do depósito pesquisado, estabelecendo as variáveis de um ano típico representativo do Fluxo de Caixa do empreendimento.

Entende-se por Ano Típico aquele que deverá espelhar, ao longo da vida útil da mina ou da pedra, o perfil mais representativo da escala de produção média e do nível de comercialização a ser alcançado.

ANÁLISE DA EXEQUIBILIDADE ECONÔMICA DE LAVRA

Produção e Comercialização = 1.200 m³/ano (a)

Preço Médio de Venda = R\$ 2.140,00/ m³ (b)

Receita Bruta = R\$ 2.568.000,00 (c = a x b)

CFEM (2% de c) = R\$ 51.360,00

Despesas Administrativas e de Vendas = R\$ 385.200,00 (d = c x 15%)

Receita Líquida = R\$ 2.131.440,00 (e = c – d - CFEM)

Custos de Produção e Ambientais = R\$ 1.284.000,00 (f = c x 50%)

Lucro Anual = R\$ 847.440,00 (g = e – f)

Encargos de Capital (depreciações e amortizações) = R\$ 128.400,00 (h = c x 5%)

Base de Cálculo da Contribuição Social = R\$ 719.040,00 (i = g – h)

Contribuição Social = R\$ 86.285,00 ($j = i \times 12\%$)
 Lucro Tributável para Imposto de Renda = R\$ 632.755,00 ($l = i - j$)
 Imposto de Renda = R\$ 189.826,00 ($m = l \times 30\%$)
 Lucro após Imposto de Renda = R\$ 442.929,00 ($n = l - j - m$)

INDICADORES ECONÔMICOS

- Inversões Fixas = R\$ 886.000,00
- Investimentos Realizados (aproximado) = R\$ 210.000,00
- Investimentos a Realizar = R\$ 676.000,00
- Capital de Giro = R\$ 200.000,00
- INVESTIMENTO TOTAL = R\$ 1.086.000,00

RENTABILIDADE DO PROJETO SOBRE CAPITAL PRÓPRIO

R\$ 442.929,00 / R\$ 1.086.000,00 = 40,7%

RENTABILIDADE DO PROJETO SOBRE FATURAMENTO ANUAL

R\$ 442.929,00 / 2.568.000,00 = 17,25%

2.2. Viabilidade econômica de lavra

Após a aprovação do Relatório de Pesquisa por parte do DNPM, o titular da área pesquisada dispõe de um ano, a contar da publicação da aprovação no Diário Oficial da União, para requerer a lavra da jazida. Dentre outros documentos que compõem o Requerimento de Lavra, tem-se o Plano de Aproveitamento Econômico (P.A.E.) da jazida que deverá incluir o Estudo de Viabilidade Econômica da lavra.

Nesta fase do empreendimento, as alternativas de investimento são avaliadas a partir das projeções dos Fluxos de Caixas - FCs relativos aos anos de implantação e produção, o que constitui um cálculo financeiro aplicado à avaliação econômica e efeitos da tributação sobre os projetos de exploração mineral.

Para elaboração do Fluxo de Caixa do Projeto são montadas as distribuições de FCs antes e após o imposto de renda (sem financiamento) e do capital próprio (com financiamento) com o objetivo de ilustrar a influência do financiamento (alavancagem financeira), bem como dos encargos de capital (depreciação, amortização fiscal e exaustão) na rentabilidade do projeto.

Para efeito de análise da Viabilidade Econômica de Lavra sugere-se sempre fazer referência a Fluxo de Caixa Líquido relativo ao ano - FC anual. Dessa forma, o FC Líquido anual representa a diferença entre todas as entradas anuais de caixa (receita operacional, receitas não operacionais, recuperação de capital de giro, entrada de recursos de terceiros etc.) e de todas as saídas anuais de caixa (investimento fixo, injeção de capital de giro, aquisição de direitos minerários, despesas de arranque (*start-up*) despesas com reposição e reforma de equipamentos e outros ativos do imobilizado operacional (pagamentos de impostos, amortização e juros de financiamento etc.).

Os resultados econômicos de um projeto de mineração são calculados a partir da distribuição no tempo de seus FCs, ou simplesmente, pela distribuição dos FCs anuais conforme se apresenta no Estu-

do de Caso a seguir. Com o objetivo de facilitar o entendimento dos dados e da metodologia da análise pelos FCs, o exemplo a seguir (Estudo de caso II e Tabelas de 1 a 10) apresenta um valor de produção, 100 m³/mês, não compatível com os níveis atuais de produção de granitos que, nas pedreiras comerciais, se encontram entre 400 e 1.200 m³, podendo superar os 3.000 m², em função do mercado.

ESTUDO DE CASO II

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE LAVRA

A avaliação econômica do empreendimento previa a lavra de uma jazida de rocha ornamental para produção de 1.200 m³/ano de blocos de granito de coloração verde, que será vendido na pedreira (FOB), no estado da Bahia, no ano de 2006. A Simulação Econômica apresentada a seguir demonstra a viabilidade de lavra do depósito pesquisado mediante o Fluxo de Caixa Descontado.

Os investimentos e custos operacionais previstos são decorrentes de:

- Dimensionamento de áreas construídas; orçamentação de equipamentos;
- preços dos serviços de construção civil e sistemas auxiliares;
- estimativa de insumos e consumos da pedreira com base nos fluxos de produção e definição dos contingentes de mão de obra.

A metodologia adotada contemplou:

- Cotação dos equipamentos principais, materiais de consumo e insumos da produção, junto aos fabricantes de equipamentos;
- orçamentação de obras civis a partir de estimativa de horas de equipamentos envolvidos para execução dos serviços projetados;
- estimativa de custos de mão de obra direta e indireta de acordo com níveis salariais compatíveis com a região.

A infraestrutura necessária à operação do empreendimento compreendia estradas de acessos e disponibilidade de água para corte de rocha com uso de fio diamantado. A morfologia da jazida e a disponibilidade de água e energia nas proximidades da pedreira viabilizavam a tecnologia de corte selecionada.

Foi considerado que o nível de produção de 1.200 m³/ano de blocos de rocha ornamental de granito será atingido no 2º ano de operação, sendo 80% comercializada no mercado externo e 20% no mercado interno. No primeiro ano prevê-se que o empreendimento produzirá e comercializará 50% da sua capacidade instalada.

Os preços foram considerados FOB pedreira, isentos de IPI e ICMS para os produtos exportáveis e são decorrentes da experiência de valores médios deste tipo de material praticados no mercado em foco, naquela época, 2006.

ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS

A estimativa dos investimentos fixos foi composta com base no dimensionamento dos equipamentos e nas construções civis projetadas, conforme discriminado na Tabela 1. Considera-se um valor residual dos equipamentos da ordem de 40%.

Como capital de giro considerou-se o valor equivalente aos custos de 2 meses de produção, inclusive despesas com pessoal, e 2 meses com despesas operacionais (administrativos e comercialização).

ESTIMATIVA DE CUSTOS OPERACIONAIS E DESPESAS DECORRENTES DE VENDAS

Para efeito de geração do Fluxo de Caixa do empreendimento, os custos operacionais contemplam Custos Variáveis e Custos Fixos, conforme detalhado na Tabela 2.

Os custos variáveis estão constituídos das seguintes parcelas: Peças de Reposição, Fundo de Manutenção Preventiva (FMP) e Material de Desgaste; Combustível e Lubrificantes; Material de Perfuração e Outros Materiais. Estes custos estão detalhados nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente. Os custos fixos compreendem: Depreciação e Seguros; Amortização, Mão de obra e Despesas Indiretas. Estes custos estão detalhados nas Tabelas 6, 7, 8 e 9, respectivamente.

Os tributos e impostos incidentes sobre as vendas são: CFEM, PIS, COFINS, FINSOCIAL (CSSL) e Imposto de Renda a razão de 2%; 1,65%; 3%; 12% e alíquota de 9%; e 15%, respectivamente.

ESTIMATIVA DE RECEITAS

As receitas projetadas para o empreendimento foram obtidas das quantidades a serem comercializadas em cada ano, considerando preços de R\$ 840,00/m³ e R\$ 450,00/m³ para os mercados externo e interno, respectivamente.

FLUXO DE CAIXA DO PROJETO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE ECONÔMICA

O Fluxo de Caixa básico está apresentado na Tabela 10. A Taxa Interna de Retorno (TIR) atinge 27%. Os valores apresentados nas Planilhas anexas são meramente ilustrativos, portanto, não representam valores reais atualizados e foram baseados na análise de viabilidade de uma pedra de granito verde escuro, no estado da Bahia, no ano de 2006, realizada pela Uniminas.

A título de análise de sensibilidade econômica do projeto à variável preço, foram calculadas Taxas Internas de Retorno (TIR) considerando-se uma alternativa otimista com preços num limite superior (R\$ 900,00/m³ - mercado externo e R\$ 500,00/m³ - mercado interno) e outra pessimista com preços no limite mínimo (R\$ 700,00/m³ - mercado externo) e R\$ 400,00/m³ - mercado interno). Os resultados foram os seguintes:

O período de operação para o empreendimento foi considerado de dez anos, sendo de um ano a fase de implantação.

Os resultados demonstram que o projeto é bastante rentável, mesmo considerando que não foram enfocados custos inerentes à utilização de financiamentos para alavancagem econômico-financeira do empreendimento.

Alternativas	TRI
Preços limite superior	31%
Preços limite inferior	17%

Tabela 1 - Estimativa dos investimentos fixos - JAZIDA DE GRANITO 100 m³ / mês.

Investimentos	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)	Vida útil (anos)
Equipamentos			804.250,00	
Fio diamantado	70.000,00	1	70.000,00	20
Estrutura	4.000,00	1	4.000,00	10
Martelete	2.750,00	3	8.250,00	20
Comp. 400 PCM	72.000,00	1	72.000,00	12
Escavadeira CAT 320	450.000,00	1	450.000,00	20
Equipamentos de Oficina	Verba	-	200.000,00	-
Obras preliminares			7.000,00	
Acessos	Verba		1.000,00	20
Desenvolvimento	Verba		2.000,00	20
Pátios e bota-fora	Verba		1.000,00	20
Edificações	Verba		3.000,00	20
Total		811.250,00		

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 2 - Custos Fixos e Variáveis.

Contas	Custo unitário R\$ / m ³	Composição %
Custos variáveis		
Peças de reposição	12,08	4,20
F. M. P.	14,74	5,12
Mat. Desgaste	0,75	0,26
Comb. e Lubrif.	15,88	5,51
Expl. e Acess.	0,00	0,00
Mat. de perfuração	0,00	0,00
Outros materiais	7,01	2,43
Arrendamento	17,00	5,90
Sub-total de variáveis	50,47	17,52
Custos fixos		
Depreciação	38,40	13,33
Seguros	13,68	4,75
Amortização	1,10	0,38
Pessoal	142,23	49,39
Disp. Indiretas	42,10	14,62
Sub-total de fixos	237,51	82,48
Sub-total geral	287,98	100,00
Total	287,98	100,00

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 3 - Custos Variáveis: Peças de Reposição, Fundo de Manutenção Preventiva e Materiais de Desgaste.

Equipamento	Quantidade	Horas efetivas	Pças. Rep. Hor.	Custo mensal (R\$)	Custo anual(\$)
Fio diamantado	1	79,17	0,98	77,58	931,00
Estrutura	1	37,54	0,20	7,51	90,09
Martelete	3	544,73	0,14	74,90	898,81
Comp. 400 Pcm	1	291,14	3,60	1.048,09	12.577,08
Escavadeira	1	0,00	5,60	0,00	0,00
Trator d6e	0	0,00	6,225	0,00	0,00
Total				1.208,08	14.496,98
Equipamento	Quantidade	Horas efetivas	F.M.P. Horário	Custo mensal	Custo anual
Fio diamantado	1	79,17	0,48	37,78	453,41
Estrutura	1	37,54	0,00	0,00	0,00
Martelete	3	544,73	0,00	0,00	0,00
Comp. 400 Pcm	1	291,14	2,17	631,24	7.574,83
Escavadeira.	1	42,50	8,44	358,59	4.303,13
Trator D6	0	42,50	10,51	446,73	5.360,80
Total	-	1.474,35	17.692,16		
Equipamento	Quantidade	Horas efetivas	Mat Desg. Hor.	Custo mensal	Custo anual
Fio diamantado	2	79,17	0,00	0,00	0,00
Estrutura	1	37,54	0,00	0,00	0,00
Martelete	3	544,73	0,00	0,00	0,00
Comp. 400 Pcm	1	291,14	0,00	0,00	0,00
Escavadeira	1	42,50	0,84	35,72	428,59
Trator D6	0	42,50	0,93	39,68	476,21
Total				75,40	904,80

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 4 - Custos Variáveis: Combustível e Lubrificantes.

Equipamento	Quan- tidade	Horas efeti- vas	Consu- mo	Horário	Custo	Mensal	Custo	Anual
			combus- tível	lubrifi- cante	combus- tível	lubrifi- cante	combus- tível	Lubrif.
Fio diamantado	1	79,17	0,00	0,12	0,00	30,40	0,00	364,80
Estrutura	1	37,54	0,00	0,50	0,00	60,06	0,00	720,72
Martelete	3	544,73	0,00	0,50	0,00	871,58	0,00	10.458,90
Comp. 400 Pcm	1	291,14	10,00	0,20	5.240,45	186,33	62.885,39	2.235,92
Escavadeira 320	1	42,50	16,00	0,29	1.224,00	39,44	14.688,00	473,28
Trator D6	0	0,00	18,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcial					6.464,45	1.187,80	77.573,39	14.253,63
Total						7.652,25		91.827,02

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 5 - Custos Variáveis: Materiais de Perfuração e Outros Materiais.

Material	Índice de consumo	Unidade	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Dinamite	40	g / m ³	14,00	168,00
Cordel np5	1,02	m / m ³	135,15	1.621,80
Cordel np10	0,01	m / m ³	1,50	18,00
Estopim	0,03	m / m ³	3,75	45,00
Espoleta	0,07	und / m ³	5,60	67,20
Retardo	0,01	und / m ³	1,25	15,00
Pólvora	20	g / m ³	10,00	120,00
Cone bit	0,1000	unid. / m ³	1.050,00	12.600,00
Broca H=0,4	0,0040	unid. / m ³	90,00	1.080,00
H=0,8	0,0040	unid. / m ³	94,00	1.128,00
H=1,6	0,0040	unid. / m ³	113,00	1.356,00
H=2,4	0,0040	unid. / m ³	135,00	1.620,00
H=3,2	0,0040	unid. / m ³	173,00	2.076,00
H=4,0	0,0040	unid. / m ³	205,00	2.460,00
Punho	0,0011	unid. / m ³	0,00	0,00
Luva	0,0100	unid. / m ³	0,00	0,00
Bit 21/2"	0,0200	unid. / m ³	0,00	0,00
Bit 3"	0,0100	unid. / m ³	0,00	0,00
Haste	0,0100	unid. / m ³	0,00	0,00
Rebolo copo	0,0700	unid. / m ³	437,50	5.250,00
Rebolo reto	0,0300	unid. / m ³	0,00	0,00
Fio diamantado	0,1000	m / m ²	750,00	9.000,00
Total	.		3.047,50	36.570,00

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 6 - Custos Fixos: Depreciação e Seguros.

Investimentos	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)	Vida útil Anos	Depreciação mensal (R\$)	Depreciação anual (R\$)
Fio diamantado	70.000,00	1	70.000,00	20	291,67	3.500,00
Estrutura	4.000,00	1	4.000,00	10	33,33	400,00
Martelete	8.250,00	3	24.750,00	10	206,25	2.475,00
Comp. 400 Pcm	72.000,00	1	72.000,00	10	600,00	7.200,00
Escavadeira 320	450.000,00	1	450.000,00	20	1.875,00	22.500,00
Equipamentos de oficina	200.000,00	-	200.000,00	20	833,33	10.000,00
Total					3.839,58	46.075,00
Equipamentos	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)	Taxa anual %	Desp. c/ seguro mensal (R\$)	Desp. c/ seguro anual (R\$)
Fio diamantado	70.000,00	1	70.000,00	2,00	116,67	1.400,00
Estrutura	4.000,00	1	4.000,00	2,00	6,67	80,00
Martelete	8.250,00	3	24.750,00	2,00	41,25	495,00
Comp. 400 Pcm	72.000,00	1	72.000,00	2,00	120,00	1.440,00
Escavadeira 320	450.000,00	1	450.000,00	2,00	750,00	9.000,00
Equipamentos de oficina	200.000,00	-	200.000,00	2,00	333,33	4.000,00
Total					1.367,92	16.415,00

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 7 - Custos Fixos: Amortização.

Obras preliminares	Valor (R\$)	Vida útil anos	Amortização mensal (R\$)	Amortização anual (R\$)
Acessos	2.500,00	20	10,42	125,00
Desenvolvimento	10.000,00	20	41,67	500,00
Pátios e boca-fora	2.000,00	20	8,33	100,00
Edificações	12.000,00	20	50,00	600,00
Total	26.500,00		110,42	1.325,00

Fonte: Uniminas, 2006

Tabela 8 - Custos Fixos: Mão de Obra e Despesas Indiretas.

Função	Qtde.	Salário (R\$)	Encargos sociais (R\$)	Refeições (R\$)	Assist. Médica (R\$)	E. P. I (R\$)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Produção	9						8.913,69	106.964,28
Enc. Produção	1	800,00	496,00	63,91	84,00	14,50	1.458,41	17.500,92
Op. Fio diamant.	1	600,00	372,00	63,91	84,00	14,50	1.134,41	13.612,92
Cortador	1	400,00	248,00	63,91	84,00	14,50	810,41	9.724,92
Canteirador	1	400,00	248,00	63,91	84,00	14,50	810,41	9.724,92
Marteleiteiro	4	1.800,00	1.116,00	255,64	336,00	58,00	3.565,64	42.787,68
Op. Escavadeira	1	600,00	372,00	63,91	84,00	14,50	1.134,41	13.612,92
Manutenção	1						1.262,23	15.146,76
Mecânico III	1	600,00	372,00	191,73	84,00	14,50	1.262,23	15.146,76
Administração	4						4.047,19	48.566,28
Enc. Adm.	1	400,00	248,00	191,73	84,00	14,50	938,23	11.258,76
Vigia	3	1.500,00	930,00	383,46	252,00	43,50	3.108,96	37.307,52
Total	14	7.100,00	4.402,00	1.342,11	1.176,00	203,00	14.223,11	170.677,32

Fonte: Uniminas, 2006 - Obs.: Os profissionais de Nível Superior foram alocados nas despesas administrativas do Fluxo de Caixa.

Tabela 9 - Custos Fixos: Despesas Indiretas.

Despesas	Custo mensal administração (R\$)	Custo anual administração (R\$)
Aluguéis	1.300,00	15.600,00
Veículos	1.200,00	14.400,00
Telefone	100,00	1.200,00
Combustível	400,00	4.800,00
Desp. c/ viagens	500,00	6.000,00
Água	40,00	480,00
Energia	30,00	360,00
Comunicação	50,00	600,00
Mat. Expediente	20,00	240,00
Mat. Limpeza	20,00	240,00
Serv. de terceiros	350,00	11.400,00
Comboio/pipa/outros	100,00	1.200,00
Geologia/serv. Manut.	850,00	10.200,00
Transporte pessoal	600,00	7.200,00
Fretes	100,00	1.200,00
Total	4.010,00	48.120,00

Fonte: Uniminas, 2006.

Tabela 10 - Fluxo de caixa.

Período / anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Investimento	R\$890.871									(R\$404.121)
Fixo	R\$811.250									(R\$324.500)
Capital de giro	R\$79.621									(R\$79.621)
Receita bruta	R\$457.200	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400	R\$914.400
Mercado doméstico	R\$54.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000	R\$108.000
Mercado internacional	R\$403.200	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400	R\$806.400
Impostos / venda	R\$30.440	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880	R\$60.880
Recolhimento cfem	R\$8.535	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070	R\$17.070
Receita líquida	R\$418.225	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450	R\$836.450
Custos de produção	R\$340.479	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406	R\$428.406
Peças de reposição	R\$7.248	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497	R\$14.497
F. M. P.	R\$8.846	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692	R\$17.692
Comb. e lubrif.	R\$48.314	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627	R\$96.627
Expl. e acess.	R\$1.028	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055	R\$2.055
Mat. Secionado.	R\$18.285	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570	R\$36.570
Outros materiais	R\$4.206	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413	R\$8.413
Depreciação	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075	R\$46.075
Seguros	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415	R\$16.415
Amortização	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325	R\$1.325
Pessoal	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677	R\$170.677
Lucro bruto	R\$77.746	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044	R\$408.044
Despesas operacionais	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320
Administrativas	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320	R\$49.320
Lucro líq. Antes do I.R.	R\$28.426	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724	R\$358.724
Impostos e contribuições	R\$7.106	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681	R\$89.681
Imposto de renda	R\$4.264	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809	R\$53.809
Contribuição social	R\$2.843	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872	R\$35.872
Lucro líquido após I.R.	R\$21.319	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043	R\$269.043
(+) Deprec. / Amortiz.	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400	R\$47.400
Fluxo de caixa	(R\$890.871)	R\$68.719	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443	R\$316.443
Fluxo de caixa acumulado	(R\$890.871)	(R\$822.152)	(R\$505.709)	(R\$189.267)	R\$127.176	R\$443.619	R\$760.061	R\$1.076.504	R\$1.392.947	R\$2.113.511
Taxa interna de retorno	26,89%	merc ext	volume (m ³) 80	(R\$/m ³) 840,00		merc int.	volume (m ³) 20	(R\$/m ³) 450,00		

Fonte: Uniminas, 2006.

3. Controles e administração em pedreiras

A organização da produção de pedreiras de rocha ornamental abrange diferentes atividades, sendo estas suportadas por instrumentos de gerenciamento, dentre os quais se destacam: planejamento da produção; dimensionamento e alocação de pessoal; planos de manutenção dos equipamentos; controle dos insumos e da performance do parque de equipamentos; elaboração e acompanhamento setorial dos mapas de riscos; controle e redução dos impactos ambientais; monitoramento dos custos de produção e dos encargos de capital; e outros.

Convém observar que todos esses instrumentos de gerenciamento estão interligados e quando executados conjuntamente de forma eficaz, os resultados obtidos são extremamente positivos, promovendo um padrão técnico de alta qualidade com ampliação da vida útil da pedreira, minimização de acidentes de trabalho, otimização de custos e conseqüentemente motivação elevada da equipe.

A seguir são elencadas algumas atividades de gerenciamento de uma pedreira discorrendo-se sobre cada uma delas e expondo-se sugestões de instrumentos de controle e acompanhamento da produção.

3.1. Planejamento e controle da produção

Para um correto planejamento da produção (mensal, trimestral, anual) de uma pedreira de rocha ornamental faz-se necessário, preliminarmente, o conhecimento detalhado das características da jazida, parte integrante do Plano de Lavra em execução. Como partes integrantes das características da jazida podem-se elencar: morfologia, topografia, geologia, aspectos petrográficos (composição mineralógica, impurezas ou elementos deletérios etc.), facilidades (energia, água etc.) e outras.

O planejamento da produção é essencialmente dinâmico: à medida que o corpo mineral vai sendo lavrado, novas informações vão se tornando disponíveis, obrigando a uma constante atualização do Plano de Lavra Original e também uma adaptação do Plano de Produção. De modo mais preciso, pode-se dizer que se devem ter, para a pedreira, planos de lavra de médio e curto prazo. Assim sendo, o Plano de Lavra Original se constituirá no Plano de Lavra de médio prazo, enquanto o Plano de Produção passará a ser o Plano de Lavra de curto prazo.

Para o caso específico das pedreiras de rocha ornamental, recomenda-se que o Plano de Lavra de curto prazo ou Plano de Produção, tenha sua projeção de no máximo três meses. Isto porque, nas rochas ornamentais, principalmente granitos, o controle das litologias, em seus diferentes aspectos (existência de elementos deletérios; presença de fraturas; homogeneidade do padrão cromático etc.) promove interpretações técnicas inexatas e não há uma vasta experiência na lavra de cada tipo de rocha para se obter seu melhor aproveitamento. Por exemplo, as pedreiras de granito do estado da Bahia, em sua maioria têm baixa recuperação, estas variando desde 5% (granitos e quartzitos azuis) até 25-30% (migmatitos, sienitos, charnoquito etc.). Portanto, para fixação da escala de produção, ponto de partida do planejamento da produção, torna-se necessário o conhecimento do comportamento geológico da jazida, principalmente pela experiência revelada pelo histórico dos planos de produção anteriores.

A elaboração de um Plano de Produção e seu detalhamento já foram discutidos no Item 1 - Planejamento de Lavra, razão pela qual não serão abordados neste item.

3.2. Dimensionamento e alocação de pessoal

Para uma eficaz administração de uma pedreira, o dimensionamento e a alocação do pessoal de operação, manutenção e apoio, devem ser suportados por uma política de gestão de pessoal contemplando: recrutamento, admissão, treinamento, remuneração fixa e variável, benefícios sociais

Tabela 13 - Relatório de acompanhamento do fio diamantado.

Empresa:					
Responsável:					
Marca do fio:					
Local:					
Data: ___/___/___					
Hora inicial:					
Código:					
Diâmetro mm					
Nº Corte					
Nº Bancada					
Dimensões					
Volume					
Tipo de Corte					
Dimensões					
Área (m ²)					
Material					
Cor					
Máquina Fio					
Marca					
Tipo					
Veloc. Tang. Média					
Veloc. Corte Média					
Torção Cabo					
Remontado					
Comprimento Inicial (m)					
Comprimento Final (m)					
Diâmetro Inicial (mm)					
Diâmetro Final (mm)					
Área Total					
Comprimento (m)					
Rendimento					
Data	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___
Operador					
Responsável					

Tabela 14 - Boletim de medição de corte a fio diamantado.**Boletim de medição de corte a fio diamantado nº**

Cliente:

Material:

Local:

Responsável:

Nº Bancada	Dimensão Bancada: x x		Volume Bancada(m ³):	
Nº Corte:	Sentido Corte: <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H		Dimen. Corte: x	Área Corte(m ²)
Comprimento do Fio(m):	Velocidade Teórica(m ² /h):		Afastamento Teórico(cm/h):	
Giro Cabo(voltas/m):			Velocidade Tangencial(m/s):	
Grupo Gerador: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Capacidade(kva):		Voltagem(V):	Marca:
Máq. Fio Diamantado Marca:	Modelo: <input type="checkbox"/> Fixa <input type="checkbox"/> Variável		Potência (CV)	
Data Início Trabalho: ___/___/___ - ___:___h				
Técnico Responsável:			Assinatura:	
Utilização do fio				
	1º parte	2º Parte	3º Parte	4º Parte
Nº do Fio:				
Marca:				
Diâmetro Inicial(mm):				
Diâmetro Final(mm):				
Comprimento Inicial(mm):				
Torção(Giro/m):				
Horímetro Inicial:				
Horímetro Final:				
Data/Hora Início:				
Data/Hora Final:				
Desenho do corte			Observações	

3.4. Planos de manutenção dos equipamentos

É fácil entender-se que, à medida que o equipamento envelhece, devido ao desgaste natural que sofre em sua utilização, a probabilidade de falhas mecânicas aumenta consideravelmente. Isto tem como consequência sua paralisação frequente para os reparos mecânicos, significando duplo prejuízo, porque além de deixar de produzir, ele passa a ter despesas de manutenção, o que reduz de forma sensível sua rentabilidade.

Daí a conclusão óbvia de que o proprietário deve ter a preocupação permanente de procurar aumentar a “vida útil” da sua máquina, para ser necessário substituí-la somente após o decurso de longo prazo.

A forma mais simples de se conseguir o aumento da “vida útil” de um equipamento consiste na operação e na manutenção corretas do equipamento. Isto significa a adoção de uma série de medidas de ordem prática muito simples, mas que, infelizmente, nem sempre observadas, resultam em prejuízos indesejáveis.

Pode-se definir a manutenção como sendo o conjunto de processos utilizados com a finalidade de obter dos equipamentos condições de funcionamento que resultam na sua produtividade máxima e, ao mesmo tempo, buscar prolongamento de sua vida útil, permitindo a operação econômica em maiores prazos.

O conceito atual de manutenção é bem mais amplo do que os tempos passados, quando havia maior preocupação com a assistência mecânica ao equipamento, desde que este apresentasse algum problema de funcionamento.

Hoje em dia, a manutenção mecânica propriamente dita não pode estar dissociada da lubrificação e da operação racional do equipamento, pois na verdade, esses três campos se acham intimamente ligados, de sorte que, se um deles se revelar ineficiente, poderá influir de forma negativa no resultado global desejado que seja, em última análise, o aumento de sua “vida útil”.

Manutenção corretiva e manutenção preventiva

Entende-se por manutenção corretiva aquela que se preocupa em apenas corrigir as falhas detectadas e que prejudicam o funcionamento normal da máquina.

Essa forma de encarar a manutenção pode levar a situações difíceis, porque a quebra das peças ou as falhas de um sistema podem ocorrer de forma aleatória, exatamente no momento em que a máquina se faz mais necessária.

É preciso lembrar, igualmente, que a ruptura de um componente pode afetar outras peças que trabalham em conjunto. Seria o caso de uma engrenagem da caixa de câmbio, quando da ruptura de um dente, por exemplo, pedaços soltos caem exatamente entre outras engrenagens que se apresentavam sem defeito, ampliando os efeitos do dano.

A quebra de uma máquina básica de um ciclo de produção, desde que não haja substituição, pode interrompê-lo, deixando ociosos vários outros equipamentos e aumentando os prejuízos decorrentes.

Em consequência dessas possibilidades extremamente desfavoráveis à produtividade e rentabilidade da pedreira, introduziu-se o conceito da manutenção preventiva que visa principalmente a evitar ou prevenir o aparecimento de falhas mecânicas durante a operação, detectando os defeitos antes de sua manutenção e, sobretudo, evitando a ruptura de componentes fundamentais pela substituição sumária de peças que, já tendo atingindo certo número de horas de trabalho ou certo desgaste máximo admissível, se constituem em risco de quebra a curto prazo.

É evidente que a introdução da manutenção preventiva apresenta vantagens óbvias, mas por outro lado, significa um programa de implantação difícil e, por vezes, de custo elevado, o que a princípio parece tornar a sua aplicação antieconômica para as empresas de pequeno porte. Além disso, o programa de manutenção preventiva envolve alguns problemas difíceis, tais como a determinação dos itens considerados críticos, que se forem danificados em serviço, podem significar a paralisação da máquina e das operações na pedreira.

Igual dificuldade reside na pesquisa e fixação da idade crítica das peças e dos limites de desgaste admissíveis, pois, da determinação correta desses valores, depende o sucesso de todo o programa de manutenção preventiva.

Esse programa é feito praticamente mediante revisões ou inspeções periódicas, baseadas no número de horas trabalhadas ou no de quilômetros percorridos.

Para os equipamentos pesados (escavadeiras, carregadeira, máquina de fio diamantado etc.) as revisões mecânicas periódicas são feitas após o decurso de certo número de horas de trabalho, indicadas pelo marcador de horas de máquinas (horímetro) de acordo com instruções do fabricante.

Comumente, as verificações preventivas recomendadas pelo fabricante são feitas a cada 100 h, 500 h, 1.000 h e 4.000 h, examinando-se os componentes ou sistemas mais sujeitos a apresentar problemas.

A cada 100 horas, são feitas verificações mais simples, tais como reaperto de parafusos, tensão das correias de acionamento, vazamentos de óleo, regulagem de sistemas etc.

Decorridas 1.000 horas, já é feita a inspeção mais detalhada do motor, transmissão e conversor de torque, freios, sistemas de direção, hidráulico e elétrico.

Após 4.000 horas já se recomenda o recondicionamento do motor, a desmontagem e inspeção do torque e da transmissão, do sistema de direção, além da inspeção mais detalhada dos sistemas hidráulico, elétrico, de freios etc.

Nas máquinas de esteira, a manutenção preventiva preconiza cuidados especiais para a verificação do desgaste normal das peças e da ocorrência de quebras, trincas, ou desgastes anormais que, se não forem detectados a tempo, poderão reduzir substancialmente a vida útil das esteiras ou mesmo exigir a sua substituição.

O importante a se observar é que essas verificações e inspeções devem ser feitas ainda que a máquina, aparentemente, não apresente anormalidade.

Os defeitos apresentados pelas máquinas dificilmente ocorrem sem que haja indícios prévios, isto é, geralmente podem ser constatados sintomas que, se percebidos a tempo, ajudam a localizar o defeito, antes que surjam consequências desagradáveis.

Por essa razão, reforçando o que já foi dito anteriormente, deve-se ressaltar o papel do operador e dos responsáveis pelas máquinas, na manutenção preventiva. Qualquer anormalidade que persista por algum tempo deverá ser objeto de inspeção mais rigorosa pela equipe de manutenção. Às vezes, trata-se de problema de fácil solução, em outras, porém, podem-se constatar falhas, que, se não forem sanadas, poderão ser extremamente prejudiciais aos mecanismos internos do equipamento. Por essas razões, devem-se alertar os operadores quanto a certos indícios mais frequentes de anormalidades ou defeitos mecânicos.

No caso das máquinas pesadas, os motores diesel, as transmissões e a parte rodante são sujeitas as condições severas de operação, sendo as partes mais afetadas, portanto, devem ser objeto de atenção especial na manutenção preventiva.

Defeitos mais comuns nos motores diesel:

- Superaquecimento do sistema de refrigeração em condições normais de trabalho;
- vibrações, ruídos, batidas internas;

- fumaça no cano de escape em quantidade ou coloração anormal;
- consumo excessivo de combustível ou lubrificante;
- diminuição de potência por falta de combustível ou de ar, falha da bomba injetora etc.;
- pressão baixa do óleo lubrificante; e
- partida difícil, devido à deficiência do sistema elétrico, bateria ou compressão baixa.

Defeitos mais comuns nas transmissões mecânicas:

- Dificuldade no acionamento da embreagem principal;
- dificuldade ou impossibilidade de engrenar ou desengrenar alguma marcha;
- ruídos ou “roncos” nas caixas de engrenagens;
- dificuldade no acionamento das embreagens laterais ou dificuldade no giro da máquina; e
- trancos ou batidas anormais.

Defeitos mais comuns nas transmissões hidráulicas:

- Movimentos lentos e falta de torque;
- aquecimento anormal do sistema; e
- pressão anormal do fluido.

Parte Rodante:

- Verificação de tensão da esteira e regulagem;
- medida do desgaste dos componentes; buchas, sapatas, roletes etc.;
- alinhamento de esteira e da roda guia;
- vazamento de óleo dos roletes de lubrificação permanente; e
- inspeção de trincas, rupturas, folgas excessivas dos diversos componentes.

Sistema de injeção dos motores diesel:

- Testes de pressão de injeção – falta ou excesso de pressão;
- vazamento de ar;
- entupimento das tubulações com corpos estranhos; e
- tempo insuficiente de injeção.

Sistema elétrico de partida:

- Falta de carga das baterias;
- conexões dos cabos com defeito;
- defeitos no motor de arranque;
- gerador com defeito, baterias sem carga; e
- ruptura da capa de proteção, com terra ou curto-circuito.

Evidentemente, as indicações acima servirão apenas para chamar a atenção do operador ou dos responsáveis pela máquina para os defeitos mecânicos mais comuns. Os manuais técnicos de oficina, fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, referentes aos diversos equipamentos, estudam pormenorizadamente os diversos componentes e sistemas da máquina, descrevendo o seu funcionamento, a sua desmontagem e montagem, bem como os defeitos que possam surgir e a maneira correta de identificá-los e corrigi-los.

3.5. Almojarifado e estoque de peças de reposição

Além de uma oficina, será necessário instalar em uma pedreira, um almojarifado de peças de reposição para os equipamentos, com a imediata substituição das que se danificam ou se desgastam durante as operações produtivas.

Em consequência do grande número de itens envolvidos, não será possível a aquisição e estoque de todas as peças, pois isso envolveria a imobilização de grande parte do capital de giro da empresa.

O problema se resolve, em parte, pelo estabelecimento de critérios para a determinação dos itens de maior consumo e aqueles que são considerados críticos para o funcionamento normal da máquina.

Entre os primeiros podemos citar as chamadas “peças trabalhantes”, que pela sua utilização, estão sujeitas a um desgaste mais rápido, visto que ficam sujeitas ao atrito permanente, a altas pressões de contato e a presença de materiais abrasivos. Nesta categoria, podem-se mencionar os componentes da parte rodante dos tratores de esteiras, facas de lâmina e partes de mecanismo das máquinas de controle por cabo, como polias, eixos, cabos de aço, guinchos, volante na máquina de fio diamantado, componentes de mecanismo das perfuratrizes, entre outras.

Outras peças são de desgaste mais lento, mas, como ficam sujeitas a esforços consideráveis, têm possibilidade maior de sofrerem avarias. Neste grupo podemos citar todas as peças móveis, ainda que recebam lubrificação constante, tais como engrenagens, transmissão, coroa e pinhão, mancais, rolamentos de esfera, partes móveis do motor (pistões, anéis, eixo de virabrequim, bielas, casquilhos etc.), componentes do sistema hidráulico (retentores, mangueiras de borracha, bombas hidráulicas de engrenagens etc.). Finalmente há outros componentes que dificilmente sofrem avarias, razão pela qual, em geral, não são estocados. Aqui poder-se-iam citar as peças estruturais, as carcaças de caixa de câmbio, do diferencial e do comando final.

Para alguns itens, considerados críticos no funcionamento das máquinas principalmente quando há várias unidades do mesmo tipo, convém manter componentes de reserva, para se evitar o risco de paralisação na máquina ou, em se tratando de trator, escavadeira ou pá carregadeira, de interrupção de produção total da equipe.

Além destas convém manter em estoque algumas peças básicas que podem apresentar falhas, ocasionando a paralisação mínima do equipamento, tais como uma bomba injetora, bicos injetores, uma esteira completa de reserva, pneumáticos de rodagem especial etc.

Por outro lado a questão se torna mais complexa quando há equipamentos de diversos fabricantes, exigindo a ampliação dos estoques, aumentando a dificuldade de seu controle e exigindo grande imobilização de capital.

A melhor política será sempre procurar, dentro do possível, uniformizar a equipe usando-se equipamentos de um só fabricante. Quando isso não é possível, é preferível a compra de equipamentos que tenham pelo menos alguns componentes idênticos, tais como motor, transmissão, sistema de injeção etc., havendo a possibilidade de intercâmbio das peças de reposição.

3.6. Manuais técnicos

Os fabricantes de equipamentos idôneos fornecem ao usuário toda sorte de informações sobre a operação, princípios de funcionamento e manutenção da máquina.

Normalmente, recebem-se os seguintes manuais técnicos:

- Manual do operador: que mostra todos os detalhes de funcionamento e de lubrificação correta da máquina.
- Manual de peças: com todos os componentes desenhados e minuciosamente numerados, havendo um número para a identificação de cada peça, dos parafusos ao “chassi”. Isso possibilita a rápida caracterização de cada componente e a sua aquisição, sem dúvidas ou enganos.

- Manual de manutenção ou de oficina: no qual se descreve o funcionamento, os métodos de desmontagem, reparo e remontagem dos sistemas, sendo absolutamente indispensável a sua utilização na oficina de reparos.

3.7. Lubrificação dos equipamentos

Não é necessário enfatizar a importância da lubrificação dos equipamentos para juntamente com a sua operação racional e a manutenção preventiva, procurar o aumento da vida útil e o retardamento da substituição das máquinas já desgastadas.

A utilização normal da máquina implica em seu desgaste progressivo, atingindo especialmente as partes móveis e as que ficam em contato com materiais abrasivos.

Três são as principais causas de desgaste:

- O atrito existente entre componentes com movimento ou deslizamento relativo, embora haja lubrificação entre eles, resulta em desgaste lento, mas inevitável, reduzindo a dimensão das peças e aumentando as folgas previstas no projeto da máquina.
- A corrosão, considerada como um dos fatores mais importantes do desgaste em certas peças dos motores, deriva da formação de ácidos corrosivos provenientes da presença de resíduos de enxofre no óleo combustível.
- A abrasão é proveniente da presença de matéria estranha que penetra em determinados componentes mecânicos, tais como poeiras, partículas de solos muito finos, ou pela formação de subprodutos dentro da câmara de combustão, resultando no desgaste prematuro dessas peças.

Os lubrificantes são produtos que, pelas suas características, servem para reduzir os agentes de desgastes acima citados.

O atrito entre as superfícies se reduz substancialmente pela formação de uma película de lubrificante que, de certa forma, separa as partes móveis em contato.

A corrosão é combatida por substâncias que impedem as transformações químicas das quais resultam os agentes corrosivos.

A abrasão é diminuída pelos processos de filtragem do combustível e do ar que procuram eliminar as partículas sólidas de grande dureza, responsáveis por este tipo de desgaste.

Não obstante, além dessas funções consideradas primordiais, os lubrificantes servem para outras finalidades tais como:

- Redução da força ou potência necessária para a operação da máquina e de seus componentes, pela sensível redução do atrito, existente entre superfícies metálicas móveis.
- Dissipação de parte do calor gerado na operação de componentes mecânicos que se atrimam ou do calor resultante da queima do combustível, através de sua circulação e passagem em dissipadores de calor.
- Auxílio na vedação das câmaras de combustão, no interior das quais são geradas altas pressões de compressão, suportadas pelos anéis dos cilindros e pelo lubrificante que permanece nas folgas mínimas existentes entre os anéis e a camisa de cilindro.
- Remoção das substâncias abrasivas, através da circulação do lubrificante e sua retenção por filtros.

3.8. Disponibilidade mecânica, utilização e rendimento de equipamentos

O Plano de Produção de qualquer pedra deve estabelecer os seguintes parâmetros relativos aos equipamentos dimensionados:

- HP - Horas Programadas para cada equipamento.
- HM - Horas de Manutenção previstas para cada equipamento e a não utilização do equipamento por outros motivos.
- HT - Horas Efetivamente Trabalhadas previstas para cada equipamento.

O total de horas efetivamente trabalhadas por um equipamento qualquer é sempre menor que o total de horas programadas para o seu funcionamento.

Aquele total de horas é o tempo que o equipamento tem para realizar o trabalho que lhe compete e o seu porte é inversamente proporcional ao mesmo (para o mesmo trabalho).

Disponibilidade mecânica:

Se HP é o total de horas programadas para o funcionamento do equipamento e HM é o total de horas em que o equipamento estará na manutenção mecânica, a relação:

$$DM = \frac{HP - HM}{HP}$$

exprime a Disponibilidade Mecânica do equipamento e representa o tempo em que aquele está mecanicamente apto para o trabalho.

Utilização:

Geralmente, nem todo o tempo mecanicamente disponível é utilizado na execução do trabalho devido a vários motivos, tais como movimentação do equipamento, chuvas fortes, detonação na pedreira, preparação da frente de lavra etc.

Sendo HT o número total de horas efetivamente trabalhadas pelo equipamento, a equação:

$$U = \frac{HT}{HP - HM}$$

representa a Utilização do equipamento e exprime o percentual das horas mecanicamente disponíveis que é realmente utilizado.

Rendimento:

Por definição, exprime o percentual das horas programadas que é realmente utilizado, ou seja:

$$R = \frac{HT}{HP}$$

Considerando-se as expressões acima, tem-se:

$$R = U \times DM$$

A disponibilidade mecânica é função da qualidade do equipamento, das condições de trabalho, da vida do equipamento, das competências do operador e dos mecânicos, da disponibilidade de peças de reposição, do número de turnos diários; a sua determinação se faz a partir de um número base – geralmente extraídos de equipamentos iguais em operação – afetado de fatores que o corrijam para exprimir as atuais condições de trabalho.

A utilização é função do número de equipamentos iguais designados para efetuar trabalhos iguais, do porte do equipamento em comparação com o trabalho que deve executar e das condições de operação, como listadas anteriormente. Os diversos motivos determinantes de tempo improdutivo devem ser convenientemente ponderados para determinar o real valor da utilização.

3.9. Elaboração e acompanhamento setorial dos mapas de riscos

Conforme será visto no capítulo VII, para controle e minimização de riscos e acidentes de trabalho, a administração terá que desenvolver um programa de riscos associados a cada setor da pedreira, tais como: pedreira propriamente dita, oficina mecânica, escritório etc. Para tanto, mapas de riscos setoriais tornam-se instrumentos de controle e prevenção de acidentes e doenças.

O Mapa de Risco é uma representação gráfica de um conjunto de fatores presentes nos locais de trabalho, capazes de acarretar prejuízos à saúde dos trabalhadores: acidentes e doenças de trabalho. Tais fatores têm origem nos diversos elementos do processo de trabalho (materiais, equipamentos, instalações, suprimentos e espaços de trabalho), na forma de organização do trabalho (arranjo físico, ritmo de trabalho, método de trabalho, postura de trabalho, jornada de trabalho, turnos de trabalho, treinamento etc.) e nos resíduos gerados nas operações tais como poeiras etc.

Cada local de trabalho deve ter um mapa de risco com indicação dos tipos de risco com círculos coloridos (tabela 15) e a intensidade deles (leve, média ou elevada), que será indicada, em cada caso, pelo tamanho do círculo.

Tabela 15 - Códigos de cores de identificação dos riscos em um mapa de risco.

	Riscos	Cor de identificação	Exemplos
Grupo 1	Físicos	Verde	Ruído, calor, frio, pressões, umidade, radiações ionizantes e não ionizantes, vibrações etc.
Grupo 2	Químicos	Vermelho	Poeiras, fumos, gases, vapores, névoas, neblinas etc.
Grupo 3	Biológicos	Marrom	Fungos, vírus, parasitas, bactérias, protozoários, insetos etc.
Grupo 4	Ergonômicos	Amarela	Levantamento e transporte manual de peso, monotonia, repetitividade, responsabilidade, ritmo excessivo, posturas inadequadas de trabalho, trabalho em turnos etc.
Grupo 5	Acidentes	Azul	Arranjo físico inadequado, iluminação inadequada, incêndio e explosão, eletricidade, máquinas e equipamentos sem proteção, quedas e animais peçonhentos.

Estes programas poderão ser desenvolvidos por empresas especializadas, que além dos mapas de riscos, promoverão treinamentos quanto à segurança e higiene do trabalho, inclusive na elaboração, assessoria de implantação e no acompanhamento do PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais); e Elaboração, assessoria de implantação e acompanhamento do PCMSO (Programa de Controle Médico em Saúde Ocupacional) e Coordenação Médica.

4. Classificação comercial de blocos

Os blocos comerciais de Rochas Ornamentais assumem papel de fundamental importância no desenvolvimento de toda a cadeia produtiva dos Mármore e Granitos.

Na realidade, todo o sucesso do setor das rochas ornamentais está condicionado à existência da matéria-prima, no caso, blocos que apresentem, além dos ingredientes comerciais, as características de padrão, mecânicas, tamanho, que preenchem a melhor relação custo x benefício.

A necessidade de obtenção dos blocos comerciais de Mármore e Granito é um dos principais fatores condicionante de toda a evolução do processo de extração e beneficiamento. O bloco comercial deve ser perfeito, ou seja, aquele que tem seu padrão de homogeneidade e de características mecânicas ideais, no caso sem fatores penalizantes como trincas, sem veios, sem manchas (mulas) e alterações, que compreendem o cenário no qual se otimizará todo o processo produtivo.

Pela importância do bloco as tecnologias de lavra e de beneficiamento, buscam a sua evolução, pois na necessidade de selecionar blocos sem resquícios de problemas faciológicos e estruturais é que toda a cadeia de máquinas e equipamentos busca o seu avanço.

Como elementos de caracterização deste raciocínio vejamos que toda tecnologia de extração mantém seu paradigma evolutivo, desde a fase de desmonte por desmoronamento pela busca incessante de reduzir perdas e o comprometimento da matéria prima que vai constituir o bloco a ser posteriormente industrializado.

Há, neste sentido, durante toda esta evolução, o entendimento da necessidade de evitar danos ao material, daí que os componentes explosivos como cordéis, posteriormente o fogo através dos *"flame-jet"* e atualmente o fio diamantado buscaram exatamente ao seu tempo reduzir o intervalo de comprometimento do processo extrativo no produto final, no caso o bloco.

No tocante as máquinas e equipamentos de beneficiamento isto também é relevante.

Vários fatores indicam esta assertiva, vejamos, por exemplo, o incremento que se desenvolveu nos equipamentos de retificação das faces dos blocos como os monolâmina nos mármore e os monofio e bifio, sobretudo nos granitos.

Blocos bem aparelhados e retificados com diamantados propiciam vários fatores de otimização da serrada, pois aceleram o tempo de encaixe das lâminas no bloco no início da serrada e também na sua fase final.

Este tempo é muito relevante e chega a corresponder a uma redução de cerca de 8 -12 horas na entrada e 4-6 horas na saída, dependendo da dureza do material e desde que estas duas superfícies estejam retificadas com fio, além do que no início na serrada as superfícies irregulares, muitas vezes, causam desvios das lâminas, o que compromete a qualidade da serrada e aumenta as perdas de material em boas condições de comercialização.

As superfícies retificadas reduzem também os descontos nas medidas dos blocos e sobretudo das chapas no momento da negociação, além de darem um aspecto de melhor sanidade e sem dúvida de melhor aproveitamento para os clientes.

A combinação da busca de fatores que possibilitem a melhor otimização de perdas e do custo x benefício é talvez o principal paradigma que tem norteado a evolução tecnológica das máquinas e equipamentos das indústrias de rochas ornamentais.

Os blocos ideais são aqueles feitos à esquadria, ou seja, no esquadro, em que os ângulos são de 90 graus, ou seja, rigorosamente retos e que busquem a melhor otimização possível do equipamento que irá beneficiá-lo.

Uma grande parte dos blocos de granito e a quase totalidade dos blocos de mármore em uma empresa totalmente verticalizada (pedreira-serraria-polimento) deveriam ser totalmente bem esquadrejados com fio diamantado, pois, sem dúvida, a qualidade e a redução das perdas obtidas comportam referido investimento que, no caso, condicionaria o processo de obtenção dos blocos retificados já na lavra.

O tamanho do bloco é um item também de grande importância, pois o mercado exige medidas que normalmente devem, pelo menos, atingir o comprimento de 2,80 m e a altura de 1,70 m nas medidas líquidas. Devemos ainda considerar que a eficiência adequada de um bloco deve ser considerada quando além da inexistência de fatores penalizantes, como veios, mulas, trincas, alterações etc., seja obtida uma relação m^3/m^2 quando serrados a 2 cm de espessura, em torno de $35 m^2/m^3$ no caso do granito em teares convencionais e $40 m^2/m^3$ no caso do mármore em teares diamantados.

É importante ressaltar que a evolução do processo produtivo das rochas ornamentais alcançou grande sofisticação, sobretudo nas últimas três décadas, de tal forma que várias condicionantes têm ganhado importância e gerado alternativas no aproveitamento das matérias-primas, viabilizando a abertura de um número significativo de pedreiras que antes eram totalmente inviáveis.

Devemos inclusive ressaltar, apesar de pouco usual, a utilização de métodos a base de ultrasons para determinar a ocorrência de fraturas, microfraturas e descontinuidades. Neste tocante, enfocaremos especificamente um aspecto que tem relação direta com os blocos, no caso a forte evolução das resinas de base epóxi para utilização nas rochas ornamentais. Estas resinas resolveram a quase totalidade dos problemas físicos das rochas ornamentais, sobretudo naqueles materiais muito trincados e que antes não tinham como terem aproveitamento, pois não havia como sequer estruturá-los para suportar todo o processo de beneficiamento, incluindo serragem e polimento.

Como decorrência, surgiram diversas maneiras de estruturar o bloco (dar-lhe resistência) antes da serrada, permitindo o desdobramento em chapas de materiais tão frágeis que desmanchariam sem esse recurso e surgiram também telas para estruturar (reforçar) as chapas para suportarem o polimento e o transporte sem quebrar. Existem diversas formas de estruturação do bloco para a fase de serragem, sendo as mais comuns, a utilização de chapas de materiais de baixo valor, com borra-chas especiais, telas (Fig. 2) e até madeira, coladas ao bloco a ser beneficiado por material colante.



Figura 2 - Bloco Estruturado (Envelopado).
Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Isto teve reflexos imediatos no tocante à abertura de pedreiras de diversos tipos de materiais cuja beleza estética por si só, passou a ser a condicionante principal para o desenvolvimento das atividades de lavra.

Com isso uma vasta gama de mármore e granitos, mais frágeis, passaram a ter aproveitamento, permitindo-se, neste caso, a produção de blocos mais irregulares, de modo que as formas ideais de blocos, somente nesses casos, passaram a não ser uma forte condicionante, para o desenvolvimento das pedreiras. Deve ser ressaltado que estes materiais que comercialmente são designados de exóticos e super exóticos, designação muito popularizada no Brasil, são, quase na totalidade, materiais de baixo nível de produção, que atende um mercado de alto valor, porém diminuto.

Nenhuma unidade industrial tem sua otimização centrada somente no beneficiamento destes materiais, daí que os fatores inicialmente citados de blocos comerciais com regularidade e que apresentem o melhor aproveitamento da tecnologia de serragem e polimento são os parâmetro que devem ser buscados.

Um aspecto bastante interessante e que foi condicionante da competitividade do parque industrial brasileiro de rochas ornamentais, foi a avaliação do processo de gestão de serrarias de Mármore e Granitos no Estado do Espírito Santo realizado no final da década de 1980, pelos engenheiros de produção Álvaro Abreu e Denilson Carvalho que perceberam e sugeriram a necessidade dos industriais ocuparem a totalidade da área disponível para beneficiamento no tear. Este fato por si só, correspondeu a uma “revolução” pois praticamente dobrou a produtividade do parque industrial brasileiro.

Outros aspectos foram sugeridos pelos citados pesquisadores, tal como o controle permanente da mistura abrasiva, para que fossem mantidas as condições ideais da lama durante toda a serrada.

Por conseguinte, as pedreiras tiveram que adaptar seus métodos de lavra para poder produzir blocos de até 12 m³, quando o usual até aquele momento era em torno de 6 m³. Em decorrência do aumento do tamanho dos blocos, com pesos de 40 a 50 toneladas houve uma grande repercussão nos equipamentos de movimentação de blocos nas pedreiras e em seu transporte.

Durante muitos anos, praticamente até 2007, apesar de uma grande quantidade, variedade de acidentes e inclusive vítimas fatais, não havia uma legislação que regulamentasse o transporte de blocos nas rodovias brasileiras.

Atendendo a um reclame geral de todos atores envolvidos foi sendo aperfeiçoada uma legislação que atendesse aos interesses dos órgãos responsáveis pelas rodovias, dos transportadores e dos industriais do setor das rochas ornamentais.

Assim foram estabelecidas algumas condicionantes, tais como o veículo utilizado para o transporte dos blocos deve contar com uma unidade tratora e semirreboque dotados de sistema de travas frontais e laterais móveis e ajustáveis às dimensões da carga. Os blocos devem ser presos por meio de correntes ou cabos de aço tensionado, colocado no sentido longitudinal e transversal e assim podemos afirmar que os interesses estão compatibilizados (Fig. 3).

Após chegar à unidade industrial os blocos são retirados da carreta ou caminhão na sua quase totalidade por pórticos rolantes e, em menor escala, por Pau-de-Carga e Guincho de Arraste. Os blocos ficam no pátio de armazenamento onde posteriormente são escolhidos para compor a carga e são conduzidos para o tear em um carro autotransportador.

No caso de serem serrados em teares que utilizam blocos únicos, os cuidados para elaboração da carga são menores, porém, no caso de compor carga com outro bloco, vários cuidados devem ser tomados, entre os quais destacamos:

- Buscar fazer a carga com blocos do mesmo material, pois no caso de materiais diferentes a velocidade de corte estará sendo definida pelo material mais duro. O bloco de material mais macio poderá ser arranhado em sua superfície o que dificultará o processo de levigamento, polimento e normalmente com grande risco de empenar, pois a sua velocidade de corte é diferente do normal.
- Mesmo que os blocos estejam retificados, o que atenua sobremaneira todo o processo de serrada, os blocos devem ter a mesma altura, para que não sejam perdidas horas adicionais de serrada por causa do encache das lâminas nos blocos em tempos diferentes e da repercussão na qualidade da chapa pela diminuição da velocidade de serrada quando entrar no segundo bloco.
- O mesmo ou a máxima aproximação possível no comprimento dos blocos também deve ser buscado, pois esta configuração permite que a lama abrasiva seja distribuída uniformemente durante toda a serrada, não permitindo que o bloco mais longo atrase a serrada em relação ao bloco mais curto.



Figura 3 - Transporte de Blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

Estabeleceremos a seguir as principais definições no tocante aos blocos para a melhor compreensão do que deve ser o resultado do trabalho de extração e o bloco comercial a ser entregue para as indústrias.

Apenas a título de informação gostaríamos de salientar que nenhuma pedra consegue produzir somente blocos de primeira qualidade, daí que temos que considerar a necessidade e a viabilização dos blocos de segunda qualidade que são produzidos. O nível de exigência dos responsáveis pela seleção de blocos é muito alto, condicionado pelos fatores de obtenção da chapa ideal, bem como da otimização da carga no processo de beneficiamento e isto gera normalmente um substancial encalhe de blocos que permite a sua industrialização mesmo com uma perda mais acentuada.

Isto é possível não somente devido a tipos específicos de defeitos, mas e, sobretudo, pela avaliação rigorosa que deve ser realizada considerando que o bloco corresponde invariavelmente ao maior custo na estrutura de produção da chapa ou do ladrilho, correspondendo normalmente a um valor de aproximadamente de 30% de toda a estrutura de custo de produção em uma serraria.

4.1. Definições

Blocos

São os elementos base da indústria de rochas ornamentais. Os blocos são extraídos dos maciços rochosos ou a partir dos matacões.

Blocos irregulares

Compreendem os blocos sem forma e sem tamanho regular.

Blocos feitos à esquadria

Compreendem os blocos que correspondem aproximadamente a um paralelepípedo regular.

Blocos feitos à medida

Compreendem os blocos feitos à esquadria – no esquadro – com certas ou todas as medidas indicadas.

Medidas

O comprimento (c), a altura (h) e a largura (l) são as medidas dos blocos. (Figura 4) Serão indicadas na sequência apontada e em centímetros. O comprimento corresponde à maior medida ao correr da camada natural sempre que esta noção se aplique. A altura é normalmente a menor medida no sentido da camada natural ou perpendicular ao comprimento. A largura é a medida perpendicular ao plano tomado por comprimento (c) e altura (h).

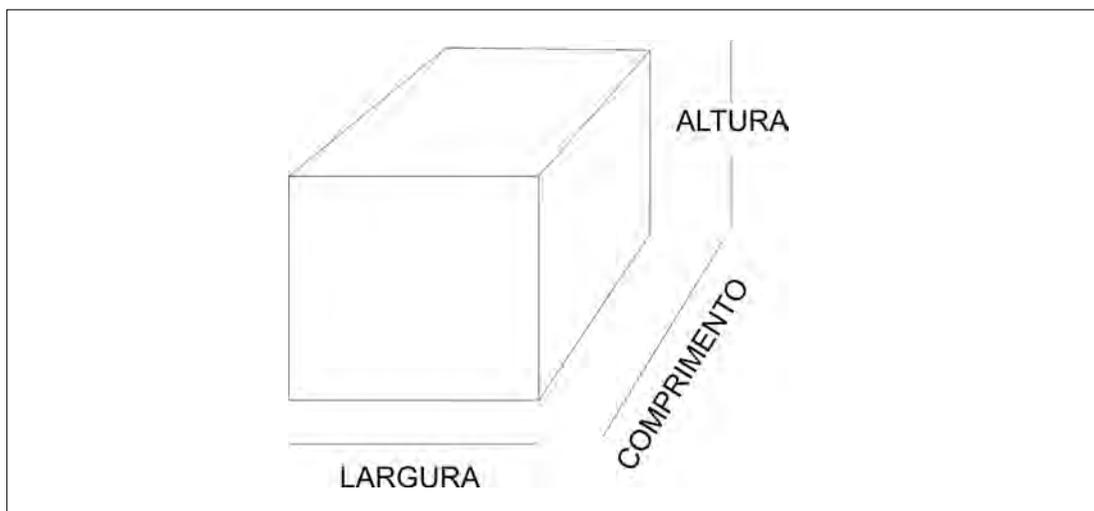


Figura 4 - Medidas de um bloco de rocha ornamental: Modificado de Machado, 2003.

Medidas fora a fora

As medidas fora a fora serão obtidas pelas medidas dos vértices de menor paralelepípedo circunscrito ao bloco, conforme mostrado na figura 4.

Medidas internas

As medidas internas serão determinadas estabelecendo-se o maior paralelepípedo inscrito no bloco que tenha todos os lados com ângulos retos, não contenha furos ou quaisquer outras entradas. Reduzir 5 centímetros de cada uma dessas medidas para desperdício. A figura ou forma resultante dará a medida interna, conforme pode ser visto na figura 5.

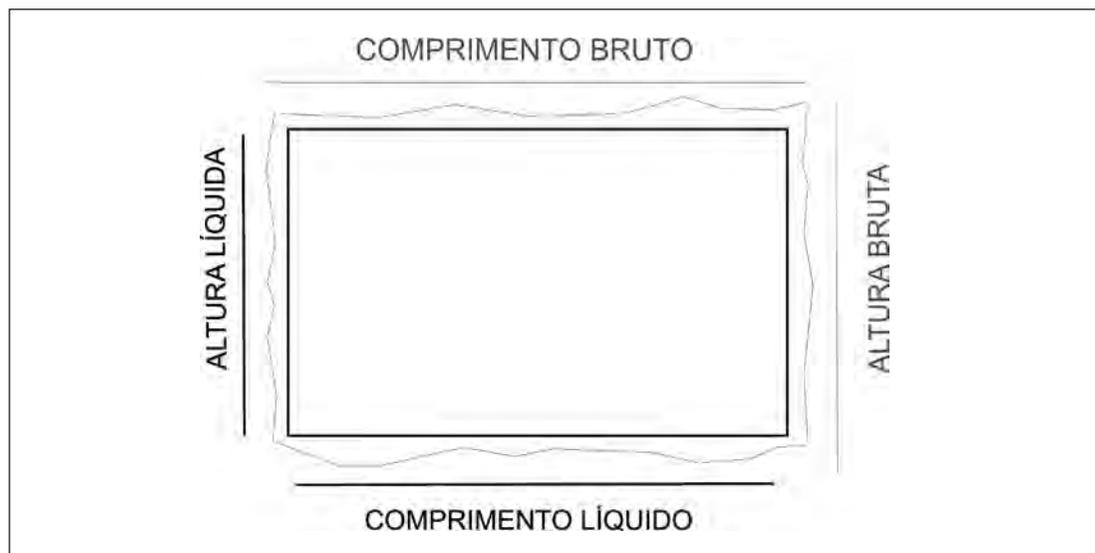


Figura 5 - Medidas fora a fora e medidas internas. Extraído de Machado, 2003.

Medida comercial

A medida comercial de um bloco será determinada em acordo entre o comprador e o fornecedor, sendo usual no Brasil uma redução entre 5 e 10 cm em cada lado, naqueles blocos bem esquadrejados, ou seja, onde o paralelepípedo está bem circunscrito.

4.2. Especificações

Forma

Nos blocos feitos à esquadria (no esquadro), os seis lados devem ser planos, com ângulos retos e lados paralelos, correspondendo à forma de um paralelepípedo.

Os blocos de tamanho especificado terão medidas nunca inferiores aos mínimos valores indicados e nunca maiores do que os maiores valores estabelecidos entre o comprador e o fornecedor.

Volumes

Comercialmente, embora não seja uma medida de volume, é frequente que se faça referência ao volume dos blocos em toneladas, em vez de em metros cúbicos. Isto acontece especialmente em casos de granitos e mármore raros, tais como, Azul Bahia, Amazonita (GSA-Pb), Lápis-lazúli (Chile), Ônix etc.

Qualidade da rocha

As fissuras e os veios serão marcados. Os blocos estarão de acordo com a qualidade comercial especificada ou negociada. A pedido, algumas propriedades selecionadas poderão ser testadas por método de ensaios específicos.

Marcação

Com o número de identificação, a guia de transporte e outros documentos (*Packing List*) de cada fornecimento deverão ter escrito o nome da rocha ornamental de acordo com a norma específica, as medidas (em que figure pelo menos as medidas fora a fora e a medida interna) e o volume dos blocos.

A direção da principal camada natural de cada bloco será marcada de forma clara. Cada bloco terá um único número de identificação.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração de Enir Sebastião Mendes pela revisão e de Nuria Castro pelas imagens e a revisão do texto.

6. Bibliografia e referências

ALENCAR, C. R. A; CARVALHO, D; CARANASSIOS, A. Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais, Fortaleza: Instituto Euvaldo Lodi – IEL,1996. Série Estudo Econômico sobre Rochas Ornamentais, v. 3

ATLAS COPCO DO BRASIL Perfuração e Desmonte de Rochas. São Paulo, 1996.

CARANASSIOS, A.; CICCUCI, P. Tecnologias de Extração e Valorização das Rochas Ornamentais. V-23. Rochas de Qualidade. São Paulo. 1992.

CRESPO, Francisco. Manual de Rochas Ornamentais. Madrid: Ed. Entorno Gráfico, 1996.

DUARTE, G. W. Tecnologias de Extração de Rochas Ornamentais. Senai. Vitória, ES, 1994.

EXPLO - INDÚSTRIAS QUÍMICAS E EXPLOSIVOS S. A. Técnicas Básicas de Desmonte de Rochas. V - 1; São Paulo: Explo, 1979.

FÁBRICA DE EXPLOSIVOS PRESIDENTE VARGAS Utilização de Explosivos. Rio de Janeiro. 1971.

HERMAN, Curt. Manual de Perfuração de Rochas. São Paulo: Ed. Poligno, 1968.

MACHADO, Marlon A. Processos de Beneficiamento – Parte 1 – Apostila do Curso de Especialização em Valorização das Rochas Ornamentais. UFRJ/CETEM/CPRM, 2003.

MIRANDA, A - As propostas de Normas Europeias (I). R. Rochas de Qualidade, São Paulo, v. 24, n 117, abr / maio/ jun, 1994.

NUNES MARQUES, Marcos. Relatório de Serviços de Preparação e Abertura de Frente de Lavra de Granito Ornamental. Relatórios restritos do CETEM e da Pedreira Escola. Ruy Barbosa. Bahia. 2003.

NUNES MARQUES, Marcos. Relatórios de Serviços de Lavra de Granito Ornamental. Relatórios restritos da Pedreira Escola. Ruy Barbosa. Bahia. 2004.

QUÍMICA EDILE DO BRASIL Manual de Utilização do Fract. Ag: argamassa expansiva. Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2000.

RODRIGUES COSTA, Roberto. Projetos de Mineração. Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto, Minas Gerais. 1979.

SANDVICK DO BRASIL Manual de Perfuração de Rochas. São Paulo, 1996.

SOUZA, Hélio; CARALANI, Guilherme. Terraplanagem e Escavações em Rochas. São Paulo: Ed. MacGraw Hill do Brasil, 1977.

SOUZA, Petain A. Avaliação econômica de projetos de mineração: análise de sensibilidade e análise de risco / Edição Revisada. Petain Ávila de Souza- Belo Horizonte. 2005

TEODORO, Wilder; RUBIO, Galvão. Segurança na Mineração em Uso de Explosivos. Rio de Janeiro: Fundacentro, 1986.

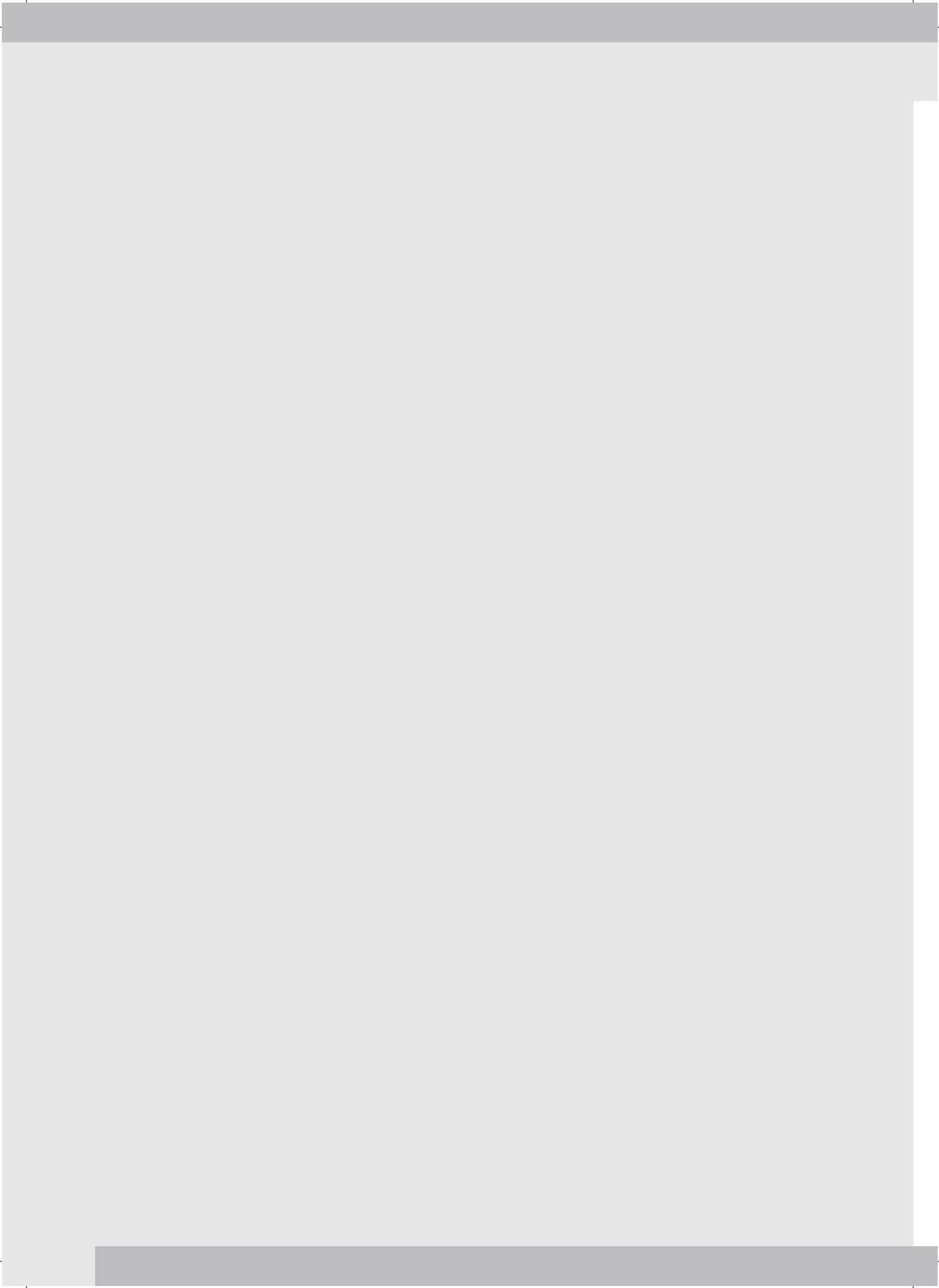
Capítulo 7

Beneficiamento de rochas ornamentais

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Geólogo, D.Sc., CETEM/MCTI

Francisco Wilson Hollanda Vidal, Eng. de Minas, D.Sc., CETEM/MCTI

Julio César Souza, Eng. de Minas, D.Sc., UFPE



1. Introdução

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, podem se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário. O primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, usualmente dois ou três centímetros. No segundo processo, as chapas são submetidas a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado ou outros tipos que serão vistos neste capítulo, assim como a produção de ladrilhos e outras peças.

A compreensão das etapas de beneficiamento de rochas ornamentais, mais especificamente a serragem e o polimento, como sendo processos de desgaste de uma superfície em que existe uma íntima relação entre as muitas variáveis envolvidas, ainda não é completa. As características intrínsecas da rocha, os tipos de teares (multifio e multilâmina), talha-blocos, serras diamantadas e politrizes (automáticas e semiautomáticas), os tipos e formas de abrasivos são alguns dos fatores que influem no produto final e que são colocados, na maioria dos casos, em segundo plano.

Especificamente no setor de rochas ornamentais, o Brasil, apesar de ter apresentado uma significativa melhora na qualidade operacional de seus parques industriais, principalmente em relação às técnicas de beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento), ainda não tem atentado para a importância de desenvolver, de uma forma mais intensa, pesquisas nesse importante setor produtivo. Em todo o processo de beneficiamento de rocha ornamental, existem lacunas no conhecimento que, em última análise, geram custos, contribuindo para uma diminuição da competitividade da indústria brasileira no mercado internacional.

A importância do atrito e da resistência ao movimento é reconhecida em vários exemplos práticos no nosso dia a dia e ao longo da História da nossa civilização. Registros do antigo Egito mostram serviços de transporte de objetos pesados que envolviam desde o simples arrasto até a utilização de toras ou rolos. Para arrastar os blocos de várias toneladas que usavam em suas construções, os egípcios valiam-se dessas ferramentas simples para diminuir, de maneira ainda instintiva, o coeficiente de atrito entre as superfícies.

Em muitos setores das atividades humanas o desgaste é um fator indesejável, pois pode causar perda da vida útil de algum componente, perda de desempenho etc. No caso do processamento industrial de rochas ornamentais, entretanto, é o desgaste que imprime a qualidade da superfície serrada, o brilho, a beleza e a durabilidade das rochas polidas. Logo, é de suma importância a compreensão dos processos de atrito e desgaste envolvidos nesses processos e a definição de um modelo tribológico, em que seja possível a definição de taxas de desgaste, sendo considerados todos os atributos intervenientes.

O termo Tribologia pode ser definido como a “Ciência e tecnologia de superfícies que se interagem em movimento relativo ao das práticas a elas relacionadas” (ZUM-GAHR, 1987). O atrito e o desgaste não são propriedades intrínsecas dos materiais, mas sim características da interação destes materiais com variáveis operacionais. O atrito é responsável por dissipações de energia, e o desgaste de matéria. Atrito é a resistência ao deslocamento gerado a partir da interação de sólidos em determinadas áreas de contato e desgaste é a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido ao contato e movimento relativo deste com outro corpo sólido, líquido ou gasoso.

A resistência ao desgaste é considerada como parte de um sistema tribológico, sendo muitos os parâmetros que acabam por influir na taxa de desgaste, incluindo as características do projeto,

condições de operação, tipo de abrasivo e propriedades do material. De acordo com a *American Society of Metals - ASM* (2001), os fatores que mais influem em um sistema tribológico são:

- Composição dos materiais;
- acabamento da superfície de cada sólido;
- natureza das condições de contorno;
- carga aplicada;
- velocidade relativa entre os corpos;
- natureza do movimento entre os corpos (unidirecional, para trás e para frente etc.);
- natureza do contato;
- temperatura da região interfacial; e
- características da máquina a ser utilizada.

Esta Ciência, com modelos analíticos originalmente desenvolvidos para previsão de taxas de desgaste ideais para processos de usinagem metálica, pode contribuir para um melhor entendimento dos processos de beneficiamento de rochas ornamentais. Em alguns aspectos, principalmente em relação à composição e comportamento mecânico, os metais diferem dos elementos minerais que compõem as rochas. Porém, em relação à contribuição ao comportamento dos mesmos nos seus distintos processos de beneficiamento, fatores como o arranjo, textura, estrutura e granulação dos elementos constituintes guardam similaridade quanto ao seu grau de importância no resultado final. Comparando uma microfotografia de rocha em lâmina delgada (Fig. 1) com outra de uma liga metálica (Fig. 2), tais aspectos em comum podem ser verificados.



Figura 1- Fotomicrografia de um monzogranito com textura fina. Extraído de Silveira, 2007.

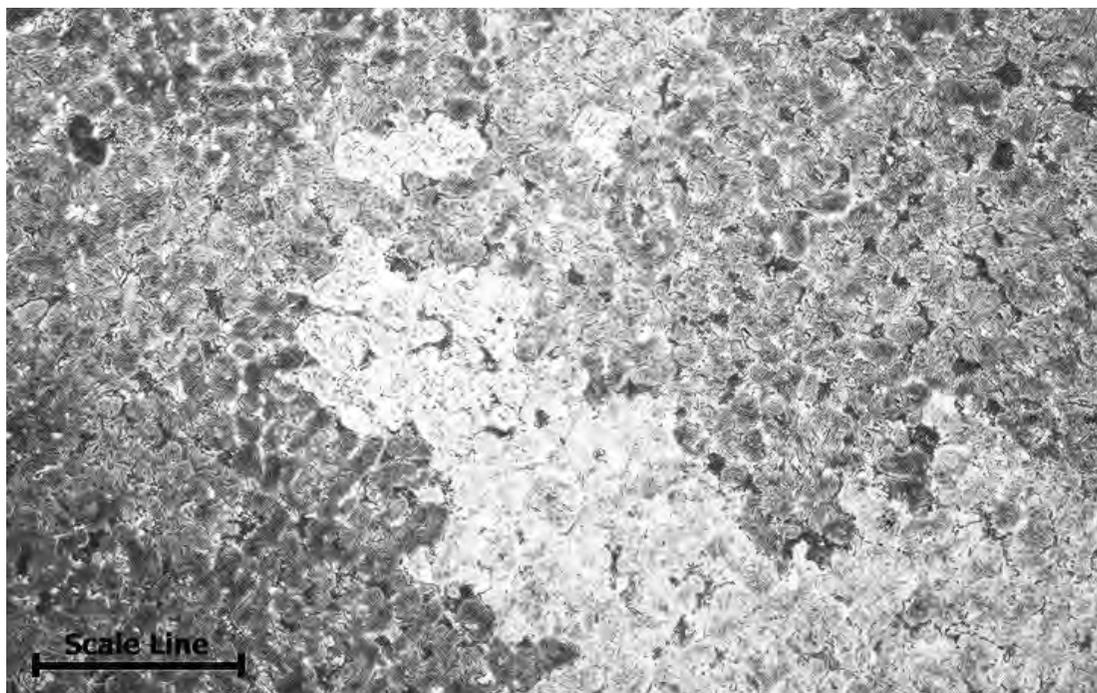


Figura 2 - Fotomicrografia de uma liga de Cobre-Titânio, escala gráfica de 125 mm. Extraído de *Copper Development Association Inc.*, 2013.

2. Mecanismos de desgaste nas etapas de beneficiamento

Existem numerosas classificações de processos de desgaste. Uma característica em comum entre todas elas é o uso do mecanismo para definir o processo de desgaste. Noble (1985) caracteriza quatro tipos principais de desgaste, a saber:

- desgaste abrasivo (abrasão);
- desgaste por deslizamento;
- desgaste erosivo (erosão); e
- desgaste por atrito acelerado devido a vibrações diferenciais na zona interfacial (*fretting*).

O desgaste por abrasão caracteriza-se por movimento relativo entre um corpo “duro” e uma superfície mais “mole”. Neste processo, o corpo duro pode ser fraturado e a superfície mais mole pode ser trincada e/ou deformada, sendo tais materiais removidos da superfície, resultando mensurável perda de volume. O desgaste abrasivo pode, por sua vez, ser dividido em relação ao tipo de contato, que pode ser a dois ou a três corpos. O primeiro ocorre quando um abrasivo desliza ao longo de uma superfície (ex. polimento), e o segundo quando um abrasivo desliza entre duas superfícies (ex. serragem). A figura 3 mostra, de forma esquemática, os dois tipos de processos abrasivos em relação ao contato.

O beneficiamento de uma peça com abrasivo preso ao rebolo (abrasão a dois corpos) é muito diferente do processo que utiliza abrasivos soltos (abrasão a três corpos). Uma superfície gerada por desgaste abrasivo a dois corpos é mais lisa do que uma gerada por abrasivos livres. Comparada com os abrasivos livres, a rugosidade média (Ra) obtida por processo a dois corpos é de 1/5 a 1/10 (Fig. 4).

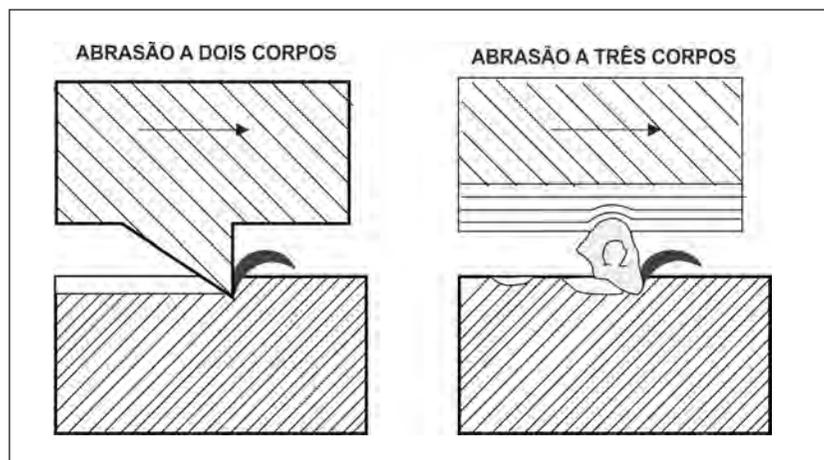


Figura 3 - Esquema de desgaste a dois e a três corpos. Extraído de Zum-Gahr, 1987.

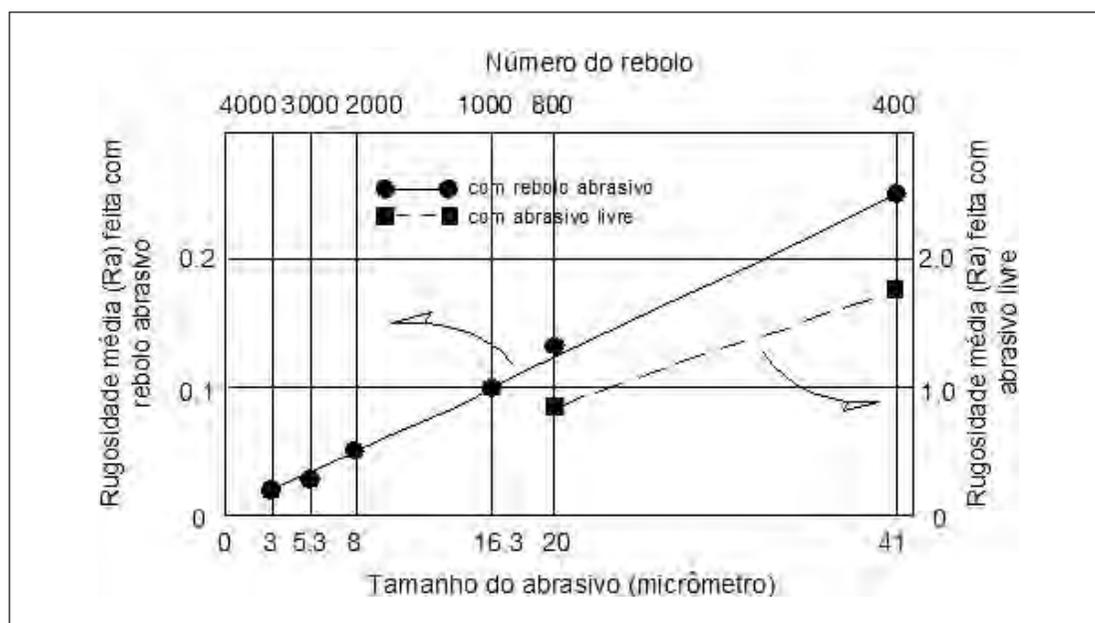


Figura 4 - Relação entre o tamanho do abrasivo, tipo de desgaste e rugosidade média. Extraído de Tomita e Eda, 1996.

O desgaste abrasivo pode também ser dividido em relação ao carregamento (tensão) em que o sistema se apresenta, a saber:

- Abrasão por riscamento – também conhecido como abrasão em baixas tensões, este tipo se dá por contato da superfície com partículas abrasivas, em que, devido à baixa tensão envolvida, não ocorre fragmentação do abrasivo. As tensões causadas são devidas, principalmente, à velocidade relativa entre os corpos (velocidade de corte); e
- abrasão por goivamento – devido às altas tensões envolvidas neste processo, o goivamento envolve a remoção de partículas relativamente grosseiras da superfície do corpo. Este tipo de desgaste envolve a fragmentação das partículas abrasivas e remoção de grande quantidade de material da peça de trabalho.

2.1. Principais fatores que influem na abrasividade

De acordo com Momber e Kovacevic (1998), a avaliação de um material para ser usado como abrasivo deve envolver a caracterização dos seguintes parâmetros:

- Estrutura do material;
- dureza do material;
- comportamento mecânico;
- forma do grão;
- distribuição granulométrica; e
- tamanho médio dos grãos.

Agus *et al.* (1995) introduziu um parâmetro para a avaliação do material abrasivo:

$$P_{Abr} = H_p \cdot S \cdot \rho_p \cdot d_p \cdot m_A$$

Onde:

H_p – dureza do material abrasivo;

S – forma da partícula;

ρ_p - peso específico do material;

d_p – diâmetro da partícula;

m_a – taxa de fluxo de massa.

Dureza

A dureza é a resistência que determinada superfície oferece ao risco, sendo esta considerada como uma das propriedades mais importantes do material que sofre desgaste. Cabe salientar que, quando se fala de dureza, pode tratar-se tanto do abrasivo quanto do material a ser desgastado.

Como as outras propriedades físicas dos minerais, a dureza depende da estrutura atômica dos mesmos. Quanto mais forte for a união entre os átomos, mais duro será o material. A dureza pode ser quantificada por vários métodos. Um dos mais utilizados para medir a dureza de materiais, principalmente ligas e metais, são os ensaios de Rockwell, normatizados pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM - E 18 (2008). Este ensaio ocorre quando um penetrador esférico e duro é forçado contra a superfície do metal a ser testado. O diâmetro do penetrador de aço endurecido (ou Carbetto de Tungstênio) é de 10,00 mm (0,394”). As cargas padrão variam de 500 a 3000 kg em incrementos de 500 kg; durante o ensaio, a carga é mantida constante por um tempo específico (entre 10 e 30 segundos). Materiais mais duros exigem cargas aplicadas maiores. O índice de dureza Brinell, HB, é uma função tanto da magnitude da carga quanto como do diâmetro da impressão resultante.

Em rocha, uma técnica que vem sendo cada vez mais utilizada é a determinação da dureza por microindentação, também chamada de microdureza, regida pela norma ASTM E 384 (2011). Existem dois tipos principais de pontas de diamante, que são adotadas em função do tipo de material em que será efetuado o ensaio. A ponta *Vickers* não apresenta um bom resultado em materiais não maleáveis, como vidro, cerâmica e minerais não metálicos (grande maioria dos minerais encontrados em rochas ornamentais). Pesquisas do setor ceramista mostraram que a determinação da dureza *Knoop* apresentava uma menor dispersão do que as medidas de dureza *Vickers*, para os mesmos materiais.

Tamanho das Partículas

De modo geral, quanto maior o tamanho da partícula maior a taxa de desgaste. Isto é devido a uma remoção mais eficiente de material face a maior carga exercida por cada partícula de abrasivo quando, sob as mesmas condições de ensaio, o tamanho desta é aumentado.

A taxa de remoção de material apresenta uma relação constante com abrasivos até o rebolo com granulometria 15 mm (800 mesh). A partir deste ponto, ocorre uma grande diminuição na taxa de remoção (Fig. 5).

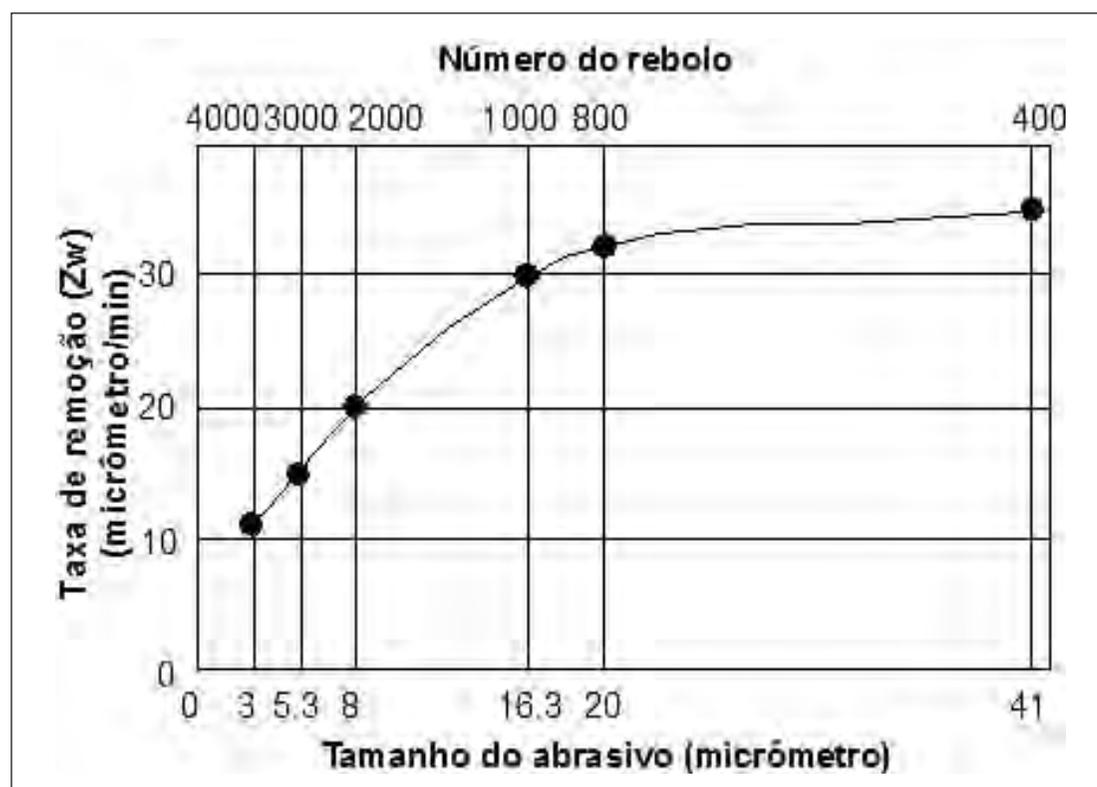


Figura 5 - Relação entre tamanho do grão abrasivo e taxa de remoção. Extraído de Tomita e Eda, 1996.

Tomita e Eda (1996) estudaram também a relação entre a rugosidade máxima (R_{max}) e o tamanho do grão abrasivo. Tal parâmetro apresentou-se constante ao longo de todo o processo de polimento (Fig. 6). Algumas equações foram desenvolvidas, a partir dos dados por eles apresentados, relacionando rugosidade média (R_a), taxa de remoção (Z_w) e tamanho do grão abrasivo (D) e são apresentadas a seguir:

$$R_a = 0.006D + 0.002$$

$$Z_w = 1.8D + 5.6$$

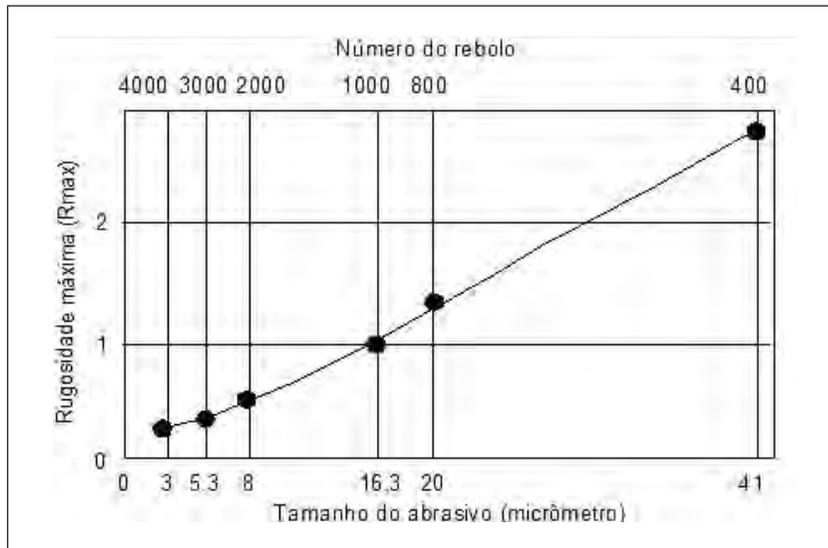


Figura 6 - Relação entre tamanho do abrasivo e rugosidade máxima (Rmax). Extraído de Tomita e Eda, 1996.

Durante a abrasão, o tamanho das partículas pode variar em função das solicitações imperantes no sistema (Fig. 7). Partículas muito duras e frágeis tendem a diminuir de tamanho, reduzindo-se também o seu poder de desgaste. Partículas com alta tenacidade podem gerar arestas de corte arredondadas e deixar de remover material por microcorte; e partículas com propriedades intermediárias, duras, porém não tão frágeis, podem ter arestas de corte renováveis durante seus movimentos, permitindo um desgaste rápido do material em contato (STACHOWIAK; BATCHELOR, 1993).

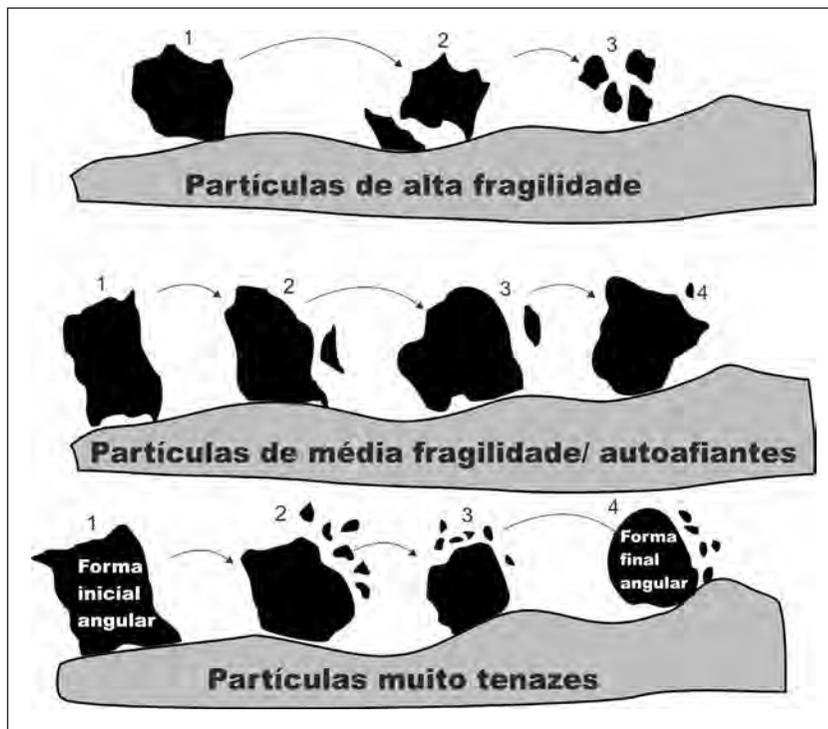


Figura 7 - Efeito da tenacidade e da fragilidade da partícula sobre sua eficiência em desgastar. Extraído de Stachowiak e Batchelor, 1993.

O conceito oposto ao da tenacidade é o de friabilidade, que corresponde à facilidade para se romper um material sob uma determinada força ou impacto.

A friabilidade define bem uma classificação dos abrasivos: materiais de maior friabilidade são utilizados em operações de retífica e de polimento (ex.: carbetos de silício e alumina eletrofundida branca), já os materiais menos friáveis (ex.: alumina eletrofundida marrom) são utilizados em operações envolvendo grande volume de material a ser removido (MORAIS; SUSTER, 2001).

Em relação a característica de tenacidade do rebolo abrasivo relacionado com o processo de polimento de rochas ornamentais, Scognamiglio (1995) lembra que tal fator é importante, porém, não o único atributo que deve ser considerado. Segundo o autor, ao utilizar abrasivos muito tenazes, a pressão usual de trabalho da politriz será ineficiente e, no intuito de torná-lo produtivo, pode-se aumentar gradualmente a pressão de trabalho do equipamento, o que acarreta distanciamento dos padrões normais da máquina, podendo gerar vários problemas, pois com o aumento da pressão de trabalho:

- Aumenta a amperagem dos motores;
- cresce o consumo de energia elétrica;
- chapas e abrasivos começam a se romper mais frequentemente;
- aumenta substancialmente o número de riscos na chapa;
- ladrilhos de 1 cm de espessura não resistem a altas pressões;
- motores elétricos passam a trabalhar em regime de sobrecarga e, por conseguinte, vão aquecer e queimar mais frequentemente; e
- cabeçotes terão uma redução drástica de sua vida útil devido aos excessivos esforços sobre os rolamentos, provocando também superaquecimento e fuga de graxa.

Este autor ressalta ainda que o princípio do trabalho do abrasivo não é o da pressão e sim o da diferença de dureza entre seu componente básico, o Carbetos de Silício (SiC) ou diamante (C), durezas 9,5 e 10,0 respectivamente, na escala de *Mohs* – e a rocha ornamental que, mesmo as mais duras, não ultrapassam o índice 7 na mesma escala. Deve-se então estabelecer uma faixa de pressão de trabalho entre 1 bar e, no máximo, 2 bars (1bar=0,987 atm ou 1kgf/cm²). Se algum abrasivo necessitar de pressão superior a 2 bars para se tornar produtivo, convém também considerar os fatores negativos que advêm desta pressão.

Velocidade Relativa e Carga Aplicada

A influência da carga aplicada e da velocidade relativa entre as partículas abrasivas e o material que sofre desgaste despertou interesse logo nos primeiros estudos de desgaste por abrasão.

Um dos primeiros trabalhos acerca deste assunto foi o de Haworth (1949). Este autor, ensaiando amostras temperadas de aço SAE 1045, variou a carga e a velocidade da roda de borracha. Foi possível observar que a mudança na velocidade de 250 rpm para 1.035 rpm, mantendo-se constantes os outros parâmetros, gerou um aumento de, aproximadamente, duas vezes na taxa de perda de massa; enquanto que, dobrando-se a carga e mantendo a velocidade constante a 250 rpm, ampliou-se o valor da taxa de desgaste do abrasivo em duas vezes e meia.

Temperatura

O aumento da temperatura, geralmente, causa uma diminuição na dureza do material. Por este motivo, é de se esperar que a temperatura influa na resistência ao desgaste dos materiais (TYL-CZAK, 1992). Apesar disto, poucos trabalhos têm sido realizados para quantificar o efeito da tem-

peratura na abrasão, pois muitas dificuldades são encontradas pelos laboratórios para adaptar os equipamentos de tal forma que permitam a realização de ensaios a temperaturas controladas.

2.2. Modelos analíticos do processo abrasivo

Existem alguns trabalhos voltados ao desenvolvimento de modelos analíticos que estudam a dinâmica do contato entre partículas abrasivas e superfícies de materiais, visando, principalmente, a quantificação das taxas de desgaste.

Um dos primeiros modelos criados para a compreensão do mecanismo de desgaste foi o que tentou quantificar o desgaste volumétrico (W), devido a passagem de uma partícula abrasiva sobre uma superfície com uma carga normal (F_N), uma distância percorrida (S) e a dureza da superfície desgastada (H). Tal modelo ficou conhecido como a Lei de Desgaste de Archard (1959) *Apud* Tylczak (1992), expressa pela seguinte equação:

$$W = K.F_N.S / H$$

O K desta equação é conhecido como “coeficiente de desgaste” e é função da forma, tamanho, tipo e distribuição das asperezas. Esta equação foi formulada para desgaste por adesão, porém, pode ser utilizada para o desgaste abrasivo a dois corpos.

Rabinowicz (1965) *apud* Stachowiak e Batchelor (1993) criaram um modelo cujo desgaste abrasivo é quantificado considerando uma única partícula abrasiva, de forma cônica, sendo arrastada sobre uma superfície produzindo uma ranhura uniforme (Fig. 8). De acordo com este modelo, o volume de material removido (W) é o produto entre a área da seção transversal do sulco produzido, ($d^2 \cdot \cot \alpha$) e a distância percorrida pelo indentador cônico (l).

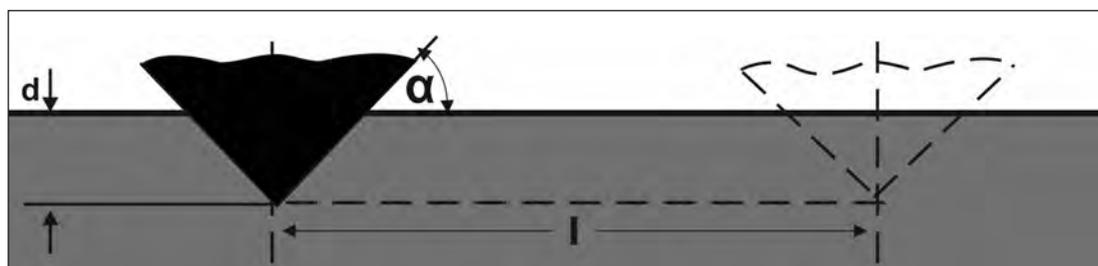


Figura 8 - Modelo de desgaste abrasivo causado por uma única partícula. Extraído de Stachowiak e Batchelor, 1993.

$$W = d^2 \cdot \cot \alpha \cdot S$$

Onde:

W – volume de material removido;

d – profundidade da indentação;

α – ângulo do cone; e

S – distância percorrida pelo indentador cônico.

3. Processos de beneficiamento primário

O beneficiamento primário também é conhecido como serragem ou desdobramento e consiste no corte dos blocos em chapas com espessuras bastante próximas do produto acabado. Isso é feito com uso de equipamentos como teares multilâmina, tear monolâmina, talha-blocos de disco diamantado, teares multifio diamantados ou monofio diamantado.

No beneficiamento secundário, ou final, são obtidos os diversos produtos a serem consumidos pelo setor de aplicação de rochas ornamentais nas suas diversas modalidades. Os processos envolvidos são de grande diversidade e variada complexidade, envolvendo o tratamento superficial, que representa a fase na qual as chapas brutas são polidas, apicoadas ou flameadas e transformando-as em chapas acabadas. Os principais grupos de produtos obtidos a partir do processamento de mármore e granitos para aplicação na indústria da construção civil são:

- Painéis para revestimento externo;
- ladrilhos para pavimentação;
- ladrilhos para revestimento;
- degraus e parapeitos;
- meios-fios, molduras e rodapés;
- mesas e bancadas para decoração;
- colunas; e
- produtos especiais.

3.1. Envolvimento de blocos

Na preparação do bloco para a etapa de serragem, independente da tecnologia utilizada, eventualmente é feito o envolvimento do mesmo com resinas especiais, por tratar de materiais com trincas acentuadas, geralmente, tipos considerados exóticos no mercado das rochas ornamentais. A figura 9 mostra um bloco em processo de envolvimento e a figura 10 o bloco já envolvido e preparado para a serragem.



Figura 9 - Processo de envolvimento de bloco de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

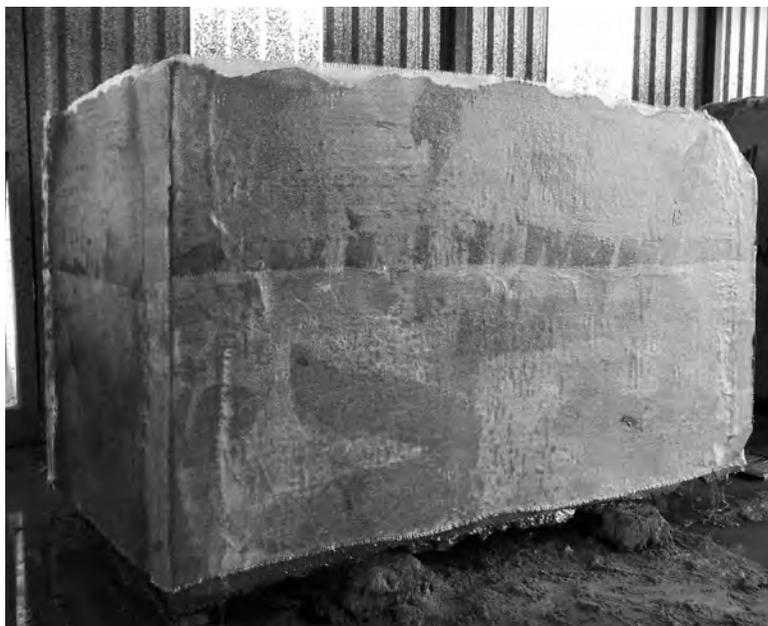


Figura 10 - Bloco envolado e preparado para serragem. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

3.2. Desdobramento de blocos

O desdobramento dos blocos de mármore, granito e rochas afins em geral é processado essencialmente por teares multilâmina (também denominados de convencionais) ou multifio, e secundariamente, por talha-blocos e teares diamantados. Nos últimos anos, tem havido um crescimento acentuado no parque tecnológico brasileiro para os teares multifio. Nessa etapa, os blocos são serrados em chapas, tiras ou espessores, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais. A figura 11 apresenta de forma esquemática os principais equipamentos e layout de uma unidade de beneficiamento de blocos de rocha ornamental.



Figura 11 - Layout de uma unidade de beneficiamento de blocos de rocha ornamental. Extraído de Pellegrini, 2012.

A operação de estocagem de blocos no pátio da empresa normalmente é realizada por um guindaste tipo pórtico rolante, ao ar livre, com vão de 15 metros mais o balanço de 4,5 metros para cada lado, o que permite a utilização dos espaços laterais para a estocagem de blocos, além do armazenamento central. A capacidade de carga útil do guincho de pórtico é de no mínimo 40 toneladas, com uma elevação de 7 metros e velocidade de operação de 18 m/min. Equipamentos tipo monofio ou bifio diamantado, utilizados para realizar cortes nas laterais de blocos mais irregulares, permitindo-se assim um melhor ajuste nos blocos a serem serrados e conseqüentemente, redução das perdas e otimização da serragem, também podem ser utilizados com frequência, antes do processo de serragem propriamente dito.

Processo de desdobramento de blocos em teares multilâmina à granalha

O corte com tear de lâminas ocorre pela ação da granalha como o principal elemento abrasivo conduzido por um conjunto de lâminas movimentado pelo tear. O tear é formado por uma estrutura de sustentação com quatro colunas, que suportam o peso do quadro porta-lâminas. As lâminas são dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco de material a ser beneficiado e tensionadas para manter um perfeito paralelismo durante o corte. Esse quadro é acionado por motor elétrico, que com auxílio de um volante, imprime um movimento pendular, responsável pelo atrito entre as lâminas, o elemento abrasivo (granalha) e o bloco a ser cortado. Simultaneamente, o conjunto quadro-lâminas é pressionado contra o bloco em um movimento de descida (cala), provocando o corte do material. O movimento pendular do quadro porta-lâminas propicia que a partícula abrasiva (granalha) corte a rocha de três modos, a saber:

- Riscamento;
- rolamento; e
- impacto.

A serragem dos blocos com teares multilâmina é amplamente difundida, independente do tipo de material a ser processado, sobretudo porque conjuga alguns fatores como maior flexibilidade operacional, boa produtividade e boa relação custo x benefício do investimento inicial. É o equipamento mais antigo, embora tenha sofrido ao longo dos anos inúmeras inovações e aperfeiçoamentos em busca de melhor desempenho. O processo de corte em tear pode ser representado por um fluxograma simplificado, conforme a figura 12, que apresenta as operações unitárias envolvidas no desdobramento de blocos com este equipamento. As principais fases da operação de desdobramento dos blocos em teares multilâmina à granalha são mostradas a seguir:

- Preparação da carga;
- carregamento do tear;
- laminação;
- controle dos insumos;
- controle do processo de serragem;
- descarregamento do tear;
- controle final; e
- manutenção.

O tear multilâmina utiliza, para o corte, lâminas de aço com ajuda de uma mistura abrasiva composta por água, cal hidratada, granalha de aço e pó de rocha. A densidade correta e constante adição de granalha nova (granalha ativa – superior a 0,425 mm), cal e água ao sistema, além de uma descida do quadro porta-lâmina (cala), condizente com as características de dureza e tenacidade da rocha, são a base da boa qualidade da serrada. Essa lama abrasiva percorre um circuito fechado sendo bombeada continuamente banhando o bloco a ser cortado.

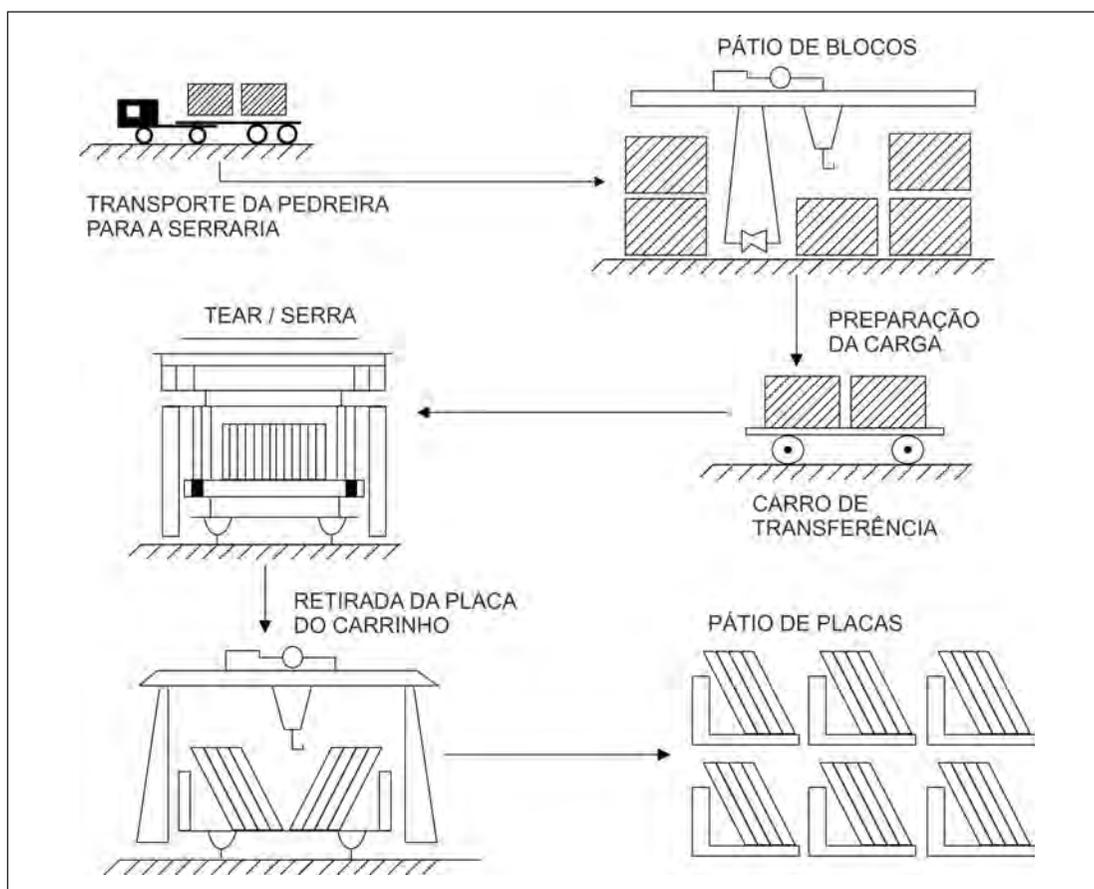


Figura 12 - Fluxograma simplificado do desdobramento em teares multilâmina. Extraído de Sampaio e outros, 2000.

Os carros porta-blocos são deslocados até a frente dos teares e posteriormente posicionados abaixo do quadro porta-lâmina do tear. Nesta posição, os blocos são fixados no carro porta-blocos com a colocação de argamassa na base do bloco, para o mesmo não sofrer deslocamentos durante a operação de serragem. Após a cura da argamassa, faz-se o posicionamento dos blocos sob os teares e dá-se início ao processo de serragem propriamente dito.

Após posicionamento no carro porta-bloco dentro do tear, iniciam-se os ajustes de operação do tear, que começa a etapa de laminação. Denomina-se laminação o grupo de operações relacionadas à colocação das lâminas de aço utilizadas nos teares para serragem dos blocos. Estas operações podem ser divididas em:

- Colocação ou substituição de lâminas: são colocadas no quadro porta-lâminas, dispostas no sentido longitudinal do movimento do quadro, sustentadas por um acessório denominado "cabresto", que dispõe de um pino onde a lâmina tem seu furo alojado preso nos chapões do quadro. Para cada lâmina usa-se um par de cabrestos;
- posicionamento das lâminas: corresponde à distribuição e espaçamento no quadro porta-lâmina e é definido pela espessura das chapas a serem produzidas, padronização e esquadreamento dos blocos, composição da carga e defeitos do material;

- aprumagem das lâminas: essa operação representa o nivelamento vertical das lâminas e deve ser feita lâmina a lâmina com auxílio de uma chave apropriada e verificação do prumo com uso de prumo de pedreiro ou nível de bolha. Uma lâmina com problema significa no mínimo duas chapas com defeito; e
- tensionamento das lâminas: o tensionamento é necessário para que a lâmina, durante seu processo de corte da rocha, não sofra alteração de posição, prumo ou alinhamento. O tensionamento pode ser realizado por processo manual (com utilização de cunhas fixadas por impacto, menos usual) ou mecanismo hidráulico, dotado de sistemas automatizados e regulares.

A laminação corresponde à distribuição das lâminas de aço sobre os blocos a serem serrados, utilizando-se espaçadores entre as mesmas de dimensões compatíveis com a espessura das chapas que se quer obter. Assim, há espaçadores para obtenção de chapas de 1,5 cm, 2 cm e 3 cm, que são as espessuras mais usuais para serragem de blocos em teares multilâmina. Após o tensionamento das lâminas, o quadro porta-lâmina é posicionado sobre o bloco e inicia-se a aspersão de lama abrasiva sobre o bloco, ligando-se também o sistema de translação do quadro porta-lâmina e o movimento de descida do mesmo (cala) em velocidade reduzida. Esta fase inicial de descida do quadro porta-lâminas é chamada de caseamento.

A resistência média à tração que as lâminas apresentam é de 5.000 a 6.000 MPa para serragem de mármore e rochas de baixa dureza, e de 7.000 a 9.000 MPa para granitos. A espessura tem pouca importância sobre sua resistência à flexão, mas influi muito na espessura do corte, na quantidade de material inutilizado e consumido na serragem, tanto para mármore como para granitos. Como a espessura do corte é cerca de 2 a 5 mm maior que a espessura da lâmina, o aumento de apenas 1 mm na espessura da lâmina, num bloco de 1,5 m de largura, significará uma perda de 3 a 4 chapas. À medida que a lâmina se desgasta, diminuem as suas resistências à tração e à flexão, fazendo com que o corte termine antes nas extremidades no bloco.

Em relação à largura das lâminas, a variação é devida ao tipo de tear e do material a ser serrado. Quanto maior for a largura, maior será a sua duração, maior sua capacidade de movimentar a polpa abrasiva e de manter a pressão adequada sobre a polpa, porém a montagem das lâminas é mais difícil, sendo às vezes necessário reduzir a viscosidade da polpa quando o corte se torna mais profundo, pois, com a utilização de lâminas mais desgastadas, a polpa abrasiva será menos movimentada.

A experiência mostra que as lâminas, no caso dos granitos, devem ter maior dureza, tenacidade e resistência à tração e à fadiga de tal modo que nunca seja superado o seu limite elástico, pois, a perda de rigidez, provoca um desvio do corte ocasionando chapas defeituosas.

Sabe-se que a eficiência de uma serragem está diretamente ligada à composição e à concentração da mistura abrasiva e que embora seja possível manter os mesmos componentes, suas concentrações podem variar com o decorrer do corte.

Após a entrada de pelo menos $\frac{1}{4}$ de todas as lâminas no bloco a ser serrado, inicia-se a fase de corte regular dos blocos, quando então se imprime a velocidade de descida do quadro porta-lâminas (cala) máxima, que pode chegar a cerca de 80 mm/h em rochas macias (granitos muito macios, calcários etc). A figura 13 apresenta um tear de movimento pendular juntamente com o sistema de poço e bombeamento da mistura abrasiva.

O bloco de rocha é colocado no tear, que constitui um equipamento robusto, formado por quatro colunas que sustentam um quadro que realiza movimento pendular. Neste quadro, são colocadas as lâminas de aço carbono de alta dureza, no sentido longitudinal e paralelas entre si.

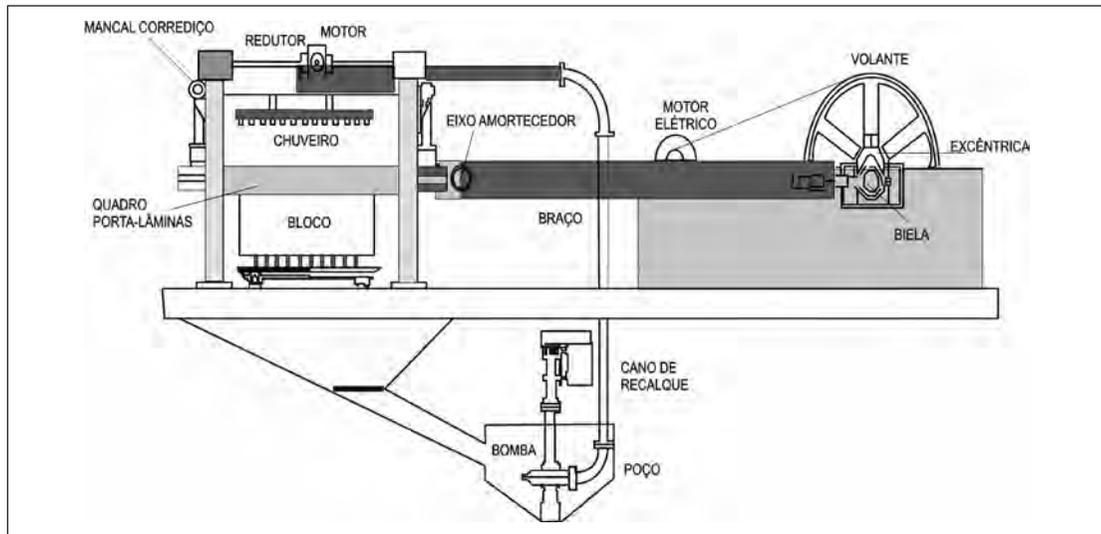


Figura 13 - Esquema de operação do tear multilâmina a granalha. Modificado de Machado, 2003.

A polpa abrasiva, composta por água, cal, granalha e fragmentos de rocha já desgastada pelo processo de serragem, é bombeada do poço de coleta, situado abaixo do tear, para um hidrociclone, operando com $d_{50} = 0,425$ mm. A fração de granalha ainda ativa retorna continuamente ao sistema. A fração fina descartada do hidrociclone (*overflow*), juntamente com a fração da rocha desgastada e a cal constituem o rejeito final do processo de serragem, que é depositado, geralmente, em aterros licenciados.



Figura 14 - Granalha utilizada na serragem de rochas ornamentais em teares multilâmina. CETEM/MCTI, 2012.

Dados operacionais de teares multilâmina

A serragem é a etapa do processo de beneficiamento com o maior demanda energética, sendo responsável por 60% do consumo de todas as etapas de beneficiamento. Em cada unidade de tear multilâmina se consomem, em média, 180.000 kW/mês.

O controle do processo de serragem em teares multilâmina se dá principalmente em relação à polpa abrasiva. Neste processo atenta-se para a qualidade da superfície serrada, fator essencial para um bom polimento.

A massa específica da polpa abrasiva, geralmente, varia entre 1.450 a 1.700 g/l. O volume total da polpa, por tear, é de 0,5 a 2 m³ e a vazão em circulação é de 30 m³/h para os teares pequenos e até 120 m³/h para teares maiores, o que representa cerca de 60 ciclos/h de circulação de lama abrasiva (STELLIN JR, 1998). A finalidade da cal é evitar a oxidação da granalha, a formação de superfícies de ferrugem nas chapas e regular a viscosidade da polpa abrasiva. Ao longo dos últimos anos, vem sendo cada vez mais utilizada a bentonita em substituição a cal. O mesmo autor diz que o tipo de material e sua serrabilidade são uns dos parâmetros mais importantes da serragem e por isso é mais correto referenciar a serrabilidade e não a dureza dos diversos materiais a serrar.

A serrabilidade dos granitos não depende da sua composição química, mas da compacidade, sendo mais fácil serrar os mais porosos, os alterados física ou quimicamente, e os que apresentam microfissuras no interior dos cristais (que debilitam a estrutura da rocha). Assim, são mais difíceis de serrar os materiais compactos, ou aqueles em que os poros estejam preenchidos por outros minerais, tornando a rocha mais homogênea com a união dos cristais, de acordo com Stellin Jr. (1998). Este autor relata que a avaliação da quantidade de partículas do bloco cortado presente na polpa é um índice de bom corte. Se os valores apresentados são inferiores aos usuais 33% a 45%, as serragens são consideradas defeituosas, enquanto valores superiores revelam que os materiais apresentam pouca tendência a dar polpas viscosas. Outro índice que indica um bom corte é o tamanho dessas partículas, não somente porque elas têm poder de abrasão como as granalhas, mas porque a falta de partículas grossas indica excesso de granalha na polpa.

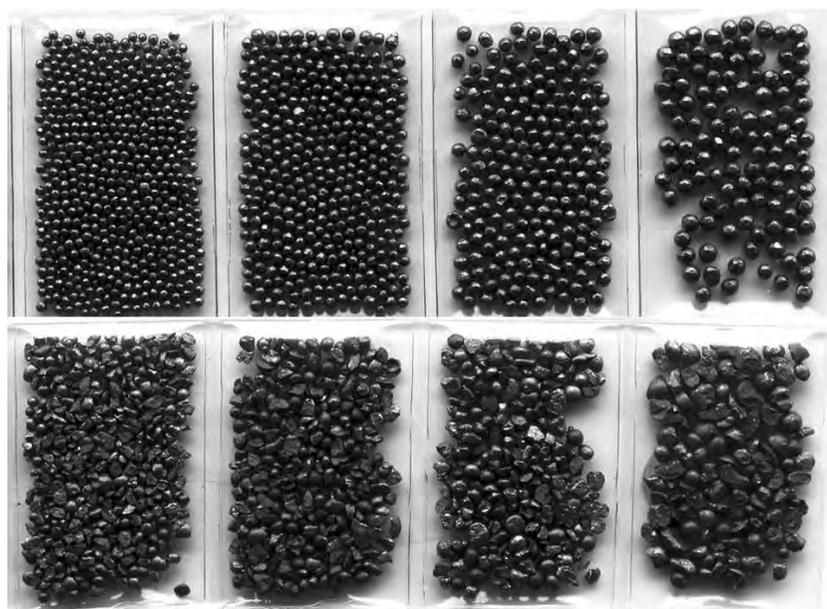


Figura 15 - Granalhas esféricas e angulares utilizadas no processo de corte de rochas ornamentais em teares multilâmina. Extraído de Machado, 2003.

Cabe ressaltar que a granalha constitui o verdadeiro elemento de corte, enquanto as lâminas têm a função de conduzi-la durante o processo e é um dos principais itens que entram na composição do preço dos granitos; quando usada de forma eficiente, reduz custos e tempo do processo de serragem. É encontrada comercialmente nos formatos esférico e angular (Fig. 15). As esféricas abrem espaço na rocha e têm o papel de rolamento para a lâmina, enquanto as angulares rompem os cristais da rocha (DE CAMILLES, 2004).

O tipo de rocha e seu grau de dureza (serrabilidade) são fatores preponderantes para a melhor escolha da granalha. Atualmente, as mais utilizadas para corte de granito são as granalhas de aço, numa mistura de angulares com esféricas, geralmente na relação 60% para 40%, respectivamente.

Os principais parâmetros controlados durante o processo de corte são os seguintes:

1. Altura (cm): durante o processo de corte, é necessário controlar quanto de rocha já foi cortada, por hora, por meio de leitura numa régua de 200 cm, fixada ao lado do pilar de sustentação do tear.
2. Viscosidade: a viscosidade, *stricto sensu*, é uma medida da resistência de movimento do fluido, embora seja empregado rotineiramente na indústria de rochas ornamentais para avaliar a lama abrasiva. A “viscosidade”, avaliada através da coleta da lama abrasiva utilizada em teares, é mensurada apenas com a utilização de uma régua desenhada para este fim (Fig. 16).



Figura 16 - Régua utilizada na medição da viscosidade da lama abrasiva. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

O processo se inicia com a coleta de amostra da lama abrasiva em um recipiente. Esta coleta ocorre sempre no mesmo cano do chuveiro que a distribui sobre o bloco, em um procedimento padronizado, utilizando um recipiente com capacidade de 1 litro. Como se observa na figura acima, a régua é composta por duas hastes paralelas; uma contém um sulco e a outra uma escala graduada de 0 a 12, que cresce da parte inferior para a superior e é adimensional. Para medir a “viscosidade” (Fig. 17), a régua é introduzida no recipiente de amostragem contendo lama até tocar em seu fundo e, em seguida, retirada. A altura em que a lama permanece no sulco é medida na haste graduada e corresponde à “viscosidade” da lama abrasiva.



Figura 17 - Medição da viscosidade através de régua utilizada pelo setor. Foto: CETEM/MCTI, 2013.



Figura 18 - Granalha ativa retida após a passagem da lama sobre uma peneira de 0,4 mm de abertura. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

3. Densidade (g/l): corresponde à quantidade de massa existente em um determinado volume. O mesmo recipiente de coleta de amostra, preenchido por lama abrasiva, é pesado em uma balança eletrônica para a obtenção da *densidade* e expressa em gramas por litro.
4. Granalha ativa (g/l): passa-se à lama contida no recipiente de amostragem em uma peneira de 0,425 mm de abertura de malha, a granalha que ficou retida é separada e pesada. Esta granalha é chamada de granalha ativa que é a contida na lama abrasiva e que efetivamente executa a serragem. O valor obtido em gramas por litro indica o quanto de granalha ativa há na mistura (Fig. 18).
5. Cala (mm/h): é a velocidade do corte da rocha, expressa em mm ou cm por hora. Depende muito do material que está sendo serrado, do perfeito funcionamento do tear e dos insumos utilizados. Normalmente, no início do corte, a velocidade é baixa (10 a 15 mm/h) para que ocorra o ajuste do sistema (encaixe das lâminas no bloco); posteriormente, esta velocidade vai crescendo em função da estabilização do processo de corte, chegando até cerca de 25 a 35 mm/h no final da serragem.
6. Amperagem do motor (A): a potência do motor que aciona as lâminas de corte é controlada pela corrente elétrica aplicada, expressa em amperes; normalmente, tal corrente oscila entre 30 e 40 A; acima de 40 A pode provocar danos ao equipamento e parada na serragem, independentemente da natureza da rocha.
7. Granalha (kg/h): este parâmetro indica a quantidade de granalha, em quilos, que abastece o sistema por hora. Normalmente, inicia-se o corte com a granalha que já se encontra no poço do tear, proveniente da serragem anterior. Posteriormente, com a evolução do corte, há necessidade de injetar granalha, pois durante o processo elas se desgastam, transformam-se em pó, e a lama perde sua capacidade abrasiva.
8. Expurgo (min): é o controle da descarga da lama para evitar que fique demasiadamente viscosa devido aos finos gerados no processo de serragem.

Outros parâmetros também são verificados durante o processo de corte, como a serrada (desgaste das lâminas), a marca de granalha utilizada, o tempo total de corte, as medidas do bloco, a espessura das chapas que serão cortadas (1,5; 2,0 ou 3,0 cm) e a quantidade de lâminas utilizadas.

Desde a entrada do bloco no tear até a sua saída, todos estes parâmetros devem ser acompanhados minuciosamente para um bom andamento do processo de corte. Como estes parâmetros interagem e em determinados momentos alguns se sobressaem mais que os outros, uma perfeita sintonia entre eles é primordial para que estrias, rugosidades e canaletas não apareçam nas chapas, imperfeições essas que podem dificultar a etapa de polimento.

Alencar e outros (1996) salientam que a pesquisa e a investigação destinadas ao maior conhecimento sobre o processo de corte possibilitaram algumas conclusões:

- O corte se dá pela ação abrasiva da granalha;
- a composição e a viscosidade da polpa abrasiva (lama) são variáveis de grande importância no processo, em geral, uma boa mistura abrasiva deve apresentar a seguinte composição: água 66,3 %, granalha ativa 3,1%, cal 1,2% e minerais 29,4%;
- a função das lâminas é conduzir o movimento de arraste e pressionar a polpa sobre o bloco; por isso, devem ser mantidas perfeitamente alinhadas e niveladas ao longo de todo o processo; e

- a regularidade da polpa abrasiva durante o corte permite apresentar superfícies de chapas cortadas com melhor uniformidade de acabamento e com baixa rugosidade.

Devido a grande quantidade de rochas utilizada para fins ornamentais, a alta variabilidade composicional e propriedades físico-mecânicas das mesmas, faz-se pertinente que tais fatores sejam considerados na definição a melhor situação operacional. Tal trabalho deve ser fruto de pesquisas e registro de desempenho e qualidade das serragens por parte de cada empresa, para cada material.

Os teares convencionais são dotados de sistemas automatizados e reguláveis, podendo reduzir o tempo integral de processamento. O sistema de mistura da lama abrasiva é processado através de poço dotado de bomba de polpa com motor de 40 CV e chuveiro tubular, acionados em conjunto. O sistema de alimentação da lama abrasiva demonstra ser de alta eficiência, considerando que a área de cobertura de cerca de 10 m² proporciona excelente espalhamento da mistura abrasiva na área operacional (superfície superior de corte do bloco).

A carga total do tear permite a colocação de um a quatro blocos dependendo da largura útil do tear (que hoje pode alcançar mais de 8,0 m) e da largura dos blocos a serem serrados. Em relação ao volume dos blocos os mesmos são divididos em dois grupos, a saber: G1 - possuem volumes que variam de 6,0 m³ a 9,0 m³; e G2 - volumes acima de 9 m³. A granalha é dosada pelo alimentador automático e homogeneizada através da bomba de polpa. Nos teares convencionais a carga útil colocada pode ter as dimensões máximas de 3,10 m de comprimento, por 2,80 m de largura e 2,0 m de altura. Nos teares chamados de Jumbo a carga útil colocada poderá ter as dimensões máximas de 3,50 m de comprimento, por 6,00 m de largura e 2,0 m de altura, propiciando assim o beneficiamento de blocos maiores e também de blocos menores. A figura 19 mostra um equipamento de corte modelo Jumbo multilâmina à granalha.



Figura 19 - Tear multilâmina à granalha (tipo jumbo). Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Após dosada a lama abrasiva para o corte, inicia-se a serragem dos blocos, que tem a velocidade de penetração diretamente proporcional à dureza da matéria prima, controle dos insumos da serrada e condições operacionais do equipamento.

Concluída a serragem, a carga é retirada do tear, sendo as chapas lavadas com água para retirar a granalha aderida a fim de evitar-se o surgimento de oxidação superficial nas chapas. A otimização da operação dos teares está diretamente relacionada ao correto dimensionamento da carga, por meio da utilização de blocos padronizados e com as laterais o mais retilíneas possível, que ocupem na integralidade o espaço das máquinas, o que permite obter-se melhor rendimento.

O consumo de energia elétrica é considerado satisfatório, utilizando-se um motor principal de acionamento do volante e do quadro porta-lâminas de 60 CV, enquanto o sistema de subida e descida é comandado por uma caixa de cala, acionada por um motor de 7,5 CV e um motovariador de 2,0 CV. Como referência, pode-se indicar que uma empresa dotada de dois teares do Jumbo poderá produzir em torno de 5.000 a 8.000 m²/mês de chapas serradas.

Desdobramento de blocos em teares com lâmina diamantada (mármore)

O tear diamantado efetua o corte de rochas carbonáticas (mármore *lato sensu*) através da ação abrasiva de segmentos ou pastilhas de diamantes incrustados no gume inferior das lâminas (Fig. 20), formando uma espécie de serra acionada em um movimento de vaivém e da descida do quadro porta-lâminas sobre o bloco (ou subida do carro porta-bloco nos teares mais modernos).

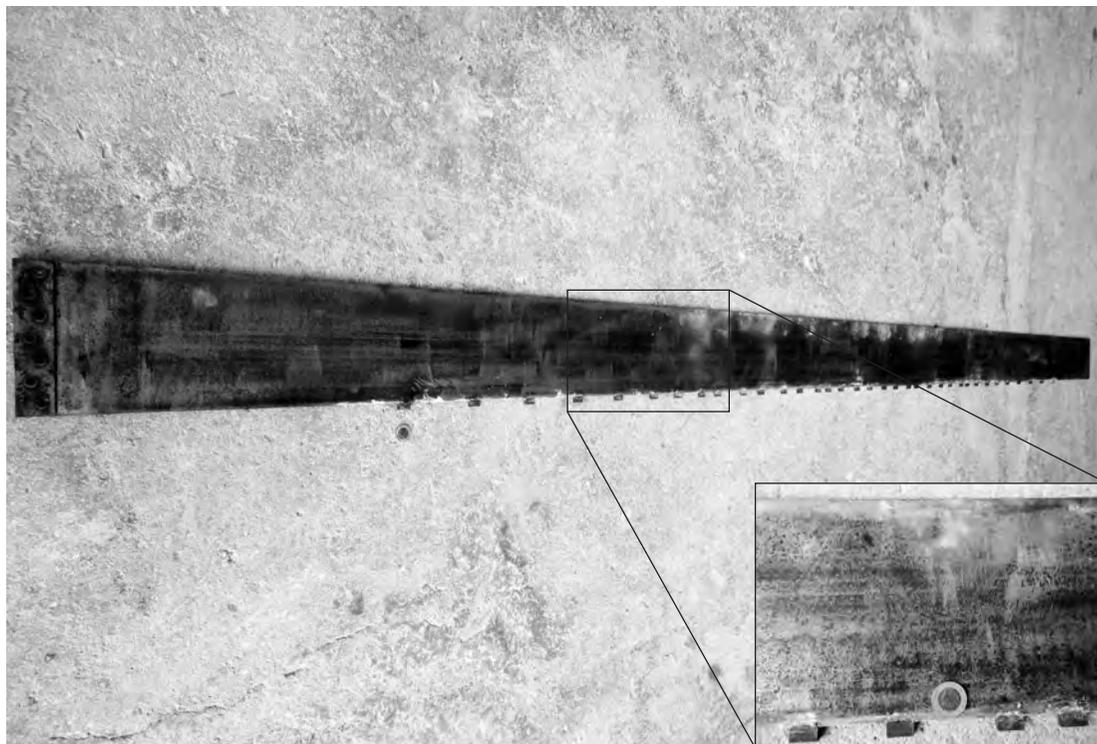


Figura 20 - Lâmina diamantada utilizada para cortar mármore. Notar o detalhe mostrando as pastilhas diamantadas. Fotos: CETEM/MCTI, 2012.

Durante o processo, o bloco e o conjunto de lâminas são constantemente banhados por água, que funciona como líquido de refrigeração e de limpeza e expurgo do material desagregado no corte. Os modelos disponíveis no mercado podem ser divididos em dois grupos: monolâmina e multilâmina. Os primeiros são indicados para a retificação das laterais de blocos e execução de peças especiais.

Os teares multilâmina diamantados, indicados para a produção de chapas brutas de espessura de 20 e 30 mm, na maioria dos casos são amplamente utilizados para o corte de rochas calcárias e similares, sobretudo pelo ganho em produtividade que proporciona e pela melhor qualidade das chapas produzidas. Esta máquina utiliza lâminas de aço especial sobre as quais são soldados segmentos diamantados. Na operação de corte é utilizada água industrial para resfriamento das lâminas e eliminação de materiais extraídos dos segmentos diamantados e fragmentos do material cortado. A velocidade de cala é elevada, por se tratar de material relativamente macio, situando-se ao redor de 15 a 25 cm/hora. As fases de operação são bastante semelhantes ao processamento de blocos em teares convencionais à granalha.

O carregamento do tear é realizado de modo análogo ao verificado nos teares convencionais à granalha, assim com o processo de laminação. Os teares diamantados em sua quase totalidade utilizam tensores hidráulicos para as lâminas, o que facilita o seu posicionamento e a manutenção da qualidade do corte durante o processamento dos blocos.

O controle de insumos e do processo de corte é simplificado em relação ao processo de corte convencional em teares multilâmina a granalha, pois não existe a lama abrasiva, cujas propriedades reológicas devem ser constantemente aferidas. Dessa forma, o controle de processo envolve basicamente o acompanhamento do nível de água no processo, velocidade de descida da cala, amperagem dos motores e encunhamento das chapas durante o corte.

Existem basicamente três tipos de teares diamantados, cujas diferenças residem na forma com que o corte das chapas é desenvolvido: tear com descida das lâminas, tear com subida do carrinho porta-blocos e tear com lâminas verticais.



Figura 21 - Bloco de mármore cortando em tear. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

O primeiro equipamento possui sistema de corte que se desenvolve com a descida do quadro porta lâminas, ficando o carro porta-blocos parado durante essa fase, obtendo-se um movimento de descida semirretilíneo das lâminas. A água, que atua como elemento de refrigeração das lâminas e como agente para transporte dos resíduos de rocha, é de fundamental importância para obtenção de resultados satisfatórios e uma boa qualidade nas faces serradas (Fig. 21). A figura 22 mostra um tear multilâmina diamantado com operação de corte a partir do processo de descida do quadro porta-lâminas.



Figura 22 - Tear multilâmina diamantado com descida do quadro porta-lâminas. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

O segundo equipamento possui sistema de corte que se desenvolve a partir da subida do carro porta-blocos utilizando-se um cilindro hidráulico, ficando o quadro porta-lâminas em movimento de vaivém retilíneo apoiado nas colunas do tear durante essa fase, obtendo-se um corte mais preciso e homogêneo das chapas.

O terceiro equipamento possui sistema de corte que caracteriza-se pela passagem horizontal do carro porta-blocos a partir de um quadro porta-lâminas montado na vertical, ficando o quadro porta-lâminas em movimento de vaivém retilíneo no plano vertical durante essa fase.

A água e o controle da velocidade de translação do bloco são elementos de fundamental importância para obtenção de resultados satisfatórios e uma boa qualidade nas faces serradas. Esse equipamento geralmente é utilizado para corte de blocos menores de material de baixa dureza.

Um outro tipo de tear multilâmina com o quadro porta-lâminas disposto na vertical foi desenvolvido totalmente com tecnologia nacional.

A empresa Ecoteares foi criada a partir da fusão da metalúrgica Fundisa e uma serraria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, que desenvolveram um novo conceito de equipamento para serrar os blocos de rocha ornamental. Este equipamento tem o nome de Ecotear e possui algumas inovações de significativa relevância em relação ao processo convencional de serragem dos blocos, a partir do fato, que este equipamento não necessita de água para realizar o corte.

Este equipamento, que também recebe o nome de Tear à Seco, tem como características principais a capacidade de desdobrar blocos de rocha ornamental em chapas com maior velocidade, melhor acabamento de superfície, menor consumo de energia.

No Ecotear a serragem é obtida através do atrito provocado pelo movimento tangencial das lâminas, em movimento semicircular contra os grãos de granalha, que por sua vez, caem em queda livre no interior do sulco de corte. Esses grãos são comprimidos, arrastados e rolados contra a face do bloco, promovendo uma erosão direcionada que levada até a face oposta, resulta na produção de chapas.

A figura 23 mostra o equipamento e o conceito de movimentação do bloco contra o quadro porta-lâminas, diferentemente do tear convencional. Quando tal equipamento estiver sendo comercializado em escala industrial marcará uma revolução na serragem de bloco de rochas ornamentais.

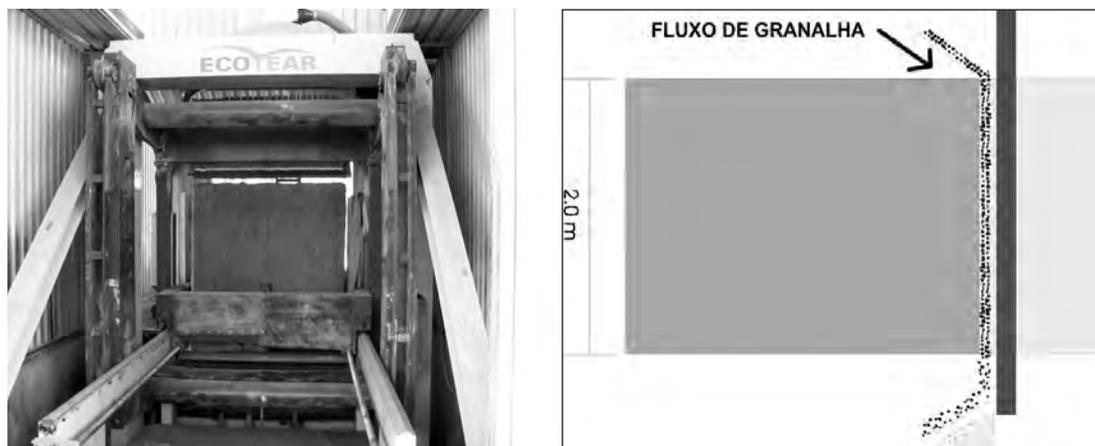


Figura 23 - Ecotear e ilustração da ação da granalha que cai em queda livre entre a lâmina e o bloco. Foto: CETEM/MCTI (2011) e Desenho: FUNDISA, 2005.

As tabelas 1 e 2 apresentam valores médios de consumo dos principais insumos utilizados na serragem de rochas ornamentais em teares multilâmina à granalha e de lâminas diamantadas, respectivamente.

Tabela 1 - Valores médios de consumo dos principais insumos utilizados na serragem de granitos comerciais em teares multilâmina.

Insumo	Consumo
Lâmina (kg/m ²)	0,30 – 2,50
Granalha (kg/m ²)	0,60 – 4,00
Cal (kg/m ²)	0,40 – 2,50
Bentonita (kg/ m ²)	0,14 -1,30
Energia (kWw/m ²)	2,16 – 18,60

Fonte: CETEM/MCTI (2013) e Souza, 2010.

Tabela 2 - Valores médios de consumo dos principais insumos utilizados na serragem de mármore comerciais em teares diamantados.

Insumo	Consumo
Lâmina (pastilha diamantada) (g/m ²)	0,50 – 0,70
Energia (kW/m ²)	5,00 – 10,00

Fontes: CETEM/MCTI, 2013.

Os valores apresentados nas tabelas 1 e 2 são os normalmente encontrados na indústria. No entanto, por se tratar de materiais naturais de composição mineralógica e texturas variadas e por ser um processo que depende de muitas variáveis operacionais, os consumos podem diferir dos apresentados. Por exemplo, cortes de materiais muito duros, como quartzitos, podem consumir de 8 até 14 kg/m² de granalha.

Desdobramento de rochas ornamentais em talha-blocos

Os talha-blocos de disco diamantado são equipamentos que possuem uma estrutura formada por colunas metálicas ou base em concreto, que sustentam uma trave ou ponte em que está disposto o mandril com o conjunto de acionamento dos discos. Os talha-blocos são basicamente de dois tipos:

- Talha-blocos monodisco com disco de grandes dimensões;
- talha-blocos multidisco; e
- talha-blocos multi-eixo-multidisco.

Estes equipamentos são de uso mais recente e menos difundido do que os teares, sendo adequados para fins mais específicos (produção de ladrilhos padronizados). Os talha-blocos podem produzir chapas de grandes dimensões, com espessuras normalmente maiores do que 60 mm, no caso dos talha-blocos monodisco; e tiras de rocha ornamental com larguras de 300 a 640 mm e espessura a partir de 10 mm, no caso de talha-blocos multidisco.

Os talha-blocos monodisco são máquinas de grande dimensão, construídas inicialmente para produção de chapas de maior espessura, superiores a 50 mm (espessores). O equipamento utiliza discos diamantados de grande diâmetro (acima de 350 cm), podendo chegar até a 500 cm. Estes equipamentos conseguem cortar até profundidade entre 120 e 160 cm e são bastante difundidos

para obtenção de espessores destinados à indústria de arte funerária em países como Estados Unidos, Alemanha, Bélgica, Índia e países nórdicos. Atualmente também são encontrados na produção de espessores destinados ao processamento em linhas de produção de ladrilhos padronizados em equipamentos tipo talha-blocos multidisco diamantados multieixo.

O disco corta a cada passagem do carro, sendo que o movimento de recuo e avanço do mandril ao longo da ponte e sua descida progressiva em cada passagem durante o processo de corte são completamente automáticos. Na figura 24 é mostrado um exemplo de equipamento tipo talha-bloco monodisco. O talha-bloco multidisco é empregado tanto para o corte de granitos como para o de mármore e destina-se à produção de tiras de larguras específicas, determinadas pela dimensão final que deve ter o produto e pelo diâmetro do disco.



Figura 24 - Talha-blocos monodisco para obtenção de espessores. Foto: CETEM/MCTI, 2007.

Existem dois tipos de talha-blocos multidisco mais difundidos no mercado: o talha-blocos de duas e o de quatro colunas, ambos possuindo o mesmo princípio de funcionamento, que consiste na ação de um conjunto mandril com diversos discos diamantados montados em um eixo sobre o bloco, que cortam combinando-se os movimentos de rotação dos discos e translação do conjunto mandril. Dessa forma, os discos executam cortes verticais e paralelos em várias passagens do mandril, cuja velocidade de corte depende da dureza do material. Após uma translação completa do conjunto mandril-discos a ponte é descida cerca de 0,3 a 1 cm para iniciar outro corte transversal do bloco. Esse processo se repete até chegar à profundidade máxima de corte do equipamento, que depende do diâmetro do disco diamantado utilizado. A profundidade máxima possível é de cerca de $1/3$ do diâmetro do disco.

O processo de corte das tiras é complementado por um corte horizontal que permite destacar a tira do bloco. O corte é feito com um disco diamantado de diâmetro variável, entre 400 e 725 mm, que opera no plano horizontal. O número de discos de corte verticais varia de pouco mais de 20 até acima de 80, sendo mais difundidos os talha-blocos com discos variando entre 50 e 80 unidades.

Os modernos talha-blocos possuem instrumentos, dispositivos de automação e controle das operações que permitem automatização quase completa do processo, com a mínima intervenção de mão de obra, proporcionando, além de maior segurança e uniformidade de produção, uma produtividade média em torno de 8 m²/hora para granitos de dureza média até 20 m²/hora ou mais para mármore. As figuras 25 e 26 ilustram um talha-blocos multidisco operando sobre duas e outro em quatro colunas, respectivamente.



Figura 25 - Talha-blocos multidisco diamantados de 2 colunas. Foto: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 26- Talha-blocos multidisco diamantados de quatro colunas. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Desdobramento de rochas ornamentais com fio diamantado

A tecnologia de serragem com uso de fio diamantado é a mais recente das disponíveis atualmente e encontra-se em um estágio com possibilidades de grandes avanços no seu desempenho.

O processo de corte com fio ocorre pela ação abrasiva dos anéis, ou pérolas, diamantadas, que são dispostos ao longo do fio. Este funciona como uma espécie de serra fita que gira a determinada velocidade e é tensionado sobre o bloco.

Os equipamentos para corte com utilização de fio diamantado possuem características construtivas mais simples que os teares e os talha-blocos. As máquinas de corte com fio diamantado, tanto monofio quanto multifio, constituem-se basicamente em um conjunto de polias acionadas por um motor, que imprimem determinada velocidade e tensionamento ao fio. Alguns fabricantes já tornaram disponíveis modelos que permitem o corte programado em curva, o que possibilita a execução de cortes em formas e desenhos antes inimagináveis com outros equipamentos.

Essa tecnologia de corte é empregada basicamente no esquadrejamento de blocos para retificação das laterais, no corte de espessores ou de peças para colunas, jardins, bancos etc. Também em equipamentos para o beneficiamento final de produtos compactos de diversas formas, tais como balaustres, estátuas e objetos decorativos em geral.

A figura 27 apresenta um equipamento mais simples e utilizado para retificação das laterais dos blocos brutos e também para a obtenção de peças especiais de rocha ornamental.



Figura 27 - Monofio diamantado para aparelhamento de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

A evolução dessa tecnologia fez surgir nos últimos anos modelos de máquinas multifio diamantado para desdobramento de blocos com a utilização de um sistema multipolias, podendo cortar diversas chapas de rocha ornamental ao mesmo tempo. Esse equipamento, ilustrado na figura 28, é empregado para o corte de rochas silicáticas (granitos *lato sensu*).



Figura 28 - Tear multifio diamantado para desdobramento de blocos. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

O sistema de corte por meio de teares multifio diamantado permite o corte de rochas ornamentais, predominantemente silicáticas obtendo-se elevada qualidade no acabamento superficial das chapas e boa produtividade em relação aos outros equipamentos de corte de blocos. A figura 29 mostra a característica do corte de blocos em um tear multifio diamantado.



Figura 29 - Detalhe dos fios diamantados cortando um bloco de granito. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Comparação entre teares multilâmina e multifio

Um estudo foi realizado por Souza *et al.* (2012) a fim de comparar o processo de beneficiamento primário envolvendo os teares multilâmina (convencionais) e os teares de fios diamantados (multifio). Os resultados mostram as vantagens e desvantagens de uma tecnologia em relação à outra. Em

relação ao consumo de energia elétrica, em quilowatts por metro quadrado de chapa serrada (kW/m^2), no tear multifio equivale a 68% do consumo do tear multilâmina. Considerando os insumos cal, granalha e lâmina para o tear multilâmina e o fio diamantado para o tear multifio, a comparação será em função dos seus respectivos custos ($\text{R}\$/\text{m}^2$). Desta forma, o custo dos insumos no tear multilâmina equivale a 50% em relação ao tear multifio. No procedimento de serrada dos dois teares necessita-se de mão de obra especializada e também de manutenção em função do desgaste das máquinas. Portanto, no que se refere a custos de mão de obra e manutenção ($\text{R}\$/\text{m}^2$), a serragem em tear multifio é 26% mais barata se comparado com o multilâmina. Observou-se também uma grande diferença de produtividade, ou seja, da produção (m^2 de chapas serradas) em função do tempo de serragem (h), parâmetro fundamental diretamente relacionado ao rendimento de cada tecnologia. A produtividade do tear multilâmina equivale a 16% da produtividade do tear multifio.

O resíduo gerado na serragem de blocos em tear multifio é uma lama composta basicamente por água, pó de rocha e micro cristais de diamante, desprendidos da pérola diamantada. No tear multilâmina, a lama contém pó de rocha, cal, água e fragmentos de aço oriundos da granalha e da lâmina. Em ambos os casos, mais de 95% da água utilizada é recirculada. A espessura do sulco gerado no processo de serragem em ambos equipamentos são de, aproximadamente, 6,8 mm no tear multifio e 7,6 mm no tear multilâmina. Em relação a produção de resíduo fino de rocha, decorrente do processo de serragem, pode-se dizer que os valores para as duas tecnologias são iguais, equivalendo, em média, a 26% do volume inicial do bloco. Porém, no tear multilâmina os insumos utilizados também se transformam em resíduo, o que indica que a quantidade final de resíduos é maior que no tear multifio. Segundo Souza e outros (2012) a relação entre quantidade de resíduo e a produção de chapas (kg/m^2) que é gerado no tear multifio equivale a 79% do verificado no tear multilâmina. A figura 30 mostra os resultados quantitativos deste estudo comparativo.

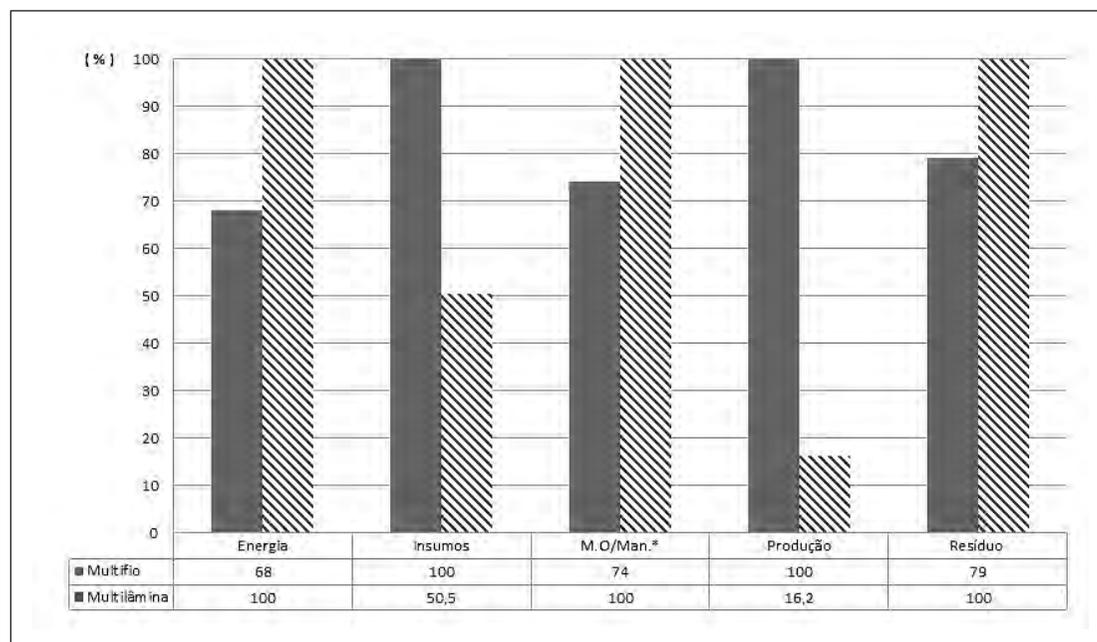


Figura 30 - Gráfico comparativo de custos operacionais entre as duas tecnologias. Extraído de Souza *et al.*, 2012. - Obs.: *Mão de obra e Manutenção.

Em relação a qualidade da superfície da chapa obtida da serrada com os teares multifio e multilâmina, a figura 31 representa o resultado obtido de uma amostra de chapa do granito comercial conhecido como Branco Ceará desdobrada no tear multilâmina e a figura 32 representa o resultado de uma amostra de chapa do mesmo granito desdobrada no tear multifio.

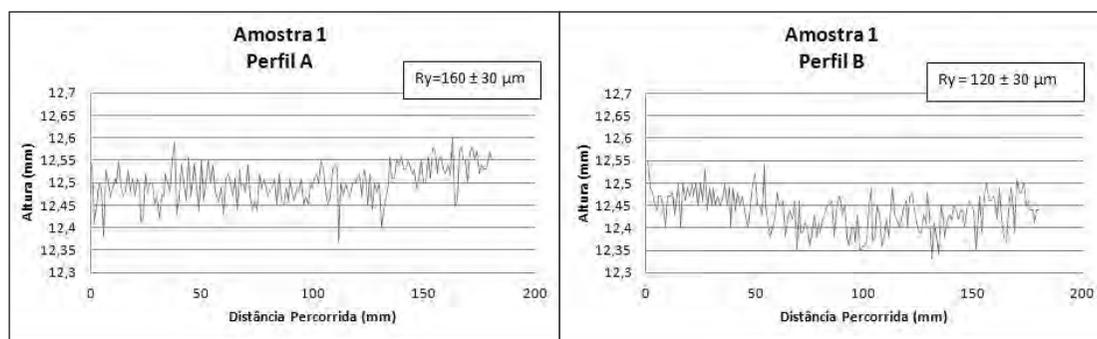


Figura 31 - Perfis de rugosidade do granito Branco Ceará serrado em tear multilâmina. Extraído de Souza et al., 2012.

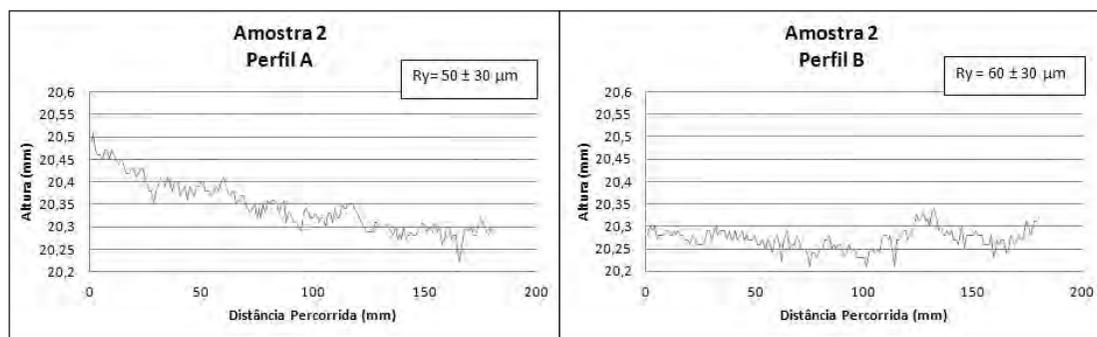


Figura 32 - Perfis de rugosidade do granito Branco Ceará serrado em tear multifio. Extraído de Souza et al., 2012.

As chapas obtidas do processo de serragem dos granitos comerciais, geralmente apresentam variações na espessura, que podem ser observadas na forma das curvas dos gráficos acima, mas não influenciando a análise de rugosidade máxima (Ry).

Observa-se que, os Ry da amostra 1, que representa o corte em tear multilâmina, tanto no perfil A ($160 \pm 30 \mu\text{m}$) quanto no perfil B ($120 \pm 30 \mu\text{m}$) são maiores que os da amostra 2, que representa o corte em tear multifio (perfil A: $50 \pm 30 \mu\text{m}$ e perfil B: $60 \pm 30 \mu\text{m}$). Este parâmetro (Ry) indica a rugosidade máxima da superfície. Assim, como a amostra 2 apresentou menores valores de rugosidade máxima, pode-se inferir que a superfície é mais regular quando comparada à superfície da amostra 1. As demais amostras analisadas nesse estudo que foram desdobradas em teares multilâmina também apresentaram maiores valores de rugosidade máxima quando comparadas a amostras da mesma rocha desdobrada em teares multifio. Esse parâmetro tem influência direta no beneficiamento secundário (beneficiamento final/polimento) das chapas, no qual o consumo do insumo (abrasivo) é influenciado de forma direta pela rugosidade superficial das chapas.

Os custos finais de produção para materiais macios são menores no tear multilâmina, enquanto para materiais duros são menores no tear multifio. Essa diferença se dá pelo fato do corte no tear multifio ser mais rápido (cala maior), o que leva a um menor consumo de energia por metro quadrado de chapa serrada. Quando desdobramos um bloco de um material duro, que necessita de muitas horas de funcionamento no tear multilâmina, é mais vantajoso desdobrar no tear multifio. Mesmo com um maior custo do insumo, o menor custo de energia elétrica (devido a um menor tempo de serrada) faz com que o custo final de produção seja menor no tear multifio. Porém, essa abordagem de custos finais, não considerou o custo de oportunidade (o que poderia ser produzido na diferença de tempo de serrada entre os dois tipos de tear) (SOUZA *et al.*, 2012).

O tear multifio representa um equipamento mais evoluído tecnologicamente, visto que, segundo a Tribologia, imprime um desgaste do tipo abrasivo a dois corpos, enquanto que nos teares multilâmina o tipo de desgaste é a três corpos. Porém, alguns fatores devem ser considerados quando se pretende adquirir um tear. Em certos casos, os teares multilâmina ainda são os mais indicados, principalmente para empresas de pequeno porte e cujo mercado interno é o principal cliente. No Brasil, atualmente, existem cerca de mil e quinhentos teares multilâmina e cem multifio, embora este deva aumentar sua participação no parque industrial brasileiro. A produção de rochas ornamentais oriunda de talha-blocos e de teares diamantados pode ser considerada desprezível, quando consideradas a produção total de chapas do setor.

4. Processos de beneficiamento secundário

O processo de polimento de rochas ornamentais configura-se como a etapa mais importante dentre os tipos de beneficiamento secundário. Outras formas de acabamento superficial, como a flamagem, apicoamento, escovação, entre outras, são também realizadas no material pétreo. Esta seção mostrará essas formas de trabalho em chapas de rochas ornamentais.

4.1. A qualidade do brilho de chapas de rocha polida

Dentre os tipos de desgaste, o que ocorre nos processos de polimento de uma placa de rocha ornamental é o de abrasão. O processo de polimento e lustro de rochas ornamentais caracteriza-se por ser uma série de operações que reduzem a rugosidade da superfície trabalhada com vistas a transformá-la em uma placa com brilho. A intensidade do brilho que determinada superfície apresenta é função das propriedades refletivas da rocha, sendo também inversamente proporcional à sua rugosidade. Logo, o brilho e o lustro de uma rocha ornamental são conseguidos pela eliminação dessas rugosidades herdadas na etapa de beneficiamento primário e pelo “fechamento dos poros” entre os diferentes minerais que formam a rocha. Isto ocorre pela ação de elementos abrasivos que, conduzidos em movimentos de atrito sobre o material, vão desbastando-o até atingir o grau de polimento desejado, com o uso de abrasivos com granulometria decrescente.

A qualidade final do polimento de uma placa de rocha ornamental é determinada apenas por métodos empíricos. Como regra geral, tal parâmetro é inferido pela granulometria dos abrasivos utilizados durante as etapas de levigamento e polimento. Porém, a escolha do tipo de abrasivo,

a carga e velocidade de rotação das cabeças de polimento e a velocidade de avanço da placa, no caso de politriz automática, também são variáveis que assumem uma grande importância no brilho final da rocha.

4.2. Fatores que influem no polimento de rochas ornamentais

Certas características inerentes à rocha e outras relativas aos processos de beneficiamento são de fundamental importância para a melhor compreensão da etapa de polimento em rocha. Os principais fatores são detalhados a seguir:

1. Acabamento da “Serrada”: A etapa de beneficiamento primário irá imprimir à superfície da placa uma determinada rugosidade. Esta rugosidade será função da qualidade da serragem que o bloco de rocha sofreu. Quanto melhor for a qualidade da serrada menos rugosa será a superfície da chapa, e por consequência menor também o gasto de abrasivos nas primeiras etapas de polimento. Para definir se a serrada foi de boa qualidade, o setor utiliza de métodos empíricos, tais como:
 - passar uma régua de alumínio grande por toda a extensão da chapa, nas direções vertical, horizontal e diagonal, para verificar se há empeno; e
 - observar a presença de canaletas e entradas de lâminas nas cabeceiras de chapas, causadas por mal tensionamento de lâminas ou quebra de bico de lâminas inadequada.
2. Dureza da Rocha: Antes de começar o polimento, deve-se estabelecer a sequência correta dos grãos abrasivos, em função do tipo de rocha que será polida, levando-se em conta a sua dureza e o grau de dificuldade de fechamento entre as fases minerais presentes. As rochas ornamentais são divididas em: duras, médias e macias. Os critérios para esta divisão são puramente empíricos. Faz-se seguindo características operacionais (tempo gasto na serrada, velocidade de polimento etc.), não se tendo um real entendimento de quais características das rochas podem influir neste processo (mineralogia, textura, estrutura, grau de alteração etc.).
3. “Fechamento” do Polimento: A Indústria da Pedra convencionou chamar de “fechamento” uma característica relacionada com espaços e depressões que algumas placas já polidas podem apresentar. Tal fator está relacionado principalmente com a mineralogia: rochas sem quartzo, granada e biotita, (sienitos, por exemplo) tendem a apresentar bom fechamento. Porém, não se deve esquecer da qualidade do processo a que a rocha foi submetida. Muitas vezes a pressão de carregamento nos satélites pode ter superado a resistência mecânica do mineral, levando-o assim ao quebraamento e a abertura de poros.

As variáveis que mais influem na capacidade de uma determinada superfície de rocha polida refletir a luz são:

- Irregularidades de superfície – tais feições podem refletir a luz incidente em diferentes ângulos gerando uma diminuição no brilho da superfície; e
- propriedades do material rochoso – mineralogia, massa específica e tamanho dos cristais, direção de corte em relação à orientação dos cristais e preenchimentos de macro e micro descontinuidades. O brilho de uma superfície de rocha polida também é função da diafanidade dos cristais, visto que os mesmos, muitas vezes, refratam a luz incidente diminuindo, assim, a quantidade de luz refletida.

Rochas constituídas essencialmente por apenas um mineral, por exemplo, mármore e calcários, mostram aumento nos valores de brilho com a diminuição da granulação, enquanto que rochas magmáticas com alto conteúdo em micas e com granulação grosseira têm uma diminuição nesta propriedade.

Uma das variáveis que mais influem na qualidade do brilho são os micro e macroporos. Uma certa quantidade da luz incidente na superfície da chapa é absorvida por micro e macro discontinuidades presentes na rocha. Limites entre os minerais juntamente com planos de clivagem e micro feições herdadas na gênese do material ou por decorrência de um processo industrial são as principais fontes de discontinuidades (Fig. 33).

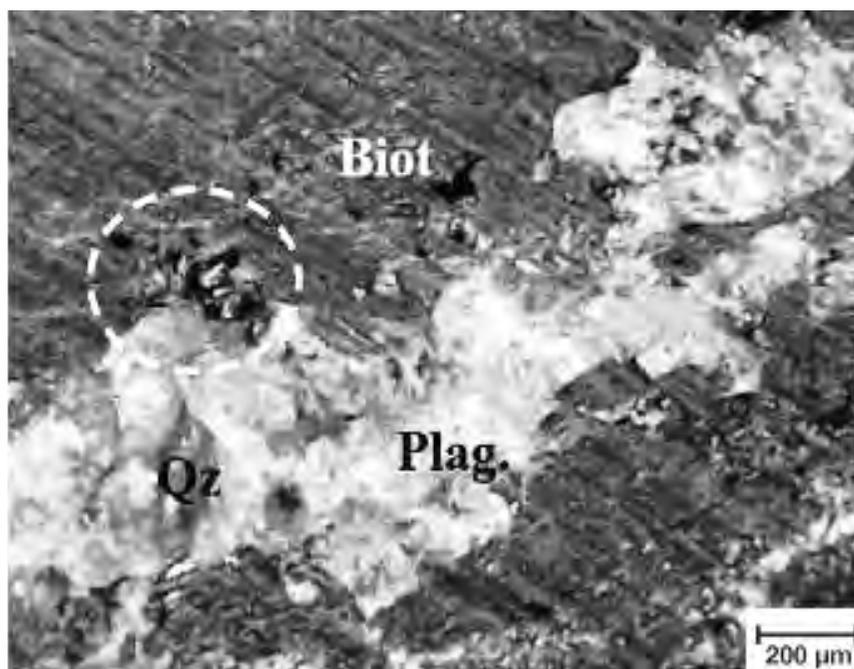


Figura 33 - Riscos originados pelos primeiros abrasivos passados pela rocha e porções de minerais retirados no processo (círculo tracejado). Extraído de Silveira, 2007.

Simmons e Richter (1976, *apud* Kranz, 1983) subdividem as microdescontinuidades, chamadas por eles de microfissuras, em:

- Fissuras de borda de grão – podem ser subdivididas em coincidentes ou não coincidentes ao limite atual do cristal. É normalmente difícil fazer a distinção entre estes dois tipos pelo fato de que a visualização do limite do grão muitas vezes não é óbvia. Em rochas que sofrem solicitação térmica ou mecânica, as fissuras de borda de grãos podem se propagar e se tornar contínuas ao longo de vários espaços intercristalinos (Fig. 34);
- fissuras intracristalinas – caracterizam-se por serem relativamente pequenas, geralmente muito menores do que a maior dimensão do grão mineral e cerca de 1mm ou menos em espessura. Tais fissuras, quando naturais, podem estar preenchidas por outro mineral (Fig. 35).

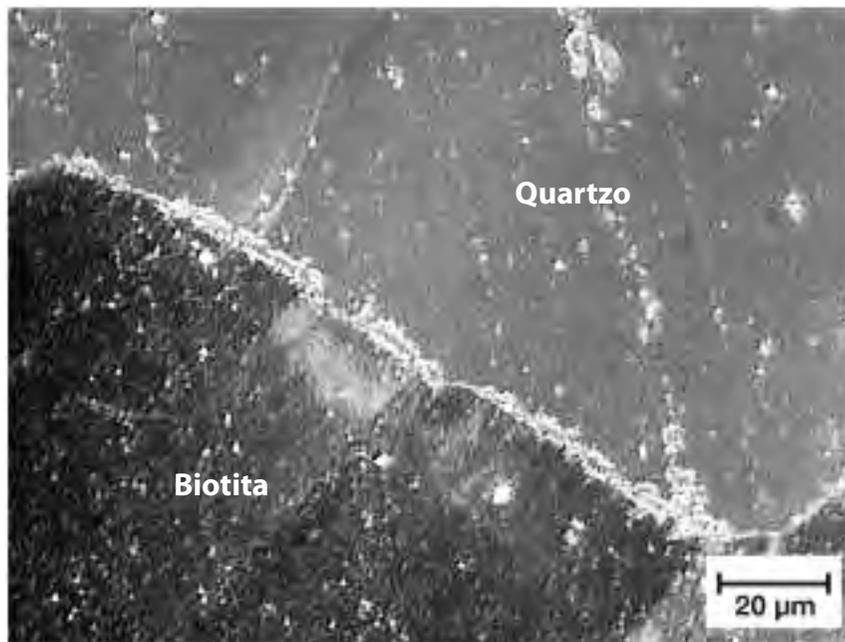


Figura 34 - Fissura desenvolvida no limite entre dois minerais Extraído de Silveira, 2007.

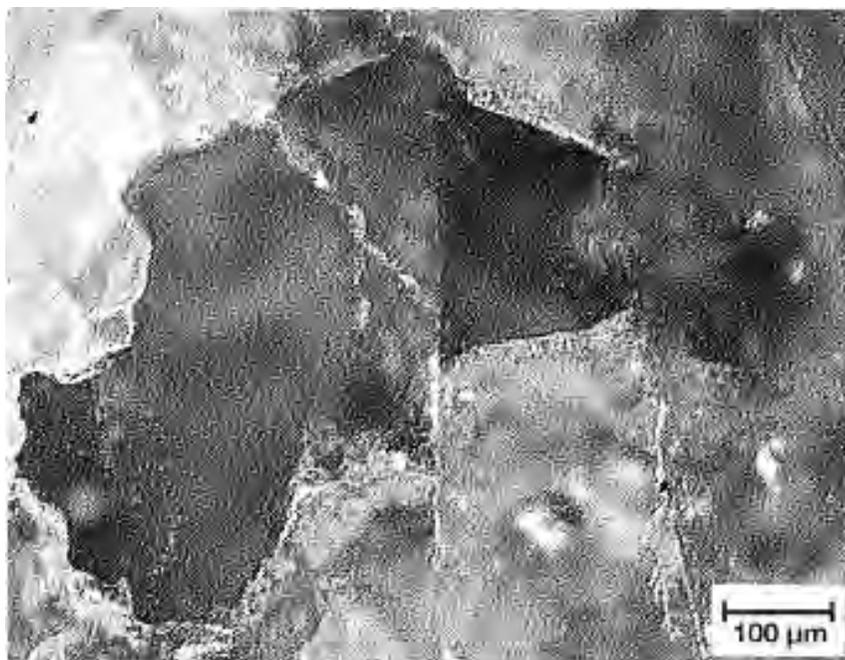


Figura 35 - Preenchimento de epidoto em fissura no interior de um cristal de quartzo. Extraído de Silveira, 2007.

- fissuras intracristalinas de margem – tais fissuras caracterizam-se por serem maiores do que as fissuras intracristalinas, mas são morfológicamente similares. Em sollicitação mecânica, as fissuras intercristalinas são normalmente orientadas ortogonalmente à direção de maior tensão (Fig. 36);

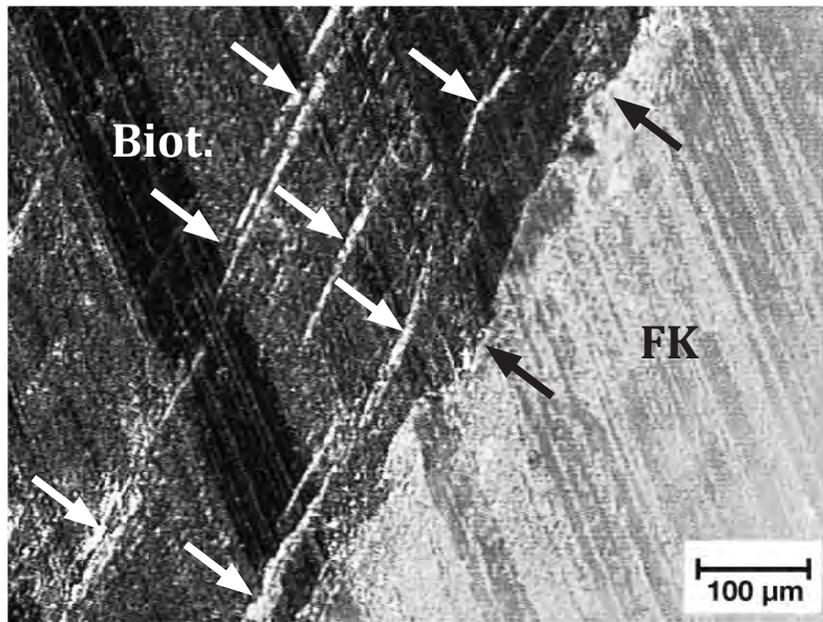


Figura 36 - Desenvolvimento de trincas no contato entre minerais (setas pretas) e trincas desenvolvidas pela tensão do rebolo abrasivo (setas brancas). Extraído de Silveira, 2007.

- fissuras de clivagem – são um importante subitem das fissuras do tipo intracristalina e merecem ser consideradas separadamente. Elas são separações ao longo dos planos de clivagem de um mineral e ocorrem frequentemente com vários comprimentos dentro de um determinado mineral. Vários planos de clivagem dentro do grão podem se fissurar. Em certas rochas, fissuras de clivagem podem estar preenchidas por materiais de alteração (Fig. 37).

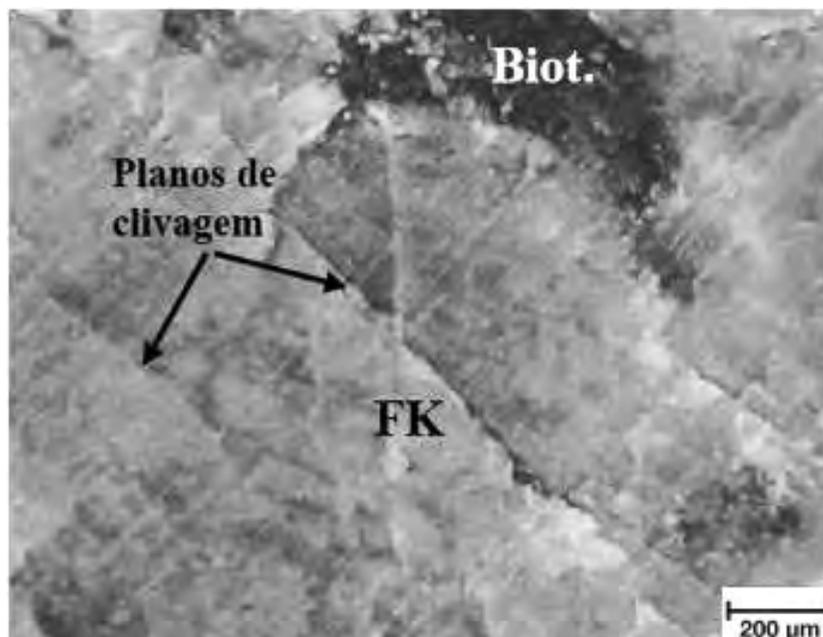


Figura 37 - Desenvolvimento de fissuras segundo planos de clivagem. Extraído de Silveira, 2007.

Um dos desafios no tocante ao polimento de rochas ornamentais é saber se o processo de polimento, por si só, ajuda a criar novas fissuras ou interfere nas preexistentes, abrindo ou fechando-as. Tal constatação poderá mudar a forma de ver o material pétreo como apenas um coadjuvante do processo de beneficiamento.

Todas as variáveis relacionadas à rocha, de certa forma, influem no seu comportamento quando submetidas ao polimento, mas não se sabe, exatamente, quais, nem o quanto.

A agressão que o material pétreo sofre, desde a lavra até o lustro é, na maioria dos casos, não levada em consideração. As características de resistência mecânica dos constituintes minerais (ou fases minerais) são diferentes entre si. Logo, a melhor situação de beneficiamento da rocha é aquela que contempla tais variáveis, sendo, dedutivamente, específica para cada tipo litológico.

Algumas rochas, por motivos estéticos e/ou tecnológicos, são submetidas aos processos de resinagem e telagem.

A resinagem visa aumentar a resistência da rocha a agressões por intempéries e melhorar o aspecto visual (Figs. 38, 39 e 40), enquanto que a telagem é aplicada em rochas muito fraturadas e com baixa resistência a esforços fletores.

Para se processar a resinagem, as rochas, já serradas, são submetidas aos processos de desgaste com o intuito de atingir a rugosidade ideal para a realização da resinagem.



Figura 38 - Linha de resinagem automática. Foto: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 39 - Detalhe do procedimento de resinagem de chapas de rochas ornamentais. CETEM/MCTI, 2011.



Figura 40 - Detalhe do forno catalisador de cura. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Após o aquecimento das chapas no forno, processa-se a resinagem propriamente dita. Com a chapa ainda quente é aplicada, em toda sua superfície, uma mistura de resina e endurente (catalisador), em proporções que variam de acordo à composição mineralógica da rocha e da quantidade de fissuras que a mesma apresenta (Fig. 41).



Figura 41 - Aplicação da resina numa chapa de granito. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Rochas com elevado grau de fraturamento e formadas por grandes cristais, geralmente de feldspatos, como os pegmatitos, por apresentar grande número de fissuras inter e intracristalinas, algumas abertas, necessitam de outro tratamento, conhecido como estucamento. Esse processo consiste no preenchimento das fissuras abertas presentes na chapa com resina e pó da própria rocha (Figs. 42 e 43).



Figura 42 - Estucamento numa chapa com fissuras abertas. Foto: CETEM/MCTI, 2009.



Figura 43 - Vista de chapa de granito resinada e estucada. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

Em alguns tipos rochosos faz-se necessário o preenchimento de vazios de grandes porções da rocha, como é possível verificar nas figuras 44 e 45. Exemplo de material no qual ocorrem tais feições é o jaspelito, comercialmente conhecido como Bronzite, que apresenta vazios de grande porte. Rochas carbonáticas podem necessitar também de tal tratamento.



Figura 44 - Chapa de um jaspelito contendo vazios. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

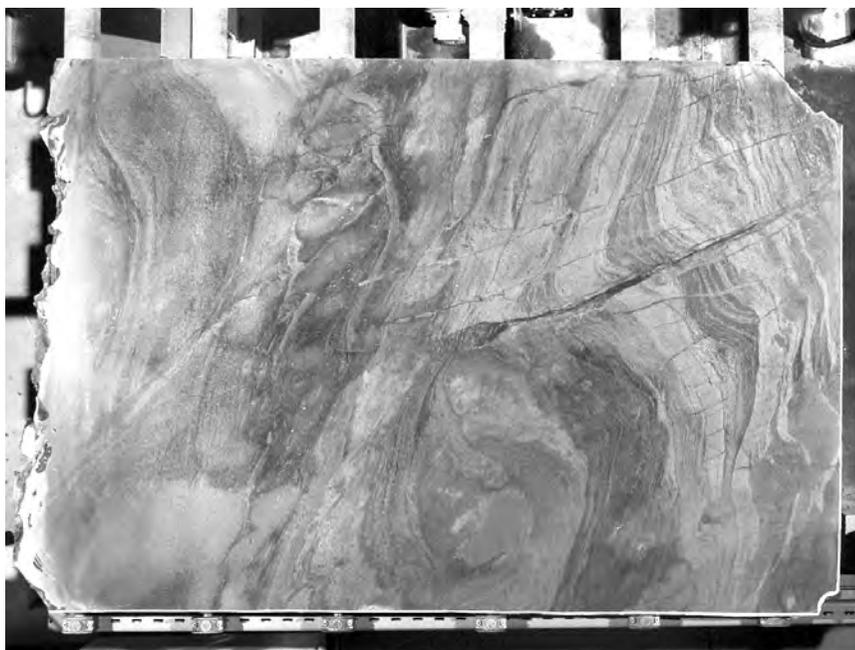


Figura 45 - Chapa do jaspelito após o processo de estucamento. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

Posteriormente à serragem da rocha ornamental, as chapas são submetidas ao processo de telagem. A tela é aplicada no tardóz (parte que não será polida) da maioria das chapas de rochas ornamentais serradas, para aumentar a resistência à flexão, de forma a evitar quebras ou trincas durante os processos subsequentes (levigamento, polimento) e durante o transporte. Nesta etapa, as chapas passam por um processo de desumidificação no forno (Fig. 46), após o qual é aplicada resina, geralmente epoxídica ou fenólica, como agente colante para fixação da tela.



Figura 46 - Forno de desumidificação para aplicação de resina no processo de telagem. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Em alguns casos, faz-se necessária, antes da telagem, a aplicação de resina na chapa e a fixação de um tecido que antecede a tela propriamente dita, com intuito de aumentar a resistência à flexão do material (figuras 47, 48, 49). Após a aplicação da tela e o período de cura da resina, de aproximadamente 24 horas, a chapa estará em condições de seguir para etapas seguintes: levigamento, resinagem e polimento.



Figura 47 -
Aplicação de resina
no processo de
telagem. Foto:
CETEM/MCTI, 2011.



Figura 48 -
Aplicação do tecido
na chapa. Foto:
CETEM/MCTI, 2009.



Figura 49 - Aplicação da tela. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

4.3. Tipos de rebolos abrasivos para polimento de rochas ornamentais

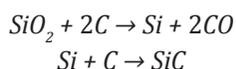
O termo abrasivo pode ser definido como uma partícula ou grão capaz de causar rápido ou eficiente desgaste em uma superfície sólida. A palavra abrasão provém do latim “*abradere*”, que significa arrancar partículas de um material por atrito com outro material, quase sempre mais duro.

A capacidade de determinado abrasivo em remover material submetido ao processo de desgaste é chamada de abrasividade. De acordo com o tipo de obtenção, os abrasivos podem ser classificados como:

1. Abrasivos naturais não silicosos:
 - diamante;
 - coríndon.
2. Abrasivos naturais silicosos:
 - quartzo;
 - granada;
 - pó vulcânico; e
 - diatomita.
3. Abrasivos naturais moles:
 - feldspato;
 - dolomita;
 - óxido de estanho (poteia); e
 - óxidos metálicos (Cr, Zn etc.).
4. Abrasivos artificiais:
 - diamante industrial;
 - nitreto cúbico de boro;
 - carbeto de boro;
 - carbeto de silício;
 - carbeto de tungstênio; e
 - óxido de alumínio (alumina).

No setor de rochas ornamentais os abrasivos para polimento são divididos em dois grupos, a saber:

- Abrasivos Magnesianos: usam como ligante uma massa, produto da reação do Óxido de Magnésio (MgO) com Cloreto de Magnésio (MgCl₂), denominado comercialmente de “cimento sorel”, e como elemento abrasivo o Carbeto de Silício (SiC), também conhecido como “*carborundum*”. O Carbeto de Silício apresenta ligação covalente e é caracterizado por ser muito duro (9,5 na escala de Mohs), infusível e quimicamente inerte. Este composto é produzido a partir do aquecimento de quartzo ou areia com excesso de coque, em um forno elétrico a 2.000 – 2.500 °C, de acordo com a seguinte reação:



O SiC é muito pouco reativo e não é atacado por ácidos (exceto H₃PO₄). Geralmente apresenta cor púrpura escura, preta ou verde escura, devido a pequenas quantidades de ferro e outras impurezas, mas amostras puras são amarelas pálidas ou incolores. Apresenta uma estrutura tridimensional de átomos de Si e C, sendo cada átomo rodeado tetraedricamente por quatro átomos do outro tipo. Há um grande número de formas cristalinas, baseadas nas estruturas do diamante ou da wurtzita.

Estes abrasivos são fabricados em todas as granulometrias (granás) necessárias ao beneficiamento de chapas, geralmente de 1.190 µm a 9 µm (16 a 1500 *mesh*, respectivamente, na nomenclatura do setor)(Fig. 50).



Figura 50 - Modelos de rebolos abrasivos magnesianos. Fotos: Cobral Abrasivos, 2013.

- Abrasivos Diamantados: fabricados em liga de ferro e cobalto (entre outros metais) ou em resina epoxídica, estes abrasivos são os que representam a maior evolução tecnológica dos últimos anos referente a polimento de rocha (Figs. 51 e 52). Utilizados há cerca de dez anos na Europa e há cerca de 5 anos no Brasil, estes abrasivos trazem numerosas vantagens na sua utilização em máquinas multicabeças. Os principais ganhos que este material pode dar são: aumento de produtividade e qualidade final, melhor qualidade da

água reciclada, diminuição no consumo de energia elétrica, menor pressão de trabalho, redução do tempo morto, entre outros. Este tipo de abrasivo é muito eficiente em remover marcas de chapas mal serradas.



Figura 51 - Modelos de rebolos abrasivos diamantados metálicos. Fotos: Cobral Abrasivos, 2013.

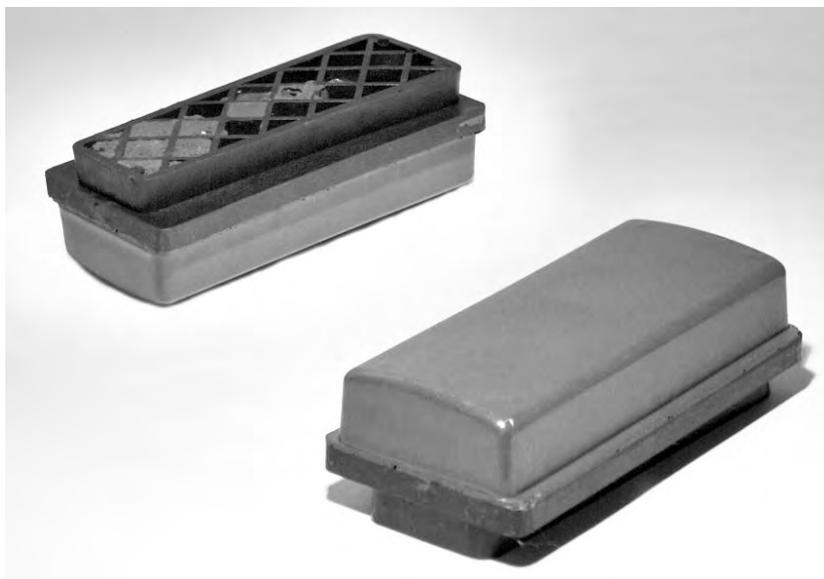


Figura 52 - Modelos de rebolos abrasivos diamantados resinoides. Fotos: Cobral Abrasivos, 2013.

Para rochas carbonáticas os rebolos abrasivos mais utilizados são os do tipo Frankfurt, caracterizado por uma superfície de contato plana e com um vão para o escoamento da água (Fig. 53). Tais abrasivos são utilizados em satélites específicos chamados de pratos, pois não apresentam movimento pendular do abrasivo, diferentemente do verificado no satélite de polimento de rochas silicáticas. Aspectos referentes aos tipos de satélite serão apresentados a seguir.



Figura 53 - Rebolo abrasivo do tipo Frankfurt para polimento de rochas carbonáticas. Fotos: Cobral Abrasivos, 2013.

5. Tecnologias de beneficiamento secundário

O termo beneficiamento secundário, ou final, pode ser entendido como todas as tecnologias aplicadas nos processos que conferem as características dimensionais, de conformação e especificação ao produto final. Assim, estão reunidos neste estágio os processos de acabamento superficial ou polimento (que ressaltam a coloração, a textura e a aparência do material), o corte (que lhes confere as dimensões, formas e desenhos), os acabamentos de bordas e outros especiais. O processo mecânico de polimento merece ser estudado com atenção, visto que são as interações entre rebolo abrasivo e máquinas de polir que imprimem à rocha suas propriedades de brilho e de fechamento. A identificação das variáveis operacionais que influem no processo de polimento é de suma importância para um entendimento completo desse tribossistema.

5.1. Histórico da evolução tecnológica das politrizes

Desde a década de 1930, quando se iniciou o processo de polimento de mármore e similares em escala industrial, no início com uso de areia e posteriormente de Carbetto de Silício, até o final dos anos 1960, a técnica de polimento e lustro de rochas ornamentais pouco evoluiu. As evoluções apresentadas ocorreram, basicamente, na forma de acionamento e na construção das politrizes manuais (Fig. 54), que funcionavam com um grande prato giratório, como responsável pelo movimento e contato do elemento abrasivo com o material polido. Este equipamento é constituído de uma coluna que sustenta um braço, o qual tem na sua extremidade o conjunto cabeçote onde são fixados os rebolos abrasivos. As chapas de rocha são colocadas deitadas sobre bancadas fixas de concreto, construídas ao lado da coluna de sustentação do braço da politriz.



Figura 54 - Modelo de politriz manual. Foto: CETEM/MCTI, 2006.

Apesar de serem as primeiras máquinas utilizadas para o polimento de placas de rocha, são ainda muito empregadas, sobretudo nas pequenas marmorarias, cujo volume de produção (1 a 2 m²/hora, dependendo do operador e da qualidade da superfície serrada) não justifica o investimento em equipamentos mais modernos.

Nas politrizes manuais, a pressão do cabeçote e a trajetória do seu movimento sobre a superfície a ser polida dependem exclusivamente da ação direta do operador. Por este fato, são frequentes as variações da qualidade do polimento ao longo de uma mesma chapa.

Devido às limitações em termos de qualidade do produto e produtividade, o uso destas politrizes é bastante restrito, não sendo recomendadas para empresas de beneficiamento que desejam trabalhar com produtos de alta qualidade e elevado nível de produção. Porém, mesmo em indústrias maiores e modernas, é comum a existência desses equipamentos, pois existe sempre um volume de chapas onde defeitos originados da serrada ou a presença de microtrincas, não se recomenda o polimento em politriz de esteira, pois o risco de quebra é muito elevado.

Em meados dos anos 1970 surgiram as politrizes de ponte móvel com bancada fixa, também conhecidas como semiautomáticas (Figuras 55, 56 e 57). São equipamentos constituídos de um conjunto motorreductor que aciona um cabeçote de polimento, suportado por uma ponte que se desloca sobre trilhos, obtendo-se assim uma variedade de movimentos simultâneos sobre a superfície a ser polida, semelhante ao aplicado pelo operador na politriz manual e ainda podendo-se imprimir uma pressão de trabalho uniforme, constante e mais elevada.



Figura 55 - Exemplo de politriz semiautomática de um cabeçote. Foto: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 56 - Exemplo de politriz semiautomática de dois cabeçotes. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Embora tenha sido inegável o avanço no processo de polimento de granitos com a politriz de ponte, a mesma possui algumas limitações em relação à produtividade, à qualidade e à uniformidade no acabamento. Dentre tais limitações podem ser citados a necessidade de troca constante dos abrasivos do(s) cabeçote(s), o grande tempo de parada entre as cargas e descargas das chapas na bancada, a dependência da sensibilidade do operador para saber o momento ideal para trocar um abrasivo mais grosso por um mais fino, e a grande possibilidade de um polimento não uniforme entre chapas de um mesmo material. A grande inovação referente ao polimento de placa de rocha se deu no final da década de 1970. Com a invenção das politrizes multicabeças automáticas, alcançou-se um aumento considerável na produção de placas polidas.



Figura 57 -
Exemplo de politriz
semiautomática de
três cabeçotes. Foto:
CETEM/MCTI, 2011.

Este equipamento é composto por um chassi de ferro fundido ou aço que assenta uma bancada ou mesa perfeitamente plana, sobre a qual corre uma esteira de borracha que transporta as chapas a serem polidas. Sobre esta esteira, disposta longitudinalmente a ela, é montada uma trave que sustenta os conjuntos motorreductor e cabeçote realizando um movimento transversal sobre a mesa. A conjugação do movimento da esteira que conduz as chapas, com o movimento de rotação dos cabeçotes e o movimento transversal da trave, proporciona todos os movimentos necessários à ação dos abrasivos no processo de polimento. Os abrasivos são colocados nos cabeçotes em sequência, do grão maior para o menor, no sentido de movimentação das placas, de modo que ao sair no final da esteira o material esteja polido. Os diversos modelos disponíveis no mercado oferecem configurações, geralmente, de 8 a 22 cabeçotes por equipamento. Quanto maior o número de cabeçotes, maior a produtividade para o determinado nível de qualidade do polimento (Fig. 58).



Figura 58 -
Modelo de politriz
automática
multicabeça. Foto:
CETEM/MCTI, 2011.

O nível de automação é muito elevado e oferece facilidades operacionais, como programação das velocidades de esteira e trave, alarme indicando o fim dos rebolos abrasivos em cada cabeçote, abastecimento e desabastecimento automático sem o manuseio do operador.

Na etapa final do polimento, pode ser aplicado, ainda, um intensificador de cor, com equipamento, objetivando ressaltar as feições da rocha. Tal procedimento é realizado por uma enceratriz, que geralmente é acoplada no final da linha de polimento (Fig. 59). Após esta fase, a chapa está pronta para ser comercializada.



Figura 59 - Aplicação de intensificador de brilho em chapa de granito. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

5.2. Dispositivos para colocação dos rebolos abrasivos

No setor de rochas ornamentais, os dois principais dispositivos para se processar o polimento das chapas de rochas são conhecidos como satélites e pratos. São nos satélites que os rebolos abrasivos são acoplados, podendo ter configurações desde quatro até oito locais para disposição dos rebolos abrasivos, sendo o de seis o mais comum (Fig. 60). Os satélites são providos de um braço em cada rebolo abrasivo que realiza um movimento pendular do conjunto e que, devido a forma do rebolo ser convexa, permite que o mesmo fique com uma linha em contato com a superfície da rocha a ser polida, diminuindo assim, a tensão de carregamento que seria necessária para realizar o mesmo trabalho se o rebolo tivesse a superfície planar.

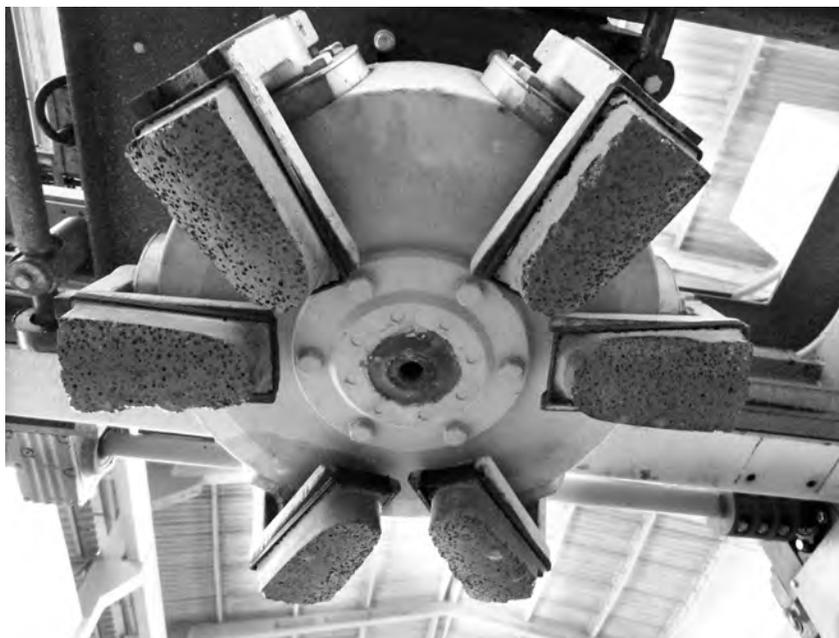


Figura 60 - Modelo de satélite utilizado no polimento de rochas ornamentais silicáticas. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Devido a menor dureza e maior homogeneidade mineralógica das rochas carbonáticas, o satélite utilizado para rochas silicáticas não é o melhor equipamento para se processar o polimento dessas rochas. O dispositivo que melhor desempenha o beneficiamento secundário para rochas carbonáticas é chamado de prato e difere do satélite principalmente pela ausência do movimento tangencial dos rebolos abrasivos e utilização dos rebolos do tipo Frankfurt, com geometria e composição específica para essa finalidade (Fig. 61).



Figura 61 - Modelo de prato utilizado no polimento de rochas ornamentais carbonáticas. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

5.3. Outros processos de acabamento superficial

O polimento é o processo mais usual no que tange o beneficiamento secundário. Porém, a rocha pode ser submetida a outros tipos de acabamentos superficiais, sendo os principais citados a seguir:

Flameamento

O flameamento é resultado do processo de acabamento da superfície da chapa bruta, utilizando água e maçarico de chama com alta pressão e temperatura da ordem de 1.500°C sobre a superfície, obtida com a mistura de oxigênio e acetileno. Devido a diferença nos coeficientes de dilatação térmica entre os minerais constituintes das rochas silicáticas (granitos *lato sensu*), o choque térmico causado pela passagem do maçarico sucedido pela água, provoca o desprendimento dos grãos de quartzo, resultando em uma superfície áspera com aspecto rústico (Fig. 62).



Figura 62 - Procedimento de flameamento de uma chapa de granito. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Apicoamento

Esse tipo de beneficiamento secundário processa-se com o auxílio de um martelo pneumático, com um bit específico para essa finalidade que, dependendo do seu desenho, confere um acabamento específico na superfície da chapa (Figs. 63 e 64). O impacto deste equipamento no material trabalhado causa uma fragmentação dos minerais, obtendo-se assim um acabamento áspero e opaco. As chapas de rochas tratadas com esse tipo de acabamento são utilizadas geralmente para pavimentação externa, revestimentos de fachada, degraus e peças especiais.



Figura 63 - Chapa de granito submetido ao processo de apicoamento. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 64 - Detalhe do martelo pneumático e a ponta utilizada no processo de apicoamento. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Jateamento

É realizado na chapa serrada uma limpeza, com auxílio de uma bomba de pressão, por meio de uma solução formada pela combinação de ácidos inorgânicos, corante e água na proporção 5 de água para 1 de produto químico, cujo resultado é uma superfície lisa, porém ainda rústica e sem brilho. É muito usado em pisos como antiderrapantes e bordas de piscina (Fig. 65).



Figura 65 - Processo de jateamento de uma chapa de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Escovação

Este processo é geralmente realizado com o auxílio de um prato para polimento de rochas carbonáticas, porém trocando os rebolos abrasivos do tipo Frankfurt por escovas diamantadas. A aparência final da rocha é rústica, mas é possível verificar um leve brilho (Figuras 66 e 67). É geralmente aplicado em pisos externos e peças de marmoraria, podendo, entretanto, serem utilizadas em satélites de politrizes automáticas e semiautomáticas (Figura 68).



Figura 66 - Processo de escovação de rochas ornamentais. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 67 - Detalhe de um prato com escovas abrasivas utilizadas para escovação de rochas ornamentais. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

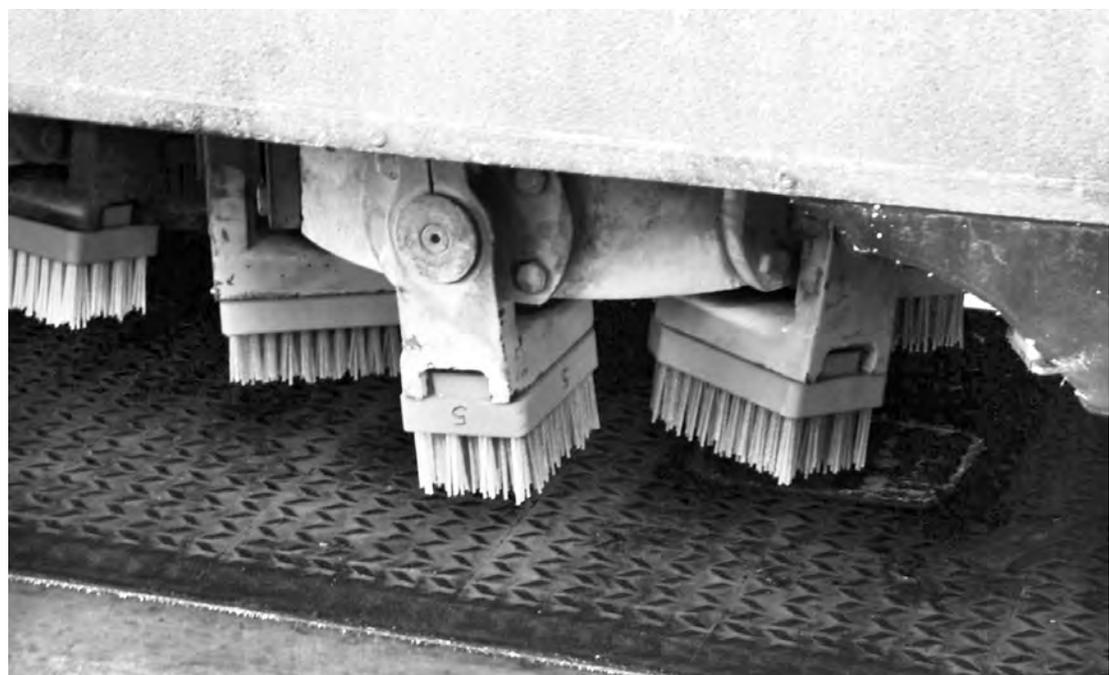


Figura 68 - Detalhe de um satélite com escovas abrasivas. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Além desses processos, existem outras máquinas que trabalham a superfície das rochas de distintas maneiras. Tais acabamentos representam pequena parcela do todo que é realizado no mundo. Isto se deve ao fato de que tais tecnologias ainda estão distantes do uso cotidiano, principalmente no tocante ao valor do equipamento e da demanda por estes tipos de acabamentos específicos. Entre eles podem ser citados:

- Tornos para rocha;
- equipamentos para corte de chapas curvas (*shine*);
- corte com jato d'água; e
- equipamento automatizado para corte de chapas com sistema *Cad/Cam*.

Depois da chapa de rocha ornamental passar por um dos tipos de beneficiamento secundário, ela pode seguir três caminhos:

- Venda da chapa acabada;
- corte da chapa em ladrilhos; e
- utilização em serviços de marmoraria.

Quando a empresa vende chapas de rochas ornamentais, após o processo de colocação das chapas no pátio de estocagem (Fig. 69) ocorre o carregamento das chapas diretamente em um caminhão, também conhecido como ovação em containers (Fig. 70).

As chapas são transportadas de duas maneiras: em posição vertical, com auxílio de cavaletes, ou horizontalmente. Em ambos os casos, as chapas são devidamente presas ao veículo transportador.



Figura 69 - Pátio de estocagem de chapas. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 70 - Processo de carregamento de chapas em caminhão. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

5.4. Corte da chapa em ladrilhos

O processo inicia-se quando a chapa levigada entra na cortadeira multidisco e é submetida ao recorte em forma de fitas utilizando-se discos diamantados de 350 mm acoplados aos cabeçotes (Fig. 71). A largura das fitas que serão transformadas em ladrilhos varia de acordo com a demanda, sendo que os tamanhos mínimo e máximo alcançados pelo equipamento em função do distanciamento dos cabeçotes são 30 x 30 cm e 60 x 60 cm, respectivamente (Fig. 72).



Figura 71 - Chapa a ser subdividida em fitas em cortadeira multidisco. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 72 - Chapa subdividida em fitas em cortadeira multidisco. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

As fitas, já subdivididas, são levadas para uma calibradora, como a da figura 73, mediante uma mesa de transferência. Nesse equipamento as fitas recebem uma calibragem especial com rolos diamantados, de acordo com a solicitação do cliente. Caso não haja necessidade desse processo, apenas a esteira da calibradora permanece ativa a fim de transportar as fitas até a próxima etapa.



Figura 73 - Máquina calibradora de ladrilhos. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Em seguida, as fitas são conduzidas até uma mesa giratória a qual inverte a posição das mesmas para que o lado oposto ao calibrado receba o polimento correspondente à etapa posterior (Fig. 74). Todas as fitas são submetidas a este processo, inclusive as não calibradas.



Figura 74 - Mesa giratória de fitas de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

As fitas de rocha entram então na politriz, como a da figura 74, para receber o lustro final. A sequência de rebolos empregada varia em função da rocha, sendo geralmente uma combinação de abrasivos diamantados, magnesianos e resinoides.



Figura 75 - Politriz automática para fitas de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

Após receber o polimento as fitas são submetidas ao recorte final na encabeçadeira automática, na qual são transformadas em ladrilhos (Fig. 76). O corte é efetuado com um disco diamantado de 250 mm que atende todos os tipos de rocha.



Figura 76 - Encabeçadeira automática monodisco.
Foto: CETEM/MCTI, 2010.

Na etapa seguinte, os ladrilhos passam por fresas diamantadas para retificar possíveis erros de dimensões. Em seguida, os ladrilhos são submetidos ao processo de acabamento no bisote (Figura 77). Abrasivos magnesianos desgastam duas das arestas dos ladrilhos a fim de retirar o poder de corte das mesmas evitando que se quebrem. No percurso seguinte, uma mesa giratória troca o lado dos ladrilhos submetendo as outras duas arestas ainda brutas ao mesmo processo.



Figura 77 - Bisotes e fresa utilizados no acabamento dos ladrilhos. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

Após estas etapas se processa a retirada total da umidade da superfície dos ladrilhos com o auxílio de um secador (Fig. 78), sendo depois acondicionados em caixas de madeira ou papelão, com proteção nas suas extremidades e devidamente fitados (Figs. 79 e 80).



Figura 78 -
Processo de
secagem dos
ladrilhos. Foto:
CETEM/MCTI, 2012.



Figura 79 -
Procedimento
para o
acondicionamento
de ladrilhos. Foto:
CETEM/MCTI, 2010.



Figura 80 - Ladrilhos prontos para comercialização.. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

6. Marmoraria

Essa etapa do setor, apesar de apresentar um relativo grau de diversificação em sua linha produtiva, tende a se especializar no atendimento a demanda por rocha ornamental em produtos específicos, para unidades residenciais individuais ou trabalhos que requeiram acabamentos mais elaborados. No Brasil existem cerca de 6000 mil marmorarias, com a maior parte de sua produção voltada para o mercado interno, produzindo, em geral, peças sob medida, como:

- Ladrilhos para revestimento, pavimentação e escadas;
- tiras (peitoril, soleira, rodapé, rodameio, filetes, contramarco etc.);
- bancadas (tampos de pia e mesa, balcões); e
- outros: lápides, divisórias, móveis etc.

Atualmente, a realidade do setor de marmoraria é bastante distinta, já que o processo produtivo (beneficiamento final) está restrito a serviços de pequena monta, normalmente para obras de pequeno e médio porte, nas quais os serviços ainda são de menor complexidade e volume. Porém os serviços de marmoraria são os que possuem os maiores valores agregados.

A Figura 81 apresenta um fluxograma esquemático dos processos operacionais na marmoraria. Ressalva-se que nem sempre se reproduz nas empresas que realizam o beneficiamento final exatamente este modelo apresentado. Podem ocorrer variações em função da disponibilidade de recursos tecnológicos que permitam a supressão de etapas ou fusão de outras, sobretudo nas fases de corte e acabamentos de superfície e borda nos ladrilhos. Na produção de padronizados (ladrilhos e revestimento interno e externo), o processo pode apresentar algumas diferenças em relação ao modelo citado.

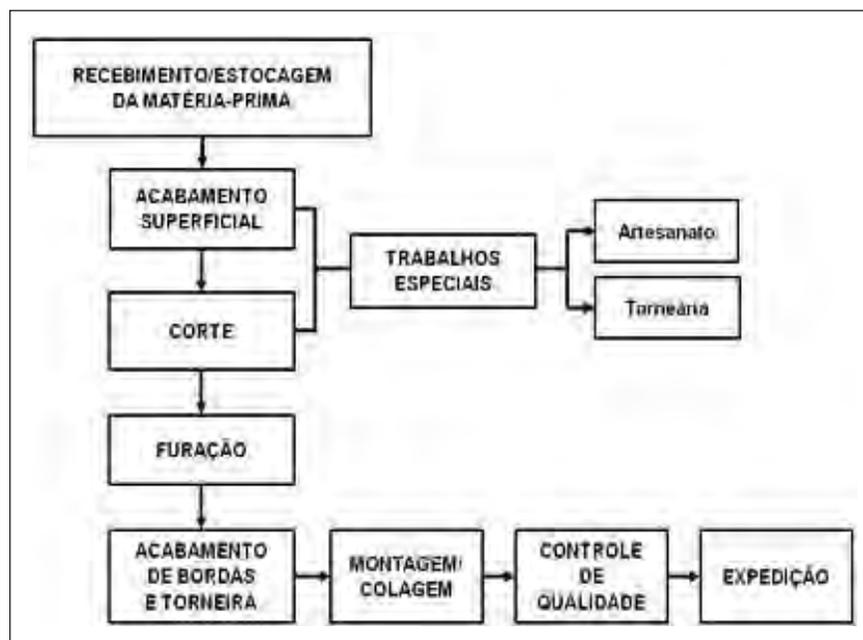


Figura 81 - Fluxograma esquemático dos processos operacionais na marmoraria. Elaboração dos autores.

A seguir serão mostrados os principais equipamentos e procedimentos existentes em uma marmoraria.

A máquina contornadora, a da figura 82, é utilizada para furacão e corte do molde de bojo de pias (Fig. 83). O primeiro furo, central, é feito com uma ponta gráfica diamantada (Fig. 84). Em seguida, um segundo modelo de ponta gráfica executa o corte propriamente dito e um terceiro modelo dá o acabamento.



Figura 82 - Contornadora de chapas. Foto: CETEM/MCTI, 2010.



Figura 83 - Pias para comercialização.
Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 84 - Ponta gráfica diamantada para execução de furos em peças de marmoraria. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

A serra ponte (Fig. 85) é utilizada principalmente para a fabricação de ladrilhos, tiras, espessores e painéis com chanfro. Já a cortadeira (Fig. 86) é utilizada principalmente para fazer cortes e acabamentos tipo meia esquadria (Fig. 87).



Figura 85 - Serra ponte de cabeçote móvel. Foto: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 86 - Cortadeira monodisco semiautomática. Foto: CETEM/MCTI, 2010.



Figura 87 - Acabamento de borda tipo meia esquadria. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

Os acabamentos de borda das peças de marmoraria são realizados em maquinário específico e/ou de maneira artesanal com o auxílio de uma lixadeira manual. Uma das máquinas que podem desempenhar esse serviço é a acabadora de bordas, também denominada de *Lucidacoste*, que realiza acabamento de bordas de vários tipos; desde o reto, mais simples, até os mais elaborados como o boleado, meio boleado, chanfro, entre outros, mudando-se apenas as formas dos rebolos abrasivos (Fig. 88).



Figura 88 - Acabadora de bordas. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

Os procedimentos manuais de acabamento de borda podem ser utilizados desde a quina viva da peça a ser trabalhada ou como retoque em acabamentos já realizados. A ferramenta mais utilizada para esta finalidade é a lixadeira manual (Figs. 89 e 90). As lixas abrasivas são flexíveis para permitir maior contato com a superfície a ser desgastada (Fig. 91).



Figura 89 - Início de acabamento de borda com lixadeira manual. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 90 - Retoque no acabamento de borda com lixadeira manual. Foto: CETEM/MCTI, 2010.

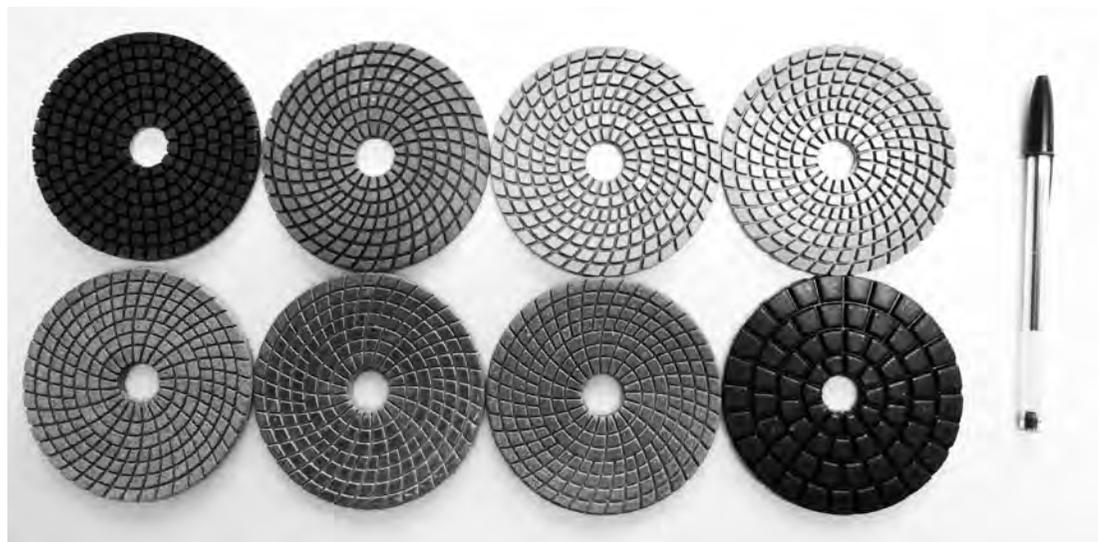


Figura 91 - Exemplos de discos abrasivos utilizadas no acabamento de borda com lixadeira manual. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

7. Agradecimentos

Os autores deste capítulo gostariam de agradecer à empresa Cobral Abrasivos Ltda. pela cessão de imagens de rebolos abrasivos, à empresa Flamart Ltda., pelo auxílio na coleta de informação sobre tipos de acabamento superficial, à colega Nuria Castro por algumas imagens, à tecnóloga em rochas ornamentais Abiliane de Andrade Pazeto pelo auxílio na redação do texto referente à marmoraria, aos técnicos de CETEM-ES Jefferson Luiz Camargo e Millena Basílio da Silva pelas sugestões ao texto, ao aluno de Engenharia de Minas do IFES-ES Davi Vargas de Souza pelas contribuições na redação da parte referente aos teares e ao jornalista e professor Carlos Alexandre Gruber de Castro pelas sugestões dadas ao texto.

8. Bibliografia e referências

AGUS, M.; BORTOLUSSI, A.; CICCUCO, R. Abrasive performance in rock cutting with AWJ and ASJ. In: Labus T J (ed) 1995 Proc. 8th Amer. Water Jet Conf., Water Jet Techn.Ass., St. Louis. 1995. p. 31-48.

ALENCAR, C.R.A; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Instituto Euvaldo Lodi, V.3. Estudo econômico sobre rochas ornamentais, Fortaleza-CE. 1996. 225p.

AMERICAN SOCIETY OF METALS – ASM. Surface engineering for corrosion and wear resistance. Davis & Associates. USA. 2001. 229p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM E 18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell superficial of Metallic Materials. 2008. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM E 384 Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness of Materials. 2011. 3p.

- BLASI, P.; COMAZZI, G.; FRISA MORANDINI A.; MARINI, P. Prenormative research concerning the measurement of polish of stone elements. In: 1st International Congress of Natural Stones, Lisboa – Portugal. 1995. p. 19-22.
- CENTRO TECNOLÓGICO DO MÁRMORE E GRANITO – CETEMAG. Curso de polidor. Apostila. 2003. 21p.
- COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC. http://www.copper.org/resources/properties/microstructure/cu_titanium.html, acessado em 04/12/2013. 2013.
- CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Ed. John Wiley & Sons. 2000. 589p.
- CAYLESS, M. A. & MARSEDEN, A. M. Lamps and lighting. Edward Arnold, London. 1991. 351p.
- DE CAMILLES, E. Insumo indispensável. Pedras do Brasil, n° 30. 2004. p. 65-66.
- ERDOGAN, M. Measurements of polished rock surface brightness by image analysis method. In: Engineering Geology 57. 2000. p. 65-72.
- GONG, J. & GUAN, Z. Load dependence of low-load hardness in ceramics: a modified PSR model. In: Materials letters, 47. 2001. p. 140-144.
- HAWORTH, R. D. The abrasion resistance of metals. Transactions of the A. S. M., v.41. 1949. p. 818-855.
- KASCHNER, D. Tecnologias para beneficiamento. In: II Encontro do Centro-Oeste Sobre Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais, Goiânia-GO. 1996. 36p.
- KRANZ, R. L. Micro cracks in rocks: A Review. In: Tectonophysics, 100. 1983. p. 449-480.
- LEE, J. D. Química inorgânica não tão concisa. Editora Edgar Blucher. 1996. 527p.
- MACHADO, MARLON ANTONIO; Processos de Beneficiamento – Parte 1 – Apostila do Curso de Especialização em Valorização das Rochas Ornamentais. UFRJ/CETEM/CPRM, 2003.
- MOMBER, A. W. & KOVACEVIC, R. Principles of Abrasive Water Jet Machining. ed. Springer. 1998. 394p.
- MORAIS, T. L. M. & SUSTER, M. Uso de materiais abrasivos na indústria cerâmica. In: 450 Congresso Brasileiro de Cerâmica. 2001. 12p.
- NOBLE, D. N. Abrasive wear resistance of hardfacing weld deposits. In: Metal Construction, v.17, n°9. 1985. p. 605-611.
- RABINOWICZ, E. Friction and Wear of materials. Cambridge, Massachusetts, John Wiley. 1966. 243p.
- SCOGNAMIGLIO, F. R. Abrasivos mais duros são realmente mais econômicos? In.: Revista Rochas de Qualidade, edição 120, Jan/Fev. 1995. 113p.
- SILVEIRA, L. L. L. Polimento de rochas ornamentais: um enfoque tribológico ao processo. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Depto de Geotecnia. São Carlos, SP. 2007. 217p.
- SOUSA, A. A. P. ; RODRIGUES, R. Consumo dos principais insumos do desdobramento de granitos do Nordeste, de diferentes grau de dureza. In: III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002, Recife/PE. III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002.
- SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W.; CASTRO, N. F. Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais. In: Jornada Iniciação Científica, Cetem. Rio de Janeiro - RJ, 2012. 5p.

STACHOWIAK, G.W. & BATCHELOR, A. W. "Engineering tribology". Amsterdam, Elsevier. 1993. 314p.

STELLIN JR, A. Serragens de granitos para fins ornamentais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Depto de Engenharia de Minas, São Paulo, 1998. 1998. 40p.

TOMITA, Y. & EDA, H. A study of the ultra precision grinding process on a magnetic disk substrate – development of new bonding materials for fixed abrasives of grinding stone. In: Wear 195. 1996. p. 74-80.

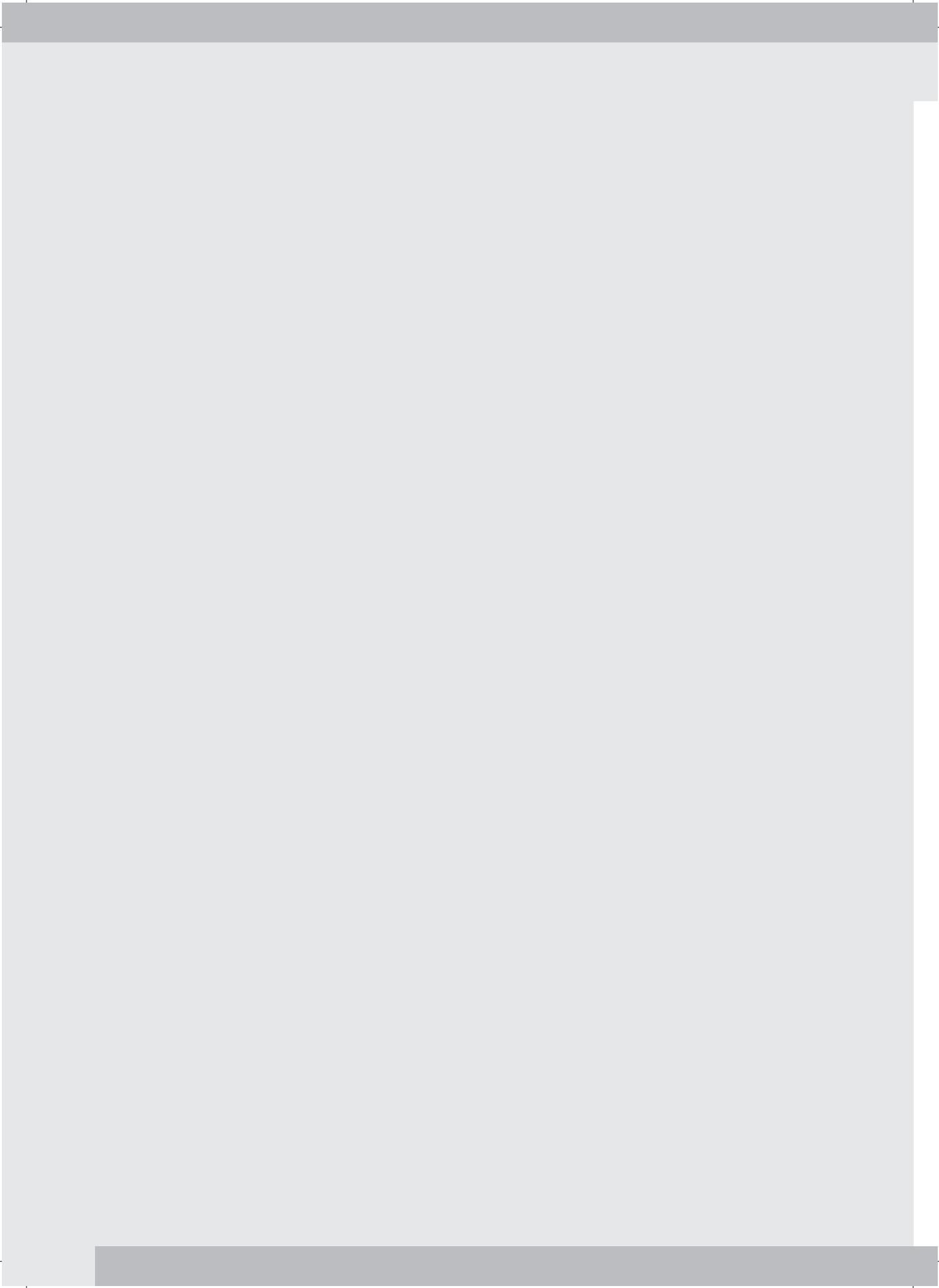
TYLCZAK, J. H. Abrasive wear. In: ASM Handbook Friction, lubrication and wear technology. V.18. 1992. p. 184-190.

ZUM-GAHR, K. H. Microstructure and wear of materials. Institute of Materials Technology. University of Siegen, Siegen, Federal Republic of Germany, v.10. 1987.

Capítulo 8

Saúde e segurança no trabalho

*Leonardo Cattabriga, Eng. de Petróleo e Gás. Eng. de Segurança no Trabalho. CETEM/MCTI
Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc. CETEM/MCTI*



1. Introdução

De acordo com a Organização Internacional do Trabalho – OIT (ILO, 2013), no mundo, a cada 15 segundos morre um trabalhador por razões de doença ou acidente de trabalho e 151 trabalhadores sofrem algum tipo de acidente relacionado ao trabalho. A OIT aponta ainda 5.500 mortes por dia, ou seja, mais de dois milhões de mortes por ano, causadas por acidentes ou doenças do trabalho. Mesmo que as condições de saúde e segurança no trabalho sejam diferentes entre os países, o que se sabe é que em todo o mundo os mais pobres e os menos desprotegidos (mulheres, crianças e os migrantes) são os mais afetados.

No Brasil os números também são preocupantes. Entre os anos de 2010 e 2011 houve um aumento de 4,7% no número de registros de acidentes fatais relacionados ao ambiente de trabalho. O país ocupa a quarta colocação em maior número de acidentes de trabalho do mundo, atrás de Rússia, Estados Unidos e China. Os últimos dados, de 2011, contabilizaram 2.884 óbitos no país, enquanto que em 2010 foram registradas 2.753 mortes no trabalho. Dentre os setores da economia (Indústria, Agropecuária e Serviços) o setor onde ocorreram mais acidentes foi o setor de serviços com 331.895 notificações, seguido pelo setor da indústria com 307.620 ocorrências (ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO, 2012).

De todos os setores industriais, a mineração é um dos mais perigosos. Apesar de o setor ter conseguido reduzir o número de acidentes de 6.396 em 2008 para 6.016 em 2010, a indústria extrativa mineral é ainda responsável pelas maiores taxas de mortalidade dentre toda a indústria brasileira, na ordem de 30% seguida pelo setor da construção civil 17% (PELLEGRINELLI, 2013).

Dentro da mineração, o setor de rochas ornamentais, responsável por cerca de 120 mil empregos diretos e 360 mil empregos indiretos (ABIROCHAS, 2011), apresenta altos índices de acidentes de trabalho, e os acidentes mais graves, quase sempre fatais, ocorrem durante a movimentação de cargas, quando, por imprudência, principalmente, chapas de granito esmagam operadores. Por esse motivo foi criada pelo Ministério do Trabalho e Emprego uma regulamentação específica para a movimentação de chapas de mármore, granitos e outras rochas, como um anexo da NR 11 (BRASIL, 2011).

Outro tipo de acidente muito frequente ocorre envolvendo caminhões de blocos nas estradas. O motivo principal é o excesso de velocidade com perda de controle na direção e tombamento do caminhão, quando os blocos estão devidamente amarrados ou, a queda dos blocos na pista quando eles não estão amarrados de acordo à regulamentação vigente. Devido à gravidade dos acidentes nas estradas, provocados pelo tombamento dos caminhões carregados com blocos de mármore e granito, foi aplicada a Resolução Contran n.º 354 que regulamenta tanto as dimensões máximas dos blocos quanto os equipamentos e formas de amarração para seu transporte (CASTRO, *et al*, 2011). No Espírito Santo, principal polo produtor e exportador de rochas ornamentais do país, 10 pessoas perderam a vida em acidentes considerados de trabalho em 2012, sendo quatro mortes em pedreiras, três no trajeto, dois no beneficiamento e uma durante o transporte do material em que o motorista foi a vítima. Infelizmente, de janeiro a junho de 2013 já foi alcançado esse mesmo número de 2012, de 10 acidentes fatais no setor de rochas ornamentais, com cinco mortes no Estado do Espírito Santo, duas no Estado do Amazonas e uma no Estado de Pernambuco (SINDI-MARMORE, 2013).

De acordo com as informações do Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho de 2011 do Ministério da Previdência Social foram registrados no Brasil 711.164 acidentes do trabalho, sendo

13.660 no estado do Espírito Santo. Esses acidentes são decorrentes das atividades típicas da função dos trabalhadores ou sofridos no trajeto ao trabalho (ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO, 2011).

Provavelmente esses números são maiores já que em muitas empresas a ocorrência de acidentes de trabalho é omitida ou diminuída, às vezes pelos próprios trabalhadores com medo de serem responsabilizados. No entanto, por menor que possa ser o grau do acidente ocorrido e por mais que o trabalhador tente esconder sua ocorrência, a empresa é obrigada por lei a zelar pela saúde e segurança de seus trabalhadores, assim como a fiscalizar as condições do ambiente de trabalho para reduzir o risco dos acidentes acontecerem ou diminuir suas consequências quando acontecem. Ainda deve se destacar que as estatísticas de acidentes não incluem os trabalhadores autônomos (contribuintes individuais). Isto é importante no caso do setor de rochas ornamentais, que é constituído, em sua maioria, por pequenas e micro empresas e que conta com grande quantidade de trabalhadores autônomos (consultores, fornecedores de insumos e serviços, clientes) que circulam habitualmente pelas pedreiras e unidades de beneficiamento.

Muitos acidentes são considerados fúteis pelos trabalhadores. Pequenos arranhões, torções, cortes, quedas etc., portanto, não são contabilizados. Isto ocorre por falta de informação por parte do empregador e, principalmente, do empregado que, por medo de perder o emprego ou alguma gratificação, acaba não informando sobre o acidente ocorrido, além de muitos autônomos não denunciarem a si próprios.

Os riscos de acidentes de trabalho e doenças mais frequentes na cadeia produtiva das rochas ornamentais, assim como as medidas para sua prevenção, são tratados neste capítulo.

2. Conceitos de acidentes de trabalho

2.1. O que é um acidente de trabalho?

É todo dano sofrido por alguém, devido ao trabalho, que tenha requerido tratamento médico ou resulte em perda de consciência ou morte. Pode causar lesões corporais ou perturbações funcionais, pode resultar em morte, perda e redução, permanente ou temporária, das capacidades físicas ou mentais do trabalhador etc. Além dos acidentes que acontecem nos locais do trabalho também são tratados como tais:

- Doenças provocadas pelo trabalho. Ex: problemas de audição, visão etc.
- Acidentes que ocorrem fora do local de trabalho, mas durante o trabalho.
- Doenças causadas pelas condições de trabalho. Ex.: inalação de poeira.
- Acidentes que ocorrem no trajeto do trabalho para casa.
- Acidentes que ocorrem em viagens a serviço da empresa.

2.2. Causas dos acidentes

Um acidente é algo que acontece quando convergem diversas condições fora do comum em um determinado ambiente. Raramente um acidente terá uma única causa, sendo o mais frequente que se deva à combinação de diversos fatores. Por esse motivo e, com a finalidade de evitá-los em situações futuras, os acidentes devem ser cuidadosamente investigados, determinando-se as condições presentes no cenário quando ocorreram.

Os fatores que podem contribuir com a ocorrência de acidentes podem estar relacionados com as pessoas (empregadores, empregados, terceirizados, visitantes) ou com o ambiente de trabalho. Alguns exemplos dos primeiros são ações, voluntárias ou não, como por exemplo:

- O excesso de confiança dos que têm muita prática profissional e se julgam imunes aos acidentes;
- a imperícia, isto é, a falta de habilidade para o desempenho da atividade (pode decorrer de falta de aprendizado ou treinamento insuficiente);
- negligência por ideias preconcebidas como, por exemplo, a ideia de que o acidente acontecerá por fatalidade, não sendo necessário cuidar de sua prevenção;
- o exibicionismo;
- falhas de comunicação sobre situações ou ambientes de risco; e
- negligência por vontade de revelar-se corajoso ou indiferente ao perigo só para impressionar os outros.

No setor de rochas ornamentais, como mostra a figura 1, é comum encontrar situações de risco devidas a:

- A falta de uso de proteções individuais;
- a danificação de equipamentos de segurança;
- o emprego incorreto de ferramentas ou o uso de ferramentas com defeito;
- o ajuste, a lubrificação e a limpeza de máquinas em movimento;
- a permanência debaixo de cargas suspensas; e
- as correrias em escadarias e em outros locais perigosos.



Figura 1 - Exemplo de fatores de risco: não uso de EPIs, ferramentas inadequadas e, provavelmente, excesso de confiança e falta de treinamento. Foto: CETEM/MCTI, 2001.

E ainda há fatores que afetam a todos os indivíduos, que podemos chamar de “problemas pessoais” que podem contribuir com a ocorrência de acidentes:

- Problemas de saúde não tratados;
- conflitos familiares;
- falta de interesse pela atividade que desempenha;
- alcoolismo ou uso de substâncias tóxicas; e
- problemas diversos de ordem social ou psicológica.

Em relação ao ambiente de trabalho, situações típicas no setor e que podem vir a causar acidentes, como ilustra a figura 2, são:

- Falta de limpeza, resíduos jogados em qualquer lugar;
- frentes de lavra instáveis, com pedaços de rocha que podem cair;
- excesso de trabalho sob o sol, sem proteção e sem paradas para descanso;
- ventilação deficiente ou excessiva;
- instalações sanitárias impróprias e insuficientes;
- excesso de ruído e trepidações; e
- instalações elétricas impróprias ou com defeito.



Figura 2 - Riscos pelos taludes instáveis e resíduos mal dispostos. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

3. Histórico de segurança e saúde no trabalho

O homem utiliza o trabalho em busca do seu próprio equilíbrio e como forma de dar satisfação à sociedade na qual vive, mas as condições do trabalho impactam a saúde do trabalhador por fatores físicos, químicos e biológicos como poeira, ruídos, temperatura e vibrações, dentre outros (COHN; MARSIGLIA,1994).

Segundo Baptistini (2009) a chegada da tecnologia no mundo (Revolução Industrial, iniciada no século XVIII) acabou impulsionando a substituição da força física humana ou animal pela força mecânica das máquinas, surgindo novos padrões de desgaste do trabalhador. Neste período o trabalho passou a ser executado nas indústrias, cujo objetivo principal era o acúmulo de capital a partir da exploração da força de trabalho em ritmo intenso, com alguns problemas sérios para os trabalhadores, como:

- Cargas horárias desumanas;
- inexistência de pausas;
- precárias condições de higiene no ambiente de trabalho;
- alta incidência de doenças;
- acidentes; e
- mortes.

A principal consequência das más condições de trabalho, nesse final do século XVIII e início do XIX, era uma apreciável quantidade de trabalhadores com aptidões físicas diminuídas que ficavam desempregados por serem considerados não aptos pelas próprias empresas onde tinham perdido sua saúde. De igual forma, quando ocorriam fatalidades, as famílias dos trabalhadores não recebiam nenhum tipo de indenização. Por último, crianças e mulheres também estavam submetidas a precárias e até penosas (no caso das minas) condições de trabalho, o que levou à sociedade a criar regras visando à proteção de mulheres e crianças, como, por exemplo, a proibição de trabalharem em minas e indústrias pesadas em vários países. Essas e outras medidas de proteção, se por um lado derivaram em um retrocesso no caminho da igualdade de direitos entre homens e mulheres, colocando as mulheres no trabalho doméstico, por outro lado, atingiram positivamente todos os trabalhadores. A primeira delas, no Brasil, foi em 1919, por meio do Decreto Legislativo nº 3.724, de 15 de janeiro, que regulamentou as obrigações das empresas em caso de acidente, com a fiscalização das condições de trabalho nas fábricas. De lá para cá, muitas ações foram implementadas envolvendo a qualidade de vida no trabalho, buscando intervir diretamente nas causas e não apenas nos efeitos dos riscos a que estão expostos os trabalhadores.

Em 1948, com a criação da Organização Mundial da Saúde – OMS estabeleceu-se o conceito de que a saúde é o completo bem-estar físico, mental e social, e não somente a ausência de afecções ou enfermidades. Ainda em 1948, a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a Declaração Universal dos Direitos Humanos, assegurando ao trabalhador o direito ao trabalho, à livre escolha de emprego, as condições justas e favoráveis de trabalho e à proteção contra ao desemprego; o direito ao repouso e ao lazer, limitação de horas de trabalho, férias periódicas remuneradas, além de padrão de vida capaz de assegurar a si e à sua família saúde e bem-estar (AZEVEDO, 2009).

Na década de 1970, o Brasil era o detentor do título de campeão mundial de acidentes de trabalho. Com o objetivo de melhorar essa situação, em 1978, o Ministério do Trabalho e Emprego criou vinte e oito Normas Regulamentadoras – NRs, visando proteger a saúde dos trabalhadores. No entanto, apesar do progresso normativo, doenças e acidentes continuavam acontecendo e os trabalhadores

começaram a reivindicar ambientes de trabalho mais seguros. A ratificação, pelo Brasil, da Convenção da OIT n.º 155, também chamada de “Convênio sobre segurança e saúde dos trabalhadores”, em 1981, acabou impulsionando uma nova mentalidade entre os trabalhadores e até o surgimento de um movimento denominado “Saúde do Trabalhador”. Finalmente, com a Constituição da República de 1988 nasceu o marco principal da proteção à saúde do trabalhador no ordenamento jurídico brasileiro. Nela, a saúde é considerada como direito social e garante-se a redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio das normas de saúde, higiene e segurança (36 NRs atualmente).

Avanços e conquistas sociais, políticas e legislativas no campo da Saúde do Trabalhador foram decisivos para uma mudança de panorama. A partir de 1988 a Saúde do Trabalhador foi incorporada ao Sistema Único de Saúde - SUS, e atualmente estas questões são tratadas pela Política Nacional de Saúde e Segurança no Trabalho - PNSST - e pela Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador - Renast - que cria Centros de Referência em Saúde do Trabalhador - Cerest - em todo o território nacional (BAPTISTINI, 2009).

Na cidade de Cachoeiro de Itapemirim, onde se concentra a maior parte das empresas beneficiadoras de rochas, foi criado, em 2006, um Cerest que atualmente é denominado de Gerência do Centro de Referência em Saúde do Trabalhador de Cachoeiro de Itapemirim. A criação dessa gerência foi um importante motivo de reivindicação em muitas lutas dos trabalhadores e do Sindicato dos Trabalhadores do Mármore e Granito do Espírito Santo - Sindimármore a favor de uma melhor assistência à Saúde do Trabalhador (PROTEÇÃO, 2013).

Nos dias de hoje, com o avanço da tecnologia, a participação da força de trabalho nos processos produtivos é bem diferente aos dois séculos anteriores, pois as tarefas antes realizadas manualmente são agora executadas por máquinas com alta tecnologia, restringindo a participação braçal dos trabalhadores. Se no período da Revolução Industrial os problemas relacionados à saúde e à segurança do trabalhador eram mutilações e doenças, hoje, com o avanço da tecnologia, surge um novo perfil de problemas, como os mentais e articulares, causados pelo estresse psicológico e repetições no ambiente de trabalho, respectivamente (COHN; MARSIGLIA, 1994).

Como consequência, a Medicina do Trabalho deu lugar a uma nova forma de suporte aos trabalhadores, a Saúde Ocupacional. A Saúde Ocupacional tem como foco principal a intervenção no ambiente em que o trabalhador efetua suas tarefas diárias, buscando proporcionar bem-estar, garantindo a segurança física e demonstrando a valorização da participação dos trabalhadores no processo produtivo. Esse empoderamento do trabalhador dá-lhe condições de agir e modificar seu ambiente de trabalho, para que este seja mais saudável, do ponto de vista físico e psicológico.

4. Mineração e saúde e segurança do trabalhador

O trabalho na mineração é hoje um dos mais perigosos, de acordo com altos índices de acidentes do setor, muitas vezes fatais. Segundo Pellegrinelli (2013), em 2010, 29% dos acidentes do setor mineral foram fatais, superando até o setor da construção, com 17% de fatalidade. Esses números e as notícias de acidentes mortais, principalmente em minas de carvão, parecem mostrar que a mineração é uma indústria na qual se desenvolvem tarefas totalmente manuais em condições penosas e os trabalhadores estão totalmente desprotegidos. Isto pode ser verdade na mineração informal e até nos garimpos, mas a realidade das empresas de mineração é bem diferente. Essas empresas trabalham com altíssima tecnologia e oferecem a máxima proteção possível para a saúde de seus trabalhadores, mas é exatamente essa alta tecnologia que tem permitido o acesso e a exploração de jazidas

cada vez mais profundas, com menores teores de minério (que implica em grandes movimentações de terra), colocando os trabalhadores em ambientes mais insalubres e perigosos.

O Brasil conta, desde 1999, com a NR-22, norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE, específica das condições de saúde e segurança na mineração, que segue a Convenção 176 da OIT. A norma (BRASIL, 2011) engloba os trabalhos de mineração a céu aberto e subterrâneo, incluindo os garimpos, o beneficiamento de minérios e a pesquisa mineral. Os riscos existentes nessas atividades dependem de algumas condições, entre as quais podemos destacar:

- Tipo de mineral ou lavrado: Ferro, ouro, bauxita, manganês, mármore, granito, asbestos, talco etc.
- Formação geológica do mineral e da rocha encaixante (hospedeira). Tal conhecimento é importante, pois, dependendo da formação geológica, o mineral lavrado poderá conter outros minerais “contaminantes”, como, por exemplo, a conhecida possibilidade de contaminação do talco com amianto.
- Porcentagem de sílica livre no minério lavrado. Também guarda relação com o tipo de mineral lavrado e com a rocha encaixante. Existem minérios e rochas encaixantes que têm uma maior ou menor porcentagem de sílica livre que varia de região para região. Por exemplo, o mármore possui menor quantidade de sílica livre do que o granito.
- Presença de gases. A ocorrência de gases, principalmente metano, é mais comum em rochas sedimentares do tipo carvão mineral e potássio, sendo importante atentar para sua presença especialmente em minas subterrâneas. É importante destacar também que gases podem se acumular em áreas abandonadas de minas subterrâneas, que apresentam riscos quando da sua retomada.
- Presença de água. Importante em minas subterrâneas, mas também em minas a céu aberto pelo risco de inundações.
- Métodos de lavra. Implicam em diversos riscos, pois alteram o maciço rochoso, possibilitando o desabamento, se não forem executados adequadamente.

A NR 22 estabelece também a série seguinte de responsabilidades:

- Estabelecer, em contrato, nome do responsável pelo cumprimento da Norma;
- interromper todo e qualquer tipo de atividade que exponha os trabalhadores a condições de risco grave e iminente para sua saúde e segurança;
- garantir a interrupção das tarefas, quando proposta pelos trabalhadores, em função da existência de risco grave e iminente, desde que confirmado o fato pelo superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis;
- fornecer às empresas contratadas as informações sobre os riscos potenciais nas áreas em que desenvolverão suas atividades;
- coordenar a implementação das medidas relativas à segurança e saúde dos trabalhadores das empresas contratadas e prover os meios e condições para que estas atuem em conformidade com esta norma;
- elaborar e implementar o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional -PCMSO (NR 7);
- elaborar e implementar o Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR, contemplando os aspectos abordados nessa norma; e
- implementar uma Comissão Interna de Prevenção de Acidentes, Cipa, e denominada, para a mineração, de Cipamin, e formada por representantes do empregador e dos trabalhadores, com a missão de desenvolver ações que melhorem as condições de trabalho para evitar acidentes e doenças em empresas de mineração.

Além das NRs do MTE, o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM – publicou, em 2001, as Normas Regulamentadoras de Mineração – NRM – específicas para diversas atividades da cadeia produtiva na mineração.

Embora o setor mineral seja regulamentado pelo Ministério das Minas e Energia – MME, a fiscalização das condições de saúde e segurança dos trabalhadores é responsabilidade do MTE. Devido à periculosidade do setor, essa fiscalização é rigorosa nas empresas de mineração. Como exemplo, no triênio 2008-2010 o MTE realizou 11.196 ações fiscais em empresas de mineração, quando foram analisados 291 acidentes, realizadas 656 interdições e 8.793 atuações. As infrações mais comuns encontram-se na tabela 1 (BRASIL, 2011b).

Tabela 1 - Infrações mais comuns na mineração encontradas pelos fiscais.

Motivos de Atuação pela fiscalização do MTE na Mineração	
Controle Médico	14,3 %
Gerenciamento de riscos	10,9 %
Condições sanitárias e de conforto	9,1 %
Circulação e Transporte	7,1 %
Máquinas e Equipamentos	5,9 %
Cipamin	4,8 %
Proteção contra poeira mineral	4,5 %
Equipamentos de Proteção Individual – EPIs	3,0 %
Transportadores contínuos por correia	2,9 %
Explosivos	2,6 %
Instalações elétricas	2,6 %
Informação, qualificação e treinamento	2,1 %
Caldeiras e vasos de pressão	2,0 %
Organização nos locais de trabalho	2,0 %
Proteção contra incêndios e explosões	1,8 %
Outros	24,4 %

Fonte: Extraído de Brasil (2011b).

A preocupação com a saúde e a segurança do trabalhador no setor de extração mineral tem crescido, sendo visível a conscientização de empregadores e empregados, os quais vêm buscando respeitar as novas regulamentações, implementando mudanças comportamentais. Dos acidentes ocorridos na mineração, aproximadamente, 90% caracterizam-se como acidentes típicos, ou seja, ocorridos no ambiente de trabalho. No caso da indústria de rochas ornamentais as condições de trabalho dos operários do setor causam também bastantes acidentes, alguns dos quais são mortais. Além dos acidentes que ocorrem no trabalho em pedreiras e serrarias, vários com mutilações, há uma grande incidência de doenças profissionais, como doenças pulmonares (silicose), de pele, do aparelho auditivo e outras, devido aos esforços repetitivos e até o estresse que não são levadas em consideração pelos empresários do setor.

Conforme o Art. 142 do Regulamento da Previdência Social, a empresa deve fazer a Comunicação do Acidente de Trabalho – CAT – àquela instituição, até o primeiro dia útil seguinte ao da ocorrência e, em caso de morte, de imediato, à autoridade competente, sob pena de multa variável

entre o limite mínimo e máximo do salário de contribuição. Entretanto, as CATs encaminhadas ao INSS pelas empresas do setor de mármore e granito, não representam a realidade dos acidentes ocorridos. Ainda assim, no Espírito Santo, dados oficiais do Anuário Brasileiro de Proteção (2011) mostram que houve 1.516 acidentes de trabalho registrados no período de 2006 a 2008 em atividade extrativa mineral, com 24 mortes. Considerando que, no Brasil, apenas 50% dos trabalhadores têm carteira assinada, podemos multiplicar esses números por dois, para melhor aproximarmos dos números reais.

Atualmente apesar de ser conhecedora das leis trabalhistas e se preocupar com a Saúde e Segurança do Trabalhador, a cadeia produtiva de rochas ornamentais ainda é responsável por acidentes, alguns fatais, e doenças ocupacionais. Observam-se medidas de proteção nas empresas, mas também se observa falta de treinamento e atuação efetiva das Cipamins (CASTRO *et. al.*, 2011).

5. Principais riscos sofridos pelos trabalhadores do setor produtivo de rochas ornamentais

5.1. Exposição a poeira de sílica

A sílica é representada pelo símbolo SiO₂ e corresponde a um mineral que existe em grande quantidade na natureza podendo ser encontrada na forma cristalina, como quartzo, nas areias e na maioria das rochas. A sílica livre cristalina, encontrada na poeira mineral, é a principal causadora da doença denominada silicose, causada por inalação dessa poeira e fixação das partículas de sílica nos pulmões (pneumonia). Pode aparecer em diversas operações de mineração como, por exemplo, nas operações de lavra por explosivos e na mineração contínua, nas operações de perfuração, corte e retirada de minérios da frente de lavra e nas operações de transporte, britagem, moagem, peneiramento e ensacamento de minérios.

A silicose é classificada como uma das mais graves pneumoconioses adquiridas no ambiente de trabalho. A poeira da sílica cristalina (quartzo), depositada nos pulmões, provoca uma reação inflamatória evoluindo para uma fibrose do parênquima pulmonar, levando o trabalhador a uma insuficiência respiratória crônica, além de outras complicações. A exposição prolongada dos trabalhadores à sílica ainda pode provocar doença pulmonar obstrutiva crônica, enfisema e tuberculose pulmonar além de risco de desenvolver câncer no pulmão. Apesar de ser prevenida, a silicose apresenta altos índices de incidência principalmente nos países menos desenvolvidos, como o Brasil. A silicose pode ainda se apresentar de três formas que podem levar a óbito em poucos anos ou até em meses, dependendo do tipo e são: aguda que se manifesta no trabalhador em até dois anos da exposição inicial; acelerada que se manifesta no trabalhador entre dois e dez anos da exposição inicial; e, na forma crônica que se manifesta no trabalhador após dez anos da exposição inicial (TERÁN, 2010). A silicose é a pneumonia mais prevalente no mundo e no Brasil, onde o maior número de casos registrados da doença ocorre no estado de Minas Gerais. Destes, a maioria está relacionada à mineração subterrânea de ouro, principalmente na região de Nova Lima – MG (ALGRANTI *et al.*, 2003). É importante verificar a concentração de poeira e o teor de sílica no ambiente de trabalho, a precocidade, a continuidade e a idade com que se dá a exposição e afastamento do trabalhador, e controlar os fatores que levam aos sintomas da silicose, a fim de eliminar futuras complicações a saúde do trabalhador. Vale ressaltar que se trata da principal causa de invalidez entre as doenças respiratórias ocupacionais, sendo até hoje frequente em trabalhadores que de alguma forma estão em contato com sílica (BARBOSA *et al.*, 2011).

Nas pedreiras de rochas ornamentais, deve se realizar a umectação regular de praças e vias de acesso, normalmente molhando com caminhões pipa, para impedir a formação de poeira e o transporte de particulados pelo vento, o que é auxiliado pela movimentação constante de cargas pesadas nesses locais (Fig. 3). Esse procedimento é fundamental para diminuir os riscos de pneumonose entre os trabalhadores e até para evitar problemas em comunidades vizinhas.



Figura 3 - Poeira gerada pela circulação de máquinas pesadas em pedreira. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

5.2. Exposição ao ruído

O ruído é um dos principais agentes físicos que afetam à saúde dos trabalhadores, principalmente por ocorrer em quase todos os ambientes de trabalho e ter um caráter, muitas vezes, contínuo. Profissionais de segurança e saúde do trabalho consideram o ruído como um dos maiores problemas relacionados à saúde do trabalhador.

A exposição de um trabalhador a ruído contínuo ou intermitente leva a alterações estruturais no ouvido interno, que determinam a ocorrência da Perda Auditiva Induzida por Ruído (Pair), a Pair é a reclamação mais frequente quanto à saúde dos trabalhadores de todos os setores (GABAS, 2004).

A Pair corresponde ao excesso de exposição ao ruído por tempo prolongado e, de acordo com o Comitê Nacional de Ruído e Conservação Auditiva, ela é caracterizada pelo excesso de estimulação sonora e definida como (BRASIL, 2011):

- Ser sempre neurossensorial, uma vez que a lesão é no órgão de Corti da orelha interna.
- Ser geralmente bilateral, com padrões similares. Em algumas situações, observam-se diferenças entre os graus de perda de audição.
- Geralmente, não produz perda auditiva maior que 40 dB nas frequências baixas e 75 dB nas altas.
- Sua progressão cessa com o fim da exposição ao ruído intenso.

- A presença de Pair não torna a audição mais sensível ao ruído. À medida que aumenta o limiar, a progressão da perda se dá de forma mais lenta.
- A perda tem seu início e predomínio nas frequências de 3, 4 ou 6 kHz, progredindo, posteriormente, para 8, 2, 1, 0,5 e 0,25 kHz.
- Em condições estáveis de exposição, as perdas em 3, 4 ou 6 kHz, geralmente atingirão um nível máximo, em cerca de 10 a 15 anos.
- O trabalhador portador de Pair pode desenvolver intolerância a sons intensos, queixar-se de zumbido e de diminuição de inteligibilidade da fala, com prejuízo da comunicação oral.

Sendo um risco real nos ambientes de trabalho, o ruído deve ser prevenido e os limites de exposição do trabalhador previstos pela legislação devem ser respeitados pela empresa. É fundamental que seja feita uma observação de todo o processo produtivo, apontando os focos de maiores riscos auditivos, os tipos de ruído, as características e os horários, sempre levando em consideração a quantidade de trabalhadores e a idade dos mesmos (GALLINA, 2008).

Não se podem esquecer ainda os efeitos não auditivos do ruído, que prejudicam os outros órgãos do corpo humano, principalmente o sistema neuropsíquico. Dentre as reações do corpo humano ao ruído temos as de curta duração caracterizadas pelo aumento do número de batimentos do coração e movimentos respiratórios, aumento da circulação no cérebro, elevação da pressão arterial, diminuição do tônus muscular, dilatação das pupilas e aumento da produção dos hormônios da adrenalina e noradrenalina. Todos estes sintomas denominam-se reações de alarme ou de estresse. Vários estudos demonstram que a exposição exagerada ao ruído provoca aumento da taxa de absenteísmo e cefaleia, além de contribuir com o aumento de acidentes do trabalho. O ruído pode ocasionar também outros problemas de saúde como: zumbido no ouvido, alterações digestivas e cardíacas, fadiga, dor de cabeça e redução na concentração (BRASIL, 2011).

Considerando que a perda auditiva é irreversível e progressiva, é fundamental que os efeitos do ruído sejam evitados com a eliminação ou redução da exposição, utilizando-se do equipamento de proteção individual para proteção auditiva.

5.3. Exposição a outros fatores de risco

Vibrações em mãos e braços

As vibrações geralmente são provenientes do uso de ferramentas ou máquinas a motor. Afetam os trabalhadores e encontram-se presentes em quase todas as atividades do cotidiano da mineração e outras indústrias. Normalmente, as vibrações atingem mãos, nádegas, costas e pés (NETO, 2004).

Os trabalhadores do setor da mineração estão muitas vezes expostos a vibrações localizadas e vibrações de corpo inteiro, durante o desempenho das suas atividades. Além de reduzir seu desempenho, essas vibrações também prejudicam sua saúde. Conforme o modo de contato entre o objeto vibrante e o corpo, a exposição às vibrações se divide em dois grandes grupos: vibrações de mãos-braços e vibrações de corpo inteiro (VENDRAME, 2011).

As vibrações de mãos-braços resultam do contato dos dedos ou das mãos com algum elemento vibrante (principalmente do uso de ferramentas manuais, portáteis ou não, tais como motosserras, furadeiras, serras, politrizes, britadeiras, martelos pneumáticos, dentre outros, ou um objeto que se mantenha contra uma superfície móvel ou um comando de uma máquina vibratória). Os efeitos se manifestam normalmente na zona de contato com a fonte de vibração sendo mais frequente e mais estudada a Síndrome de Reynaud, também chamada de Dedo Branco que tem sua origem em

alterações vasculares. Essas vibrações de mãos e braços são as mais estudadas, sendo os limites de exposição a essa vibração normatizados pela ISO/DIS 5349 (FERNANDES; FERNANDES, 1979).

Já as vibrações de corpo inteiro são características em plataformas industriais (veículos pesados, tratores, retroescavadeiras, embarcações marítimas e trens, entre outras), as transmissões das vibrações ao corpo são dependentes da postura e do indivíduo, pois nem todos apresentam a mesma sensibilidade. Assim, a mesma exposição às vibrações pode resultar em consequências diferentes. Seus efeitos encontram-se associados a traumatismos na coluna vertebral, dores abdominais e digestivas, problemas de equilíbrio, dores de cabeça, transtornos visuais, falta de sono e sintomas similares. As vibrações de corpo inteiro são de baixa frequência e alta amplitude. Situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz. No Brasil, a ABNT adota as normas da ISO 2631 (FERNANDES; FERNANDES, 1978).

Não há cura para a síndrome da vibração, logo, prevenção é a palavra chave e a empresa tem a obrigação de estudar os possíveis riscos das vibrações nos locais de trabalho e, caso os valores limite de exposição sejam ultrapassados, o empregador deve programar o uso de ferramentas com design ergonômico ou com controle da vibração e tomar medidas para reduzir as vibrações como:

- Luvas antivibração.
- Períodos de repouso do trabalhador.
- Procedimentos de trabalho alternativos.
- Equipamentos de proteção individuais adequados e suplementares, quando for o caso.
- Programas de manutenção para sistemas e equipamentos.
- Design do local de trabalho.
- Informação do correto uso das máquinas de vibração.
- Limitação do tempo de exposição.
- Treinamento aos trabalhadores de como utilizar as medidas de proteção escolhidas para uso naquele local.

É indicada a realização anual de exames médicos específicos para se conhecer o estado de saúde dos trabalhadores expostos às vibrações. Assim mesmo, deve-se informar aos trabalhadores sobre os níveis de vibrações aos quais estão expostos, bem como as medidas de proteção disponíveis. Também é interessante mostrar aos trabalhadores como se pode aperfeiçoar seu esforço muscular e postura para realizar seu trabalho (REGAZZI, 2013).

Riscos ergonômicos (LER / DORT).

A Lesão por Esforço Repetitivo – LER – e os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho – DORT – têm sua origem ocupacional, sendo doenças caracterizadas pelo desgaste de estruturas do sistema músculo-esquelético que atingem várias categorias profissionais. Decorrem do uso repetido ou forçado de grupos musculares e da manutenção de postura inadequada, atingindo principalmente os membros superiores como a região escapular e a região cervical. Esta patologia é reconhecida pela legislação brasileira, e já é considerada uma epidemia (SUS, 2011).

Os sintomas são de evolução disfarçada até serem claramente percebidos, desencadeando ou agravando a diminuição da capacidade física à custa de dor, passando a ser percebida no trabalho e fora dele. De acordo com Maeno (2006) as queixas mais comuns do portador de LER – DORT são:

- Dor localizada, irradiada ou generalizada;
- desconforto;
- fadiga;

- sensação de peso;
- formigamento;
- dormência;
- sensação de diminuição de força;
- inchaço;
- enrijecimento muscular;
- choques nos membros; e
- falta de firmeza nas mãos.

Nos casos mais crônicos e graves, pode ocorrer sudorese excessiva nas mãos e Alodínea (sensação de dor como resposta a estímulos não nocivos em pele normal).

As causas da LER e DORT (BANCO DE SAÚDE, 2010) envolvem aspectos biomecânicos, cognitivos, sensoriais, afetivos e de organização do trabalho, como:

- Posto de trabalho que force o trabalhador a adotar posturas, a suportar certas cargas e a se comportar de forma a causar ou agravar afecções músculo-esqueléticas.
- Exposição a vibrações de corpo inteiro, ou do membro superior, podem causar danos à região da coluna podendo afetar o sistema circulatório e o sistema nervoso central.
- Exposição ao frio com efeitos diretos e indiretos. Gripes, problemas de garganta e dores musculares costumam ser comuns. Por outro lado, a necessidade de uso continuado de equipamentos de proteção individual contra baixas temperaturas (ex. luvas), pode provocar alergias ou outros efeitos indesejados.
- Exposição a ruído elevado, que, entre outros efeitos, pode produzir mudanças de comportamento.
- Pressão mecânica localizada provocada pelo contato físico de cantos retos ou pontiagudos de objetos, ferramentas e móveis com tecidos moles de segmentos anatômicos e trajetos nervosos provocando compressões de estruturas moles do sistema músculo-esquelético.
- Carga mecânica músculo-esquelética que é entendida como a carga mecânica exercida sobre seus tecidos e inclui: tensão (ex.: tensão do bíceps); pressão (ex.: pressão sobre o canal do carpo); fricção (ex.: fricção de um tendão sobre a sua bainha); irritação (ex.: irritação de um nervo).

A ginástica laboral é uma ótima opção, pois exercícios de alongamento e relaxamento contribuem para eliminar a fadiga muscular e o estresse, aumentando a flexibilidade e melhorando a circulação sanguínea. É importante que o trabalhador discuta com o empregador a implantação de um programa de ginástica laboral, que é uma opção rápida, barata e de grandes resultados (WAGNER, 2013).

Riscos de Acidentes em Geral

Os principais tipos de acidentes no setor de rochas ornamentais são:

- Quedas e choques por movimentação de máquinas, elementos móveis (correias), uso de ferramentas, pisos escorregadios ou irregulares, áreas de trabalho obstruídas.
- Choques elétricos na operação e manutenção de equipamentos e por instalações elétricas inadequadas.
- Queimaduras pelo manuseio de materiais inflamáveis e o contato com produtos químicos.
- Cortes e mutilações pela utilização de máquinas e equipamentos.
- Cortes, mutilações e esmagamentos na movimentação, armazenagem, e transporte de blocos e chapas de rochas.

- Lesões por desabamento de taludes e por projeção de fragmentos de rocha durante as explosões nas pedreiras.
- Lesões pela projeção de pequenos fragmentos durante operações de perfuração e corte de rochas.

6. Utilização de EPI

De acordo com o MTE (BRASIL, 2011, p. 77) o Equipamento de Proteção Individual – EPI – é considerado como: “todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho”.

Sua utilização se restringe a condições em que a proteção completa do trabalhador está comprometida contra um ou mais riscos que possam ocorrer no trabalho. A escolha do EPI deve atender à legislação Brasileira protegendo os usuários e conservando a saúde dos mesmos, porém o correto uso do EPI não se limita apenas a proteger o trabalhador. Sua importância vai muito além, haja vista que a utilização irregular do EPI poderá comprometer a segurança, o conforto, a comunicação e o desempenho dos trabalhadores.

Vale ressaltar que a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – Cipa, junto com os integrantes do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho – SESMT – são responsáveis pela escolha dos EPIs e sua frequente revisão, em virtude de mudanças internas ou externas do processo produtivo (BRASIL, 2011).

De acordo com o Beltrame (2010) as principais mudanças que podem ocorrer, levando em consideração à revisão do EPI ideal para cada caso, são:

- Mudanças no processo produtivo ou nos equipamentos: possível alteração do nível de exposição, introdução de novos contaminantes ou retirada de contaminantes (substituição de um reagente).
- Mudanças na legislação: alteração do nível de exposição máximo permitido para a jornada de trabalho.
- Desenvolvimento de novas tecnologias: equipamentos que possam promover maior conforto com a mesma proteção (como máscaras e filtros mais leves).
- Avanço no processo seletivo dos equipamentos: o conhecimento científico para a seleção dos equipamentos pode alterar a lista de equipamentos adequados (exemplo: método I e método II do *National Institute for Occupational Safety and Health* – NIOSH, para o cálculo do Noise Reduction Rating – NRR, de protetores auditivos).
- Mudanças nos equipamentos de proteção: fechamento de empresa fabricante, descontinuidade de linha de equipamentos e lançamento de novos produtos.

Atualmente ainda é possível encontrar condições irregulares dos trabalhadores nas pedreiras e nas instalações da linha produtiva das rochas ornamentais, onde se realizam atividades manuais e automatizadas. Essas atividades, além de repetitivas e monótonas são realizadas de forma contínua por longos períodos por trabalhadores cujas possibilidades de mudança da rotina de trabalho são escassas.

7. Principais funções dos trabalhadores na extração

A primeira etapa do processo produtivo de rochas ornamentais é a extração de mármore e granitos das jazidas. As rochas ornamentais são lavradas a céu aberto, no Brasil, em pedreiras. Es-

tas são constituídas de frentes de lavra, rampas de acesso e áreas de servidão e apoio. Nas frentes são desmembrados do maciço grandes volumes de rocha que são divididos, a seguir, em blocos comerciais em praças de trabalho. As pedreiras dispõem também de praças secundárias que tem a função de dar apoio ao desmonte, assim como pistas e rampas que realizam as ligações entre praças, áreas de depósito e carregamento dos blocos. Muitos trabalhadores estão envolvidos nessa etapa de extração sendo as diversas funções deles.

7.1. Operador de perfuratriz manual (marteleiro)

Profissional que opera a perfuratriz manual, conhecida no setor como martetele. O martetele é um equipamento vibratório pneumático ou elétrico, no qual é encaixada a haste de perfuração, em cuja ponta é colocada uma broca de material metálico muito duro (como, por exemplo, carbeto de tungstênio). A perfuração manual é realizada para retirar arestas de blocos ou abrir sulcos para dividir a rocha em pranchas ou blocos. O marteteleiro tem a função de conferir prumo e esquadro à direção dos furos, manusear hastes, fazer a manutenção das perfuratrizes, colocar cunhas nos furos para dividir a rocha e bater na cunha com uma marreta. Essas funções o obrigam a estar sempre em contato com poeira, ruído, calor, e vibração mecânica, além de estar submetido constantemente a riscos ergonômicos e de quedas (Fig. 4).



Figura 4 - Marteteleiro de pedreira. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

7.2. Cabo de fogo (blaster)

Conhecido também como cabuqueiro, esse profissional é responsável pelo manuseio e detonação de explosivos, para a realização do desmonte tanto de estéril, quanto de pranchas para posterior processo de extração dos blocos. Na realização de sua função o trabalhador está sempre exposto a incêndios e as explosões podem causar acidentes graves e até mesmo a morte, quando malsucedidas ou houver algum incidente na preparação (Fig. 5).



Figura 5 - Preparação de explosivo para corte do maciço. Fotos: CETEM/MCTI, 2007.

7.3. Operador de fio diamantado (folista)

O operador de fio diamantado realiza as operações de corte do maciço rochoso e esquadreamento das pranchas em blocos, com o equipamento de fio diamantado. Essas operações incluem as atividades a seguir:

- Instalar e preparar o equipamento (sistemas de polias, trilhos, máquina de fio diamantado e o próprio fio) na frente de lavra.
- Inspeccionar e ajustar (torcer, emendar, substituir) o fio antes, durante e depois dos cortes.
- Colocar barreiras de proteção nas bancadas de acordo com as normas de segurança.

O folista está diretamente exposto a ruídos, poeira, calor e risco de acidente grave e até fatal, pois o fio pode se romper a qualquer momento atingindo violentamente seu corpo. Por este motivo, a área do corte deve ser isolada e o operador de fio deve manter uma distância de segurança enquanto a máquina estiver em funcionamento (Fig. 6).



Figura 6 - Operador de Máquina de fio diamantado em pedreira. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

7.4. Manobrista

O manobrista é o profissional responsável pela movimentação e transporte dos blocos. Essa é uma função de alto risco, pois qualquer acidente com os blocos, com peso de 30 a 40 toneladas, seja por se desprender do cabo de aço quando içados pelo equipamento denominado “pau de carga” (Fig. 7), ou quando empurrados ou carregados pelos tratores, se atingir pessoas, costuma ser fatal.



Figura 7 - Pau de carga para carregar o caminhão. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

7.5. Encarregado e supervisores

Profissionais responsáveis pelo controle de produção e por toda atividade realizada na pedreira, inspecionando todas as etapas. Como todos os trabalhadores das pedreiras, eles também ficam expostos diretamente a ruídos, poeira, sol, vento e chuva e, ainda, a risco de incêndios ou explosões ou de serem atingidos por rochas.

8. Principais funções dos trabalhadores no beneficiamento

A segunda etapa do ciclo produtivo das rochas ornamentais é o beneficiamento, fase na qual os blocos extraídos nas pedreiras passam pelo processo de desdobramento em chapas denominado serragem, em teares multilâmina ou multifio. As chapas são submetidas a polimento ou outros acabamentos superficiais, mediante diversos processos abrasivos e utilização de resinas e outros produtos químicos. As funções mais importantes desempenhadas pelos trabalhadores nesses processos são:

8.1. Serrador

O serrador é o responsável pela entrada e saída do bloco nas máquinas, pelo controle do processo de serragem, realizando os ajustes que se fizerem necessários durante a operação, tanto na alimentação dos insumos quanto em ajustes mecânicos, e pela retirada das chapas produzidas (Figs. 8 e 9). A serragem produz alto nível de ruído e de forma constante, além de haver muitos riscos de acidentes típicos do trabalho com máquinas de grande porte e força.



Figura 8 - Operadores de tear multilâmina retirando as chapas. Fonte: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 9 -
Operadores de tear
multifio preparando
a carga. Fonte:
CETEM/MCTI, 2011.

8.2. Polidor

O polidor é o profissional responsável pela supervisão da politriz durante todo o processo de polimento, pela troca de abrasivos, bem como da entrada e saída de chapas na máquina. Além dos riscos ergonômicos envolvidos, esse profissional está exposto a ruído constante e risco de acidentes durante a movimentação das chapas (Fig. 10).



Figura 10 -
Operador de
Politriz. Fonte:
CETEM/ MCTI, 2011.

8.3. Resinador

O resinador é o profissional que aplica a mistura de resina e endurente em cada chapa (resinagem) para posterior polimento, e coloca telas de reforço nas chapas (telagem), também com aplicação de resina e catalisador. Essa função expõe o trabalhador aos vapores das resinas (assim como no enovelamento de blocos) e outros produtos químicos que são adicionados para melhorar a cor ou cobrir defeitos, e, principalmente, a riscos de acidentes durante a movimentação das chapas (Figs. 11 e 12).



Figura 11 - Operadores de resinagem. Foto: CETEM/MCTI, 2012.



Figura 12 - Operadores de resinagem colocando a tela. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

8.4. Operador de ponte

Responsável pela movimentação dos blocos e das chapas no pátio de estocagem ou nos galpões da empresa, bem como do carregamento dos caminhões para transporte. Esse profissional está exposto a ruídos e alto risco de acidentes pela queda de materiais no momento da movimentação (Fig. 13).



Figura 13 - Movimentação de chapas. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

8.5. Cortador

O cortador é o profissional responsável por realizar operações de recorte, em equipamentos manuais ou automáticos, na serraria ou marmoraria, para produzir peças por encomenda. O cortador opera equipamentos que exigem esforço físico, expondo-o aos riscos de LER, DORT e acidentes mutilantes, além de expô-lo a ruído alto contínuo e umidade.

8.6. Acabador

Profissional que opera equipamentos manuais ou automáticos para finalizar produtos previamente recortados fazendo, por exemplo, o acabamento de bordas e realizando furações nas bancadas para colocar cubas de inox, porcelana etc. O trabalhador além de ficar exposto a agentes como poeira, vibração, ruído, umidade, riscos ergonômicos e riscos de acidentes, ainda pode estar exposto a agentes químicos presentes nas colas, massas plásticas, ceras, dentre outros materiais utilizados nesta fase (Fig. 14).



Figura 14 - Acabadores. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

9. EPI para indústria de rochas ornamentais

As Normas de Segurança e Saúde do Trabalhador (BRASIL, 2011) devem ser seguidas fazendo parte da política geral das empresas. O atendimento à regulamentação é apenas uma das etapas de um processo que visa a qualidade e bem-estar laboral do trabalhador, iniciando-se com a conscientização de que segurança do trabalho melhora a produtividade da empresa. Um dos requisitos fundamentais dessa legislação é o uso de EPIs. Pela norma NR 6 – Equipamento de Proteção Individual – os EPIs são caracterizados por oferecer proteção ao ser humano de diversas formas, como:

- Proteção para a cabeça;
- proteção para os membros superiores;
- proteção para os membros inferiores;
- proteção contra quedas com diferença de nível;
- proteção auditiva;
- proteção respiratória;
- proteção de tronco;
- proteção do corpo inteiro; e
- proteção da pele.

As empresas, há muito tempo, têm ciência de que a utilização do EPI é de fundamental importância para a segurança dos funcionários. As grandes empresas compreendem que sua utilização ou não, influencia a produtividade, e por isso, são rígidas quanto a essa utilização. Porém, pequenas empresas costumam ter menor preocupação com a questão que envolve o funcionário e os acidentes de trabalho e permitem que se crie uma cultura viciada, na qual os trabalhadores, por considerarem desconfortável o uso do EPI, não os utilizam.

O melhor meio de se mudar esse paradigma é conscientizar empregadores e empregados por meio da criação de uma cultura de segurança do trabalho dentro das empresas, a partir da realização de reuniões e palestras diárias demonstrando ao trabalhador a importância que ele tem dentro da empresa e a importância dele para sua família, que ao final de cada dia de trabalho espera seu retorno a casa em perfeitas condições físicas e psicológicas.

A seguir, listamos os principais EPIs de uso na cadeia produtiva de rochas ornamentais de acordo à NR-6. Devem ser utilizados com o conhecimento e aprovação do responsável pelas áreas de Higiene, Segurança e Medicina do Trabalho da empresa e são de uso pessoal e intransferível.

9.1. Capacete tipo aba frontal

Embora a maioria das pessoas não goste de usar o capacete, esse equipamento protege o crânio de impactos provenientes de queda ou projeção de objetos, choques elétricos e queimaduras, mesmo em locais confinados. Um capacete deve amortecer a energia transferida no momento do impacto para proteção da cabeça e da coluna vertebral. Por esse motivo, este é um item obrigatório até para os visitantes nas áreas de extração e beneficiamento de rochas ornamentais.

9.2. Óculos

Os óculos de lente incolor e lente com tonalidade escura utilizados, representam uma peça de proteção para os olhos contra:

- Impactos de partículas volantes;
- luminosidade intensa;
- radiação ultravioleta; e
- radiação infravermelha.

9.3. Protetores auditivos

Consistem na proteção efetiva contra o ruído das máquinas que o trabalhador deve usar durante todo o tempo de exposição ao ruído em níveis acima do permitido. A atenuação de ruído dos protetores é relacionada ao conforto e aceitação, que devem ser considerados na seleção do protetor auditivo a ser utilizado e que dependerá do nível de ruído previamente medido nos locais de trabalho. Há basicamente dois tipos de protetores auditivos que podem ser usados da indústria de rochas ornamentais: protetores auditivos do tipo concha e protetores auditivos tipo inserção ou plug. O protetor auditivo tipo inserção é mais utilizado em locais que não apresentam ruído excessivo, sendo em outros casos obrigatório o uso do protetor tipo concha.

9.4. Máscaras respiratórias

O uso de máscara para boca e nariz é indispensável para os trabalhadores que ficam expostos diretamente a poeira de sílica ou a agentes químicos provenientes da etapa de resinagem. No caso da indústria de rochas ornamentais, de acordo com a NR 6, os trabalhadores devem usar, dependendo da função desempenhada, respiradores purificadores de ar não motorizado dos tipos:

- PFF1 – peça semifacial filtrante para proteção das vias respiratórias contra poeiras e névoas;
- PFF2 – peça semifacial filtrante para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas e fumos;

- PFF3 – peça semifacial filtrante para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas, fumos e radionuclídeos; e
- peça um quarto facial, semifacial ou facial inteira com filtros químicos e ou combinados para proteção das vias respiratórias contra gases e vapores e ou material particulado, que é a máscara mais utilizada pelos trabalhadores do setor de resinagem das empresas de rochas ornamentais (Fig. 15).



Figura 15 - Máscara utilizada no setor de resinagem da indústria de rochas ornamentais. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

A escolha do melhor tipo de máscara para cada local é feita após medição da exposição a agentes físicos e químicos no local de trabalho e de acordo com os limites de tolerância – LT estabelecidos pela NR – 15 – Anexo N.11.

9.5. EPI para proteção do tronco

Devem ser utilizados pelos trabalhadores vestimentas (jaleco impermeável) para proteção do tronco contra a umidade proveniente de operações com uso de água, contra riscos de origem mecânica e exposição maciça a vapores.

9.6. Luvas

As luvas são utilizadas de acordo com a natureza do serviço e representam uma peça de proteção das mãos contra:

- Agentes abrasivos e escoriantes;
- agentes cortantes e perfurantes;
- choques elétricos;
- contra térmicos;
- contra biológicos;
- contra químicos;
- contra vibrações;
- umidade proveniente de operações com uso de água; e
- radiações ionizantes.

9.7. Calçado

As botas, calçados e botinas de segurança devem proteger os pés, dedos e pernas contra:

- Impactos de quedas de objetos;
- descargas elétricas;
- agentes térmicos;
- agentes abrasivos e escoriantes;
- agentes cortantes e perfurantes;
- umidade; e
- respingos de produtos químicos.

9.8. Filtro solar

De acordo com a NR 6 o EPI é todo dispositivo de uso individual destinado à proteção contra um ou mais riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e saúde dos trabalhadores, bem como qualquer complemento ou acessório com esse mesmo objetivo. O filtro solar, utilizado para proteger o trabalhador contra excesso de radiações UVA/UVB provenientes do sol ou de outras fontes, é considerado um EPI nos trabalhos em áreas externas e, na maioria das empresas de extração de rochas ornamentais, de uso obrigatório.

Além dos EPIs, medidas de proteção coletiva são muito importantes, como a colocação de corrimãos, barreiras, iluminação, ventilação e sinalização. Tudo isto e mais, como os programas de treinamento, acompanhamento e fiscalização devem estar considerados no sistema de gestão da saúde ocupacional das empresas.

Apresentam-se a seguir e a modo de resumo, nas tabelas 2 e 3, riscos à saúde e segurança dos trabalhadores do setor de rochas ornamentais bem como os EPIs recomendados de acordo à função por eles desempenhada. Foram incluídas apenas funções específicas da produção de rochas ornamentais, mas todos os trabalhadores estão expostos a riscos no ambiente de trabalho, como pode ser o risco de ferimentos pelo uso de ferramentas entre o pessoal de manutenção de equipamentos e maquinário ou riscos ergonômicos entre o pessoal administrativo, por exemplo.

Tabela 2 - Resumo de riscos e EPIs na extração de rochas ornamentais, por função.

Processo produtivo de Rochas Ornamentais	Principais Funções	Principais Riscos	EPIs Utilizados
Extração	Operador de martelete	Exposição a poeira, ruído, trepidação emitida pelo equipamento de trabalho e umidade.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva anti-vibração, calçado e filtro solar.
	Cabo de fogo (blaster)	Riscos de acidentes graves e fatais não só pelo fato de lidar diariamente com explosivos, mas também pelo fato de ficar exposto ao desmoronamento e arremessamento de pedras. Exposição a poeira e ruídos.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, calçado e filtro solar.
	Operador de fio diamantado	Profissionais muito próximos à máquina e por isso correm o risco de serem atingidos pelo fio quando esse se rompe. Além disso, ficam expostos à poeira, ao ruído intenso e à umidade.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, calçado e filtro solar.
	Manobreiro (manobrista)	Rompimento dos cabos de aço que içam o bloco para transporte. Podem atingir tanto o manobrista como os outros. Expostos também a poeira e ruídos.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado e filtro solar.
	Encarregado	Exposição a poeira, ruídos, desmoronamento, arremessamento.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, calçado e filtro solar.
	Supervisor	Exposição a poeira, ruídos, desmoronamento, arremessamento.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado e filtro solar.

Tabela 3 - Resumo de riscos e EPIs no beneficiamento de rochas ornamentais, por função.

Processo	Função	Principais Riscos	EPIs Utilizados
Beneficiamento	Serrador e seu ajudante	Expostos ao ruído intenso e umidade. Estão sempre em contato com a lama abrasiva gerada no desdobramento dos blocos em chapas pelos teares.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo concha, EPI para tronco, luva contra umidade e calçado.
	Polidor e assistente	Além da monotonia, esses profissionais estão expostos ao risco de acidentes com a queda de chapas, que são transportadas por eles no momento de entrada e saída da máquina e no carregamento dos caminhões. Expostos a ruídos e umidade.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva contra umidade e calçado.
	Resinador	Exposição a poeira, ruídos, desmoronamento e arremessamento além da exposição a agentes químicos provenientes da resina.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo plug, EPI para proteção do tronco, luva contra químicos, calçado, máscara facial de proteção das vias respiratórias contra gases e vapores.
	Operador de Ponte e Ventosas	Exposição a poeira, ruídos, quedas de chapas, arremessamento.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado.
	Cortador	Expõe o profissional ao risco de acidentes mutilantes e também a um grande contato com a poeira, ruído e umidade. Exige muito esforço físico para operar equipamentos.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva contra agentes abrasivos e escoriantes, calçado, máscara semifacial filtrante.
	Acabador	O trabalhador além de ficar exposto a problemas como poeira, vibração, ruído, ergonômicos e riscos de acidentes ele ainda pode estar exposto a agentes químicos presentes nas colas, massas plásticas, ceras, dentre outros.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo plug, EPI para proteção do tronco, luva contra químicos, calçado, máscara facial de proteção das vias respiratórias contra gases e vapores.

10. Sinalização de segurança

Uma questão importante para garantir a segurança tanto de funcionários e terceirizados quanto de visitantes em pedreiras, serrarias e marmorarias é a sinalização de segurança que deve seguir tanto a NR 26 – Sinalização de Segurança, do MTE, quanto a NRM 12 do DNPM – Sinalização de Áreas de Trabalho e de Circulação.

11. Normas regulamentadoras no Brasil

O presente capítulo pretendeu apenas chamar a atenção sobre questões relevantes em saúde, segurança e higiene do trabalho na produção de rochas ornamentais. O assunto é mais abrangente, como mostra a grande quantidade de normas regulamentadoras existentes visando a proteção dos trabalhadores, como as NRs do MTE, listadas na tabela 4 e as NRMs do DNPM, listadas na tabela 5.

Além das normas acima, existem ainda normas complementares, aplicáveis ao setor de rochas ornamentais, como as listadas abaixo:

- ABNT NBR 5413 – Iluminância de interiores.
- ABNT NBR 6327 – Cabo de aço para uso geral – Requisitos mínimos.
- ABNT NBR 6493 – Emprego das cores para identificação de tubulações.
- ABNT NBR 11725 – Conexões e roscas para válvulas de cilindros para gases comprimidos.
- ABNT NBR 11900 – Extremidades de laços de cabos de aço.
- ABNT NBR 12246 – Espaço confinado – Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção.
- ABNT NBR 12790 – Cilindro de aço especificado, sem costura, para armazenagem e transporte de gases a alta pressão.
- ABNT NBR 12791 – Cilindro de aço, sem costura, para armazenamento e transporte de gases a alta pressão.
- ABNT NBR 13541 – Movimentação de carga – Laço de cabo de aço – Especificação.
- ABNT NBR 13542 – Movimentação de carga – Anel de carga.
- ABNT NBR 13543 – Movimentação de carga – Laços de cabo de aço – utilização e inspeção.
- ABNT NBR 13544 – Movimentação de carga – Sapatilho para cabo de aço.
- ABNT NBR 13545 – Movimentação de carga – Manilhas.
- ABNT NBR 14725 – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).
- Capítulo V do Título II da CLT – Refere-se à Segurança e Medicina do Trabalho. Decreto no 2.657, de 03/07/98 – Promulga a Convenção OIT no 170 relativa à Segurança na utilização de produtos químicos no trabalho.
- Instrução Normativa MTb/SSST no 01, de 11/04/94 – Estabelece o Regulamento Técnico sobre o Uso de Equipamentos para Proteção Respiratória.
- Portaria MTE no 2.037, de 15/12/99 – Altera a redação da NR 22, aprovada pela Portaria no 3.214/78 e revoga itens da NR 21.
- Portaria MTE/SIT/DSST no 63, de 02/12/03 – Compatibilização do subitem 22.36.12.1 ao subitem 5.35 da NR 5. Incluiu o subitem 22.36.12.1.1.

Tabela 4 - Normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego.

NR-01	Disposições Gerais
NR-02	Inspeção Prévia
NR-03	Embargo ou Interdição
NR-04	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – SESMT
NR-05	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA
NR-06	Equipamento de Proteção Individual – EPI
NR-07	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO
NR-08	Edificações
NR-09	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA
NR-10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NR-11	Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais
NR-12	Máquinas e Equipamentos
NR-13	Caldeiras e Vasos de Pressão
NR-14	Fornos
NR-15	Atividades e Operações Insalubres
NR-16	Atividades e Operações Perigosas
NR-17	Ergonomia
NR-18	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
NR-19	Explosivos
NR-20	Líquidos Combustíveis e Inflamáveis
NR-21	Trabalho a céu aberto
NR-22	Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração
NR-23	Proteção contra Incêndios
NR-24	Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho
NR-25	Resíduos Industriais
NR-26	Sinalização de Segurança
NR-27	Revogada
NR-28	Fiscalização e Penalidade
NR-29	Segurança e Saúde no Trabalho Portuário
NR-30	Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário
NR-31	Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura
NR-32	Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde
NR-33	Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados
NR-34	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção e Reparação Naval
NR-35	Trabalho em altura
NR-36	Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados

Elaboração: Rosana E. Coppedê, CETEM/MCTI, 2013.

Tabela 5 - Normas do DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral.

NRM-1	Normas Gerais
NRM-2	Lavra a Céu Aberto
NRM-3	Lavras Especiais
NRM-4	Aberturas Subterrâneas
NRM-5	Sistemas de Suporte e Tratamentos
NRM-6	Ventilação
NRM-7	Vias e Saídas de Emergência
NRM-8	Prevenção contra Incêndios, Explosões e Inundações
NRM-9	Prevenção contra Poeiras
NRM-10	Sistemas de Comunicação
NRM-11	Iluminação
NRM-12	Sinalização de Áreas de Trabalho e de Circulação
NRM-13	Circulação e Transporte de Pessoas e Materiais
NRM-14	Máquinas, Equipamentos e Ferramentas
NRM-15	Instalações
NRM-16	Operações com Explosivos e Acessórios
NRM-17	Topografia de Minas
NRM-18	Beneficiamento
NRM-19	Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos
NRM-20	Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras
NRM-21	Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas
NRM-22	Proteção ao Trabalhador

Elaboração: Rosana E. Coppedê, CETEM/MCTI, 2013.

12. Agradecimentos

Agradecemos a colaboração dos colegas do CETEM Francisco Hollanda e Rosana Coppedê pela ajuda e a Cláudia Pellegrinelli, pelas orientações.

13. Bibliografia e referências

- ALGRANTI, E. *et al.* Patologia respiratória relacionada com o trabalho. In: MENDES, R. (Org.). Patologia do trabalho. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2003. p. 1329-1397.
- ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO. Novo Hamburgo: Revista Proteção, Edição especial. v. 16. 2011.
- ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO. Novo Hamburgo: Revista Proteção, Edição especial. v. 17. 2012.
- AZEVEDO, Roberta Guio de. Silicose na exploração de rochas ornamentais. Vila Velha. 2009. 123p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas), Centro Universitário Vila Velha, Espírito Santo – ES, 2009.

Banco de Saúde. LER – DORT. (on line). 2010. Disponível em: <http://www.bancodesaude.com.br/ler-dort/ler-dort>. Acesso em 26 de junho de 2013.

BAPTISTINI, Marcela Almeida. Trabalhadores do setor de rochas ornamentais: vida, trabalho, saúde e acesso aos serviços de saúde. Vitória. 2009. 185p. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva, Centro de Ciências da Saúde). Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo – ES, 2009.

BARBOSA, M. S. A. *et al.* Silicose em trabalhadores de quartzito da região de São Thomé das Letras – Minas Gerais: dados iniciais indicam um grave problema de saúde pública. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 36, n. 123, p. 177-184, fev. 2011.

BELTRAME, A. L. *et al.* Efeitos da alteração do limite de exposição ocupacional à sílica cristalina no processo de seleção de. *Revista Escola de Minas de Ouro Preto*, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p. 621-625, out. dez. 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. 2011a. Portaria nº 3214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas à segurança e medicina do trabalho. Norma Regulamentadora Nº 11. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 67ª edição, São Paulo: Atlas, 2011. 867p.

_____. 2011b. Departamento de Saúde e Segurança No Trabalho - Rinaldo Marinho Costa Lima. Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração – A Visão do Ministério do Trabalho e Emprego 14 Congresso Brasileiro de Mineração: IBRAM, Belo Horizonte, n. , Apresentação, 28 set. 2011.

BUSCHINELLI, J. T.; ROCHA, L. E; RIGOTTO, R. M (Org.). Isto é trabalho de gente? Vida, Doença e Trabalho no Brasil. Petrópolis: Vozes, 1993.

CASTRO, N. F. *et al.* Impacto do APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Recursos Minerais e Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Fernandes, F. R. C, *et al* (eds.). Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. cap. 7, p. 139-176.

CASTRO, Nuria Fernández. Cartilha de segurança e saúde do trabalho em pedreiras: guia prático para os trabalhadores. Rio de Janeiro. 2005. 68p. Curso de Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Centro de ciências Matemática e da Natureza, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Rio de Janeiro, 2005.

COHN, A., MARSIGLIA, R. G., Processo e organização do trabalho. In: Rocha, L.E., Rigotto, R.M., Buschinelli, J.T. (orgs) Isto é trabalho de gente? Vida, doença e trabalho no Brasil. São Paulo-Petrópolis: Vozes, 1994. p. 56-95

FERNANDES, João Candido; FERNANDES, Marly Rodrigues Mendes. Guia para medição e avaliação da exposição humana à vibrações transmitida à mão. Norma Internacional. ISO/DIS 5349. 2ª ed. 1979.

FERNANDES, João Candido; FERNANDES, Marly Rodrigues Mendes. Guia para avaliação da exposição humana à vibrações de corpo inteiro. Norma Internacional. ISO 2631. 2ª ed. 1978.

GABAS, Gláucia C. Programa de Conservação Auditiva: 3M Soluções para Saúde Ocupacional e Segurança Ambiental; Brasil, 2004.

GALLINA, Carlos Maurício; *et al.* Instrumentos de medição de intensidade sonora decibelímetro. (on line). 2008. Disponível em: <http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/decibel51.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2013.

ILO - INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (Genebra). United Nations World Day for Safety and Health at Work 2013: Health and safety at work: Facts and figures. Disponível em: <http://www.ilo.org/safework/events/meetings/WCMS_204594/lang--en/index.htm>. Acesso em: 28 abr. 2013.

MAENO; Maria; *et al.* Lesões por esforços repetitivos (LER), distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (Dort), dor relacionada ao trabalho. (on line) Disponível em: http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_ler_dort.pdf. Brasília, 2006. Acesso em 26 de junho de 2013.

MOULIN, Maria das Graças Barbosa; De heróis e de mártires: visões de mundo e acidente de trabalho no setor de rochas ornamentais. In: _____. Cadernos de Psicologia Social do Trabalho. Vitória:Universidade Federal do Espírito Santo, 2007, vol. 10, num. 01, p. 37-53.

NETO, Caetano Dallora. Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e argilito posicionada junto à área urbana de Limeira (SP) e sua aplicação para a minimização de impactos ambientais. (on line). São Paulo: 2004. Disponível em: http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137036P9/2004/dalloraneto_c_me_rcla.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

PELLEGRINELLI, Cláudia Mara B.F. Programa Especial de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Palestra proferida no Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 16 abril. 2013.

REGAZZI, Rogério Dias. Análise da vibração e referências normativas. (on line). Disponível em: <http://isegnet.porta80.com.br/siteedit/arquivos/3R%20CURSO%20Vibracao%20no%20Corpo%20Humano%20Analise.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2013.

REIS, R. C., SOUSA, W. T., Métodos de lavra de rochas ornamentais. Ouro Preto, p. 207-209, set. 2003.

SINDIMÁRMORE - Sindicato dos Trabalhadores do Mármore e Granito do Espírito Santo. Disponível em: <http://www.sindimarmore.com.br/noticias>. Acesso em 07 de junho de 2013.

SUS - Sistema Único de Saúde. LER/DORT. (on line). Disponível: <http://www.saude-rioclaro.org.br/crst/cartilhas/Cartilha%20LER%20DORT%20Cerest%20-%20RC%202008.pdf>. Rio Claro: São Paulo, 2008. Acesso em 26 de junho de 2013.

TERÁN, J.E.C. Educação em Saúde: Silicose. 2010. 15 f. Curso de Especialização em Atenção Básica em Saúde da Família. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

VENDRAME, Antônio Carlos. Vibrações ocupacionais. (on line). Disponível em: http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes_ocupacionais.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

WAGNER, José Luis; *et al.* Cartilha sobre LER/DORT. (on line). Disponível em: http://www.sintfub.org.br/arquivos/publicacoes/SINTFUB_-_Cartilha_LER-DORT.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

Capítulo 9

Resíduos: tratamento e aplicações industriais

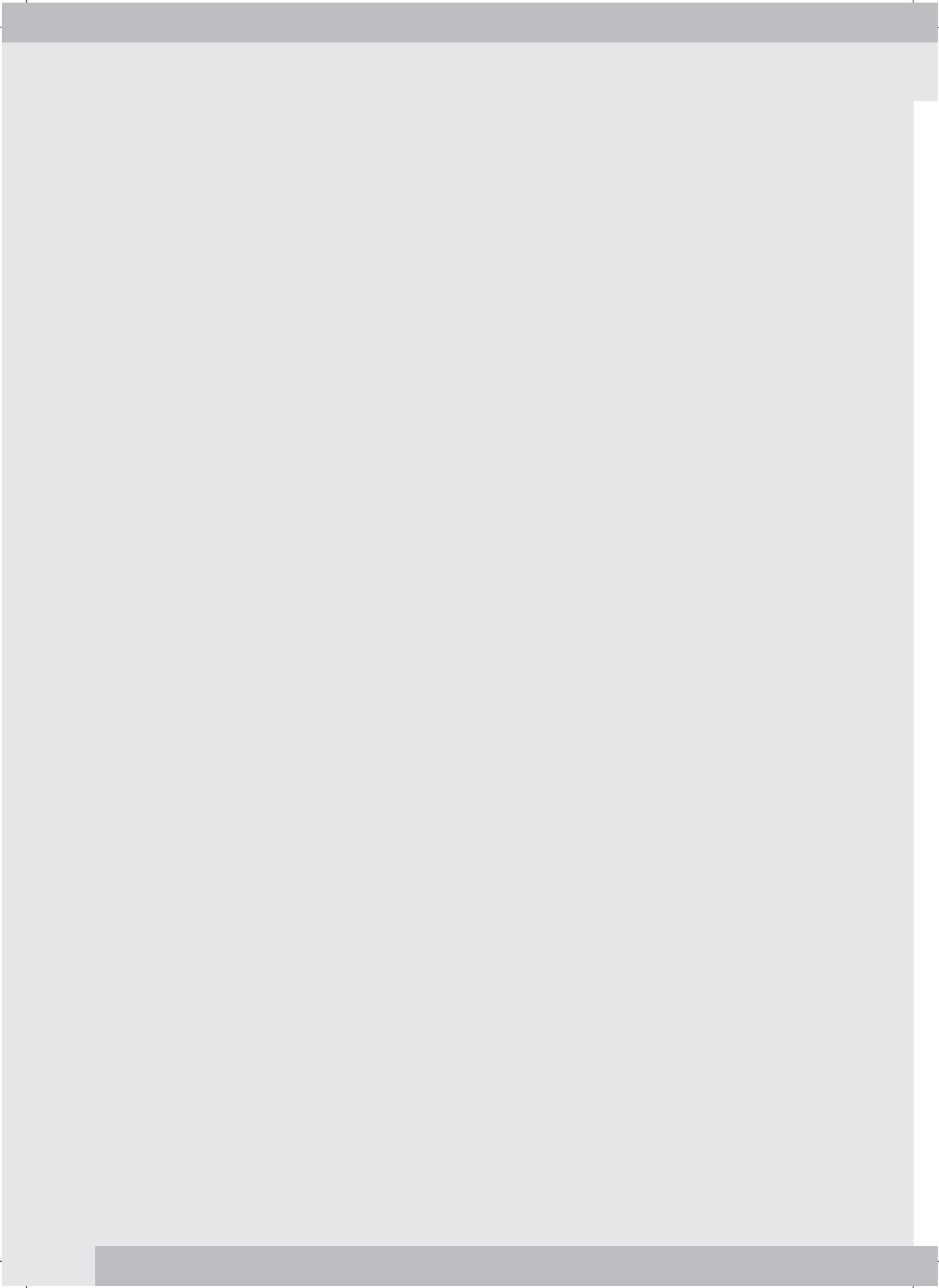
Antônio Rodrigues de Campos, Eng. Metalúrgico, DSc., CETEM/MCTI

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Eng. Químico, DSc., CETEM/MCTI

Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc. CETEM/MCTI

Helio Carvalho A. de Azevedo, Geólogo, Companhia Baiana de Pesquisas Minerais – CBPM

Leonardo Cattabriga, Eng. de Petróleo e Gás, Eng. de Segurança no Trabalho. CETEM/MCTI



1. Introdução

A mineração é um dos setores industriais que maior quantidade de resíduos gera. Na Europa, em 2008, 27,8% de todos os resíduos gerados foram provenientes da indústria mineral, o que representou mais de 700 milhões de toneladas (Mt) de resíduos naquele ano. A maior parte desses resíduos (quase 600 Mt em 2008, que correspondem a quase 1,5 toneladas *per capita*) é constituída de solo e rochas, sendo considerados pela legislação europeia como não perigosos e, em alguns casos, como inertes, mas, certamente, representam um problema para o qual diversas soluções já estão sendo aplicadas e outras estudadas.

Dentro do setor de mineração, a produção de rochas ornamentais, devido a suas baixas taxas de aproveitamento, é uma grande contribuidora para a geração desse tipo de resíduos sólidos. Segundo os levantamentos do Núcleo Regional do Espírito Santo, do CETEM, em 2003, estimava-se que foram geradas 109 Mt de resíduos da produção de rochas ornamentais no mundo, considerando uma produção ROM nas pedreiras de 78 Mt e uma taxa de aproveitamento total (extração e beneficiamento) de 28,8% (PAPANTONOPOULOS *et al.*, 2007). Utilizando-se a mesma lógica, em 2011, com uma produção mundial de quase 120 Mt, a quantidade de resíduos gerada pela indústria de rochas ornamentais pode ter sido de 170 Mt.

Já no Brasil, onde consideramos uma taxa de aproveitamento média até a produção de chapas de, aproximadamente, 17%, pode se estimar que foram geradas algo mais de 22 Mt de resíduos em 2012. A maior parte, cerca de 20 Mt, é constituída por resíduos grossos gerados nas próprias pedreiras (blocos não aproveitados por estarem fora de padrão, fragmentos de rocha, rocha alterada do capeamento etc). Mesmo não representando um grave problema ambiental, geram um forte impacto visual (Fig. 1) e representam um desperdício de recurso natural, já que podem ser utilizados para outros fins, como subproduto, motivo pelo qual são, às vezes, denominados de “estoques remanescentes”.



Figura 1- Resíduos em pedreiras de rocha ornamental. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

No processamento dos blocos nas serrarias, o resíduo gerado é de 40% do volume do bloco processado, sendo 26% de resíduo muito fino misturado com os insumos da serragem e 14% de resíduo grosso, na forma de casqueiro (restos do aparelhamento dos blocos). Estima-se, então, que no beneficiamento sejam geradas em torno de 1,5 Mt dos resíduos finos (pó de rocha) e quase 1 Mt de resíduos grossos (casqueiros e aparas) anualmente no país. (Fig. 2)

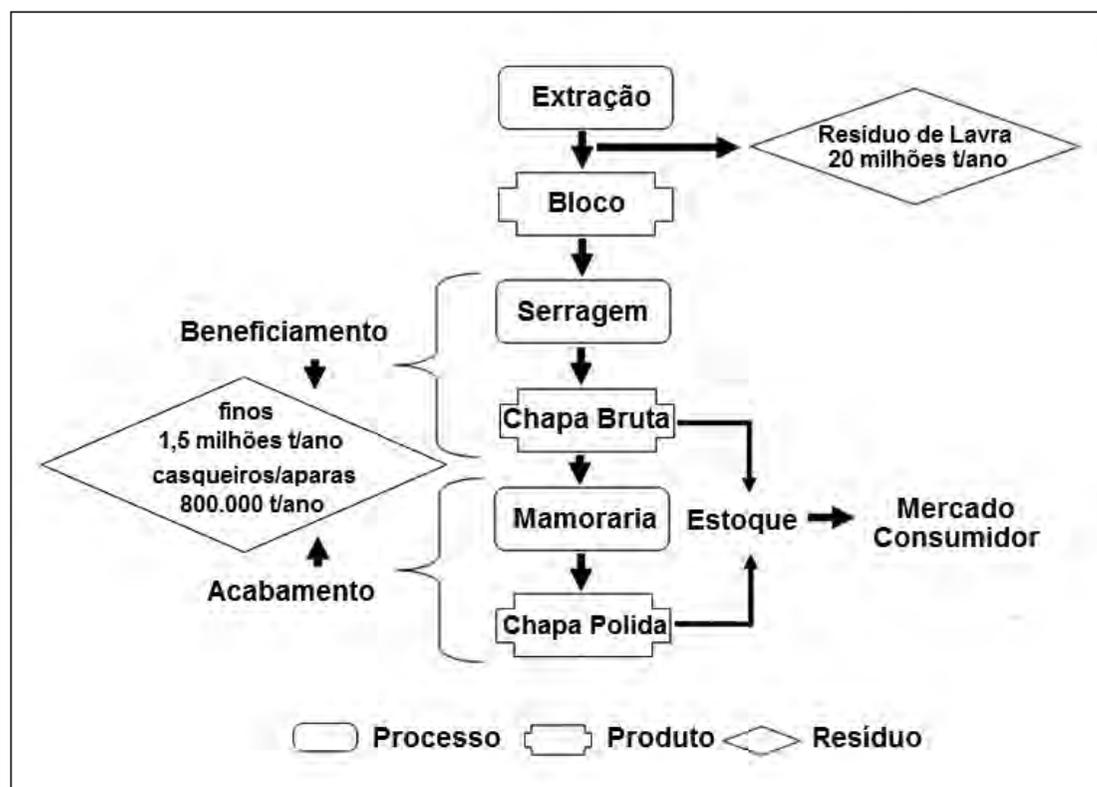


Figura 2 - Resíduos da produção de rochas ornamentais. Elaboração dos autores.

Minimizar impactos ambientais, como a minimização da produção de resíduos, e maximizar o uso dos recursos naturais não renováveis são diretrizes das sociedades modernas, já engajadas na busca do desenvolvimento sustentável. Por isso, em todos os países e, particularmente, no Brasil tanto a legislação ambiental, quanto a Política Nacional de Resíduos Sólidos, requerem que sejam buscadas soluções técnicas para o aproveitamento desses resíduos.

Na Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estes passam a ser definidos como todos os materiais resultantes de atividades humanas em sociedade cuja destinação final não seja seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, exigindo, portanto, soluções técnicas e o gerenciamento para a sua destinação final ambientalmente adequada. Os rejeitos, por sua vez, são todos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (a exemplo dos aterros).

Diversas alternativas para a utilização dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais vêm sendo estudadas. Além do aproveitamento dos estoques remanescentes, de forma direta, nas pedreiras, na forma de artesanato ou elementos de construção civil, muitos estudos buscam encontrar a viabilidade técnica e econômica de transformar os resíduos finos da serragem em insumos para setores industriais como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, indústria cimenteira e de argamassa para construção civil e a própria indústria de rochas ornamentais e de revestimento (uso em mosaicos e listelos, entre outros).

O presente capítulo aborda exclusivamente os resíduos derivados da rocha (finos ou grossos) por serem os mais importantes em termos quantitativos dentre todos os resíduos (fragmentos de rocha, pó de rocha, lama, restos de aço, plásticos, graxas, papelão, óleos, resinas... etc.) gerados na produção de rochas ornamentais e de revestimento. Trata das técnicas passíveis de serem aplicadas no tratamento desses resíduos, dos setores de aplicação e dos estudos desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Mineral, voltados para seu aproveitamento, de modo a projetar futuros usos e sua valorização.

2. Resíduos da cadeia produtiva

Os resíduos gerados na lavra e beneficiamento de rochas ornamentais representam perdas de matéria-prima que são da ordem de 83%. Para produzir 330 m² de chapas (média obtida de um bloco de 10 m³), são extraídos, em média, 30 m³ de rocha do maciço. Desses, 20 m³ ficam na pedreira na forma de resíduos. A maioria deles são grossos, normalmente blocos fora de padrão, irregulares e com defeitos, pedaços de blocos, lascas de rochas e casqueiros do aparelhamento dos blocos que se constituem em estoques remanescentes, pois podem ter utilização direta na produção de chapas ou ladrilhos de menor valor ou de outras peças estruturais ou decorativas (Fig. 3).



Figura 3 - Estoques de blocos e pedaços. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Algumas dessas perdas são inevitáveis, pois estão ligadas à natureza (qualidade) das rochas ou às próprias características do jazimento e ao processo de corte. No entanto, podem ser diminuídas melhorando o conhecimento do depósito e o planejamento da lavra e, principalmente, com a valorização dos resíduos gerados transformando-os em subprodutos. Embora a prática de aproveitamento dos resíduos grossos não esteja muito difundida nas empresas, já há diversos exemplos de utilização, como pode se ver na figura 4, onde blocos fora de padrão são utilizados na construção de pontes. Na região de Santo Antônio de Pádua, no noroeste do estado do Rio de Janeiro, as aparas dos gnaisses ali produzidos são transformadas em areia artificial e em finos que se juntam aos resíduos finos das serrarias, na produção de argamassa.



Figura 4 - Ponte construída com blocos residuais em Jerônimo Monteiro. Foto: Mario César Cunha Fialho (Prefeitura Municipal de Jerônimo Monteiro), 2011.

Na transformação do bloco (volume médio 10 m^3) em chapas, na serraria, perdem-se ainda $1,5 \text{ m}^3$ nos casqueiros e aparas e $2,6 \text{ m}^3$ em finos do corte. Ou seja, dos 30 m^3 de rocha extraídos do maciço, em média, apenas seis são efetivamente transformados em chapas.

Nas serrarias são gerados resíduos que variam muito em termos de granulometria: grossos ($>2 \text{ mm}$) dos casqueiros e aparas, finos ($2-0,075 \text{ mm}$) e ultrafinos ($<0,075 \text{ mm}$) do corte e polimento das chapas. Esses resíduos, ainda, são de composição mineralógica diversa, dependendo dos tipos de rochas beneficiadas.

Os resíduos finos e ultrafinos são gerados como efluentes, em forma de lama, já que o processo de beneficiamento é realizado a úmido, motivo pelo qual as unidades de beneficiamento de rochas ornamentais contam com sistemas de separação sólido-líquido, recirculando entre 70 e 95% da água utilizada no processo.

A maior parte da lama é proveniente dos teares convencionais, constituída por 67% de água, 30% de pó de rocha, 2% de granalha, 1% de resíduos de lâmina de aço e 1% de cal, em peso. Estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrado. No entanto, como as indústrias não costumam separar os resíduos por processo (serragem e polimento), misturando todos eles, a lama final pode conter, ainda, outros produtos químicos, provenientes das etapas de polimento e resinagem das chapas, no beneficiamento secundário. No polimento são gerados em torno de 3,5 kg de lama por metro quadrado de chapa (ou 100 kg/m³ de bloco). Da mesma forma, o resíduo do corte dos blocos em teares diamantados também é misturado aos dos convencionais, embora seja constituído praticamente só de pó de rocha e água.

A explosão da produção de rochas ornamentais, na década de 1990, com o conseqüente aumento de unidades de beneficiamento, especialmente no estado do Espírito Santo, revelou o problema ambiental do despejo direto dos efluentes das serrarias nos cursos d'água próximos. Consideradas como potenciais poluidoras, o Instituto Estadual de Meio Ambiente, regulamentou o licenciamento ambiental das serrarias por meio da Instrução Normativa IN 19/2005, dando especial ênfase ao tratamento desses efluentes, com recirculação da água e disposição dos sólidos, não perigosos, mas não inertes, em aterros.

Diversos estudos classificaram os resíduos como não inertes. Em um mais recente, Buzzi (2008) analisou 70 amostras de lama de empresas de beneficiamento de rochas ornamentais, classificando 77% delas como, Resíduo Classe II A – Não Inerte, segundo a NBR 10.004, devido a teores de Al, Ba, Cd, Pb, Cl-, Cr, fenol, Fe, F-, Hg, Ag, Na e SO₄. Em análises recentes realizadas pelo CETEM também atestaram conteúdo em alumínio e fenóis totais fora dos limites estabelecidos pela legislação em algumas das amostras classificadas.

Com a IN19/2005, as empresas começaram então a instalar sistemas de tratamento de efluentes, principalmente de separação sólido-líquido, e recircular a água no processo. Porém, devido à grande quantidade de lama gerada, muitas não dispunham de áreas suficientes para essa disposição o que impedia que obtivessem ou renovassem a licença de operação para sua atividade, motivo pelo qual tiveram que destinar áreas de terreno fora das suas indústrias para a construção dos aterros de lama, muitas vezes em associação com outras empresas. Isso acabou abrindo as portas para a construção de vários aterros licenciados de deposição da lama (GODOI, 2009). Um exemplo disso é o aterro da Associação Ambiental Monte Líbano (Fig. 5), em Cachoeiro de Itapemirim, onde cerca de 60 empresas depositaram, em 2012, 137.552 toneladas de finos (lama seca) e 27.737 toneladas de lama líquida. A lama líquida ou resíduos finos com alto teor de umidade é tratada em tanque de decantação e filtro prensa, para eliminar a água e depositar a lama já seca nas células do aterro. A água separada é retornada à empresa geradora da lama líquida. Já, na região norte do Espírito Santo, os produtores contam com a Central de Tratamento de Resíduos de Nova Venécia, com mais de 20 associados. Atualmente, no Estado do Espírito Santo, o principal destino dado para a lama abrasiva são os aterros industriais de terceiros e, hoje, o estado conta com 43 aterros licenciados (FRAMIL, 2013).

O licenciamento desses aterros é regulamentado pela Instrução Normativa – IN 12/2007, que estabelece que “o volume de resíduos a ser disposto deverá garantir uma vida útil mínima de seis anos ao aterro e que os resíduos só poderão ser depositados com taxa de umidade igual ou inferior a 30%, classificados previamente ao seu recebimento e monitorados segundo a norma NBR 10.004 ou outra que seja adotada pelo órgão gestor”.

Seguindo a tendência mundial de utilização de tecnologias mais limpas, espera-se, em um futuro próximo, que o problema dos resíduos finos do beneficiamento seja minimizado pela rápida expansão da tecnologia dos teares de fios diamantados (multifio). Seus resíduos, constituídos

somente de pó de rocha e água, têm maiores possibilidades de utilização por não conterem elementos metálicos nem químicos derivados do processo de beneficiamento. Diversas empresas já instalaram teares multifio nas pedreiras e estocam seu resíduo para utilização industrial, considerando-o matéria-prima. Diminui-se, assim, a geração de resíduos nas unidades de beneficiamento, além dos custos de transporte.



Figura 5 - Célula de deposição de finos de beneficiamento, do aterro da Associação Ambiental Monte Líbano, em Cachoeiro de Itapemirim (ES). Foto: AAMOL, 2013.

Apesar da variabilidade de sua composição, muitos trabalhos de pesquisa, ao redor do mundo, demonstraram a viabilidade técnica de sua utilização industrial. De fato, os resíduos grossos podem ser utilizados na construção civil, em obras de entroncamentos, pavimentação, meio fio, mosaico e muitos outros elementos ou peças estruturais e decorativas. Se cominuídos, os resíduos podem ser utilizados na produção de brita, areia artificial, argamassa, pavimentos e outros. Os finos podem ser beneficiados e utilizados, por exemplo, nas indústrias de cerâmica, de borracha, de plásticos, tintas, argamassas, manilhas, mourões, pré-moldados, indústria de cimento, agricultura etc., além das outras utilizações acima mencionadas para os grossos. Os contaminantes metálicos (ferro) podem ser direcionados para a metalurgia. Todas estas aplicações vão depender, principalmente, dos diferentes tipos de rochas que deram origem a esses resíduos, conferindo aos mesmos suas composições mineralógicas e suas características físicas e químicas.

Apesar da existência das várias possibilidades de aplicação industrial dos resíduos de rochas ornamentais, a utilização dos mesmos ainda é incipiente, se comparado com o passivo ambiental existente e com a quantidade que é produzida, no dia a dia das empresas.

Alguns projetos recentemente desenvolvidos no CETEM, referentes ao aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais, têm mostrado que é possível transformar rejeitos, que antes poluíam

o meio ambiente, em resíduos aproveitáveis, ou subprodutos de aplicação industrial, dando retorno econômico aos investimentos realizados e atenuando impactos ambientais, com geração de empregos e renda para as comunidades vizinhas. São os casos da fábrica de argamassas implantada em Santo Antonio de Pádua – RJ, que aproveita os resíduos (finos de serragem de rocha e aparas) gerados nas serrarias de rochas ornamentais da região e a usina piloto implantada em Várzea – PB, para o aproveitamento de resíduos de quartzito da região, também na fabricação de argamassas e outros produtos. Esses trabalhos são apresentados no final do capítulo. Outros órgãos de pesquisa ou empresas têm conseguido resultados similares, como a AAMOL que acaba de apresentar o projeto de instalação de uma fábrica de argamassa para a utilização dos finos de seu aterro.

3. Tratamento dos resíduos

As técnicas a serem aplicadas no tratamento dos resíduos de rochas ornamentais vão depender da forma como esses resíduos se apresentam: se na forma de resíduos sólidos secos (grossos e finos) ou na forma de efluente (lama). Seu aproveitamento pode ser feito de forma direta (sem nenhum tratamento) ou precisará passar por algum tratamento, visando melhorar suas qualidades para a aplicação industrial que se deseja. Esse tratamento é realizado por meio de operações unitárias normalmente utilizadas no beneficiamento de minérios como britagem, moagem, peneiramento, classificação e concentração.

Quando o resíduo estiver na forma de efluente, o tratamento inicia-se com a realização de operações de desaguamento (separação sólido-líquido) resultando em material sólido seco e água que pode ser recirculada, como se detalha no item 4, deste capítulo.

3.1. Cominuição ou fragmentação

Por meio da cominuição, os resíduos grossos, como matacões de rochas, pedaços de blocos, blocos fora de padrão, casqueiros e aparas de serrarias etc., podem ser transformados em bens vendáveis como britas, areia artificial e material fino para diversas aplicações industriais.

A cominuição é realizada em equipamentos denominados britadores e moinhos. Entre os britadores, podem ser citados os britadores de mandíbulas, giratórios, cônicos de redução, britadores de impacto, britadores de rolos, de eixo vertical (tipo Barmac). Entre os moinhos podem ser citados os moinhos de bolas e de martelos.

Dos equipamentos acima citados, os mais utilizados para cominuição de resíduos de rocha são: britadores de mandíbulas, moinho de martelos e moinho de bolas. Os britadores cônicos e de eixo vertical (Barmac) são apropriados para produção de areia artificial, principalmente o último, apesar de ainda ser pouco utilizado. O moinho de martelos e o moinho de bolas são utilizados para a produção de finos (pó) para diferentes setores da indústria (construção civil, cerâmica, tintas e outros).

Britadores de mandíbulas

O britador de mandíbulas é muito utilizado no primeiro estágio de redução de tamanho (britagem primária), para fragmentos de maiores dimensões. Existem dois tipos principais de britadores de mandíbulas, que são os britadores de um eixo (tipo universal) e de dois eixos, tipo Blake (Fig. 6).

Em ambos os tipos, uma das mandíbulas é móvel e a outra é fixa. A mandíbula móvel realiza um movimento excêntrico esmagando o material alimentado contra a outra, que permanece fixa.

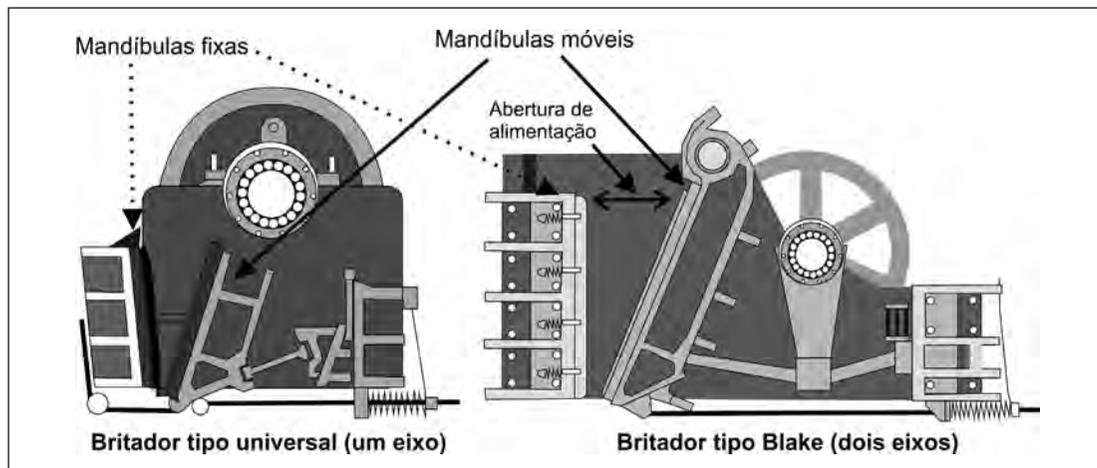


Figura 6 - Britadores de mandíbulas. Modificado de METSO, 2013.

Esse tipo de britador é especificado pelas dimensões da sua boca de alimentação. Exemplo: britador 4" x 6" (largura de 4 polegadas e comprimento de 6). A abertura da boca do britador deve ser, pelo menos, 20% maior que o tamanho da granulometria de alimentação, para evitar congestionamentos de material.

Moinho de martelos

Este tipo de moinho é utilizado na indústria para cominuição fina de resíduos destinados à produção de argamassa, pré-moldados, brita fina e outros, de utilização na indústria da construção civil.

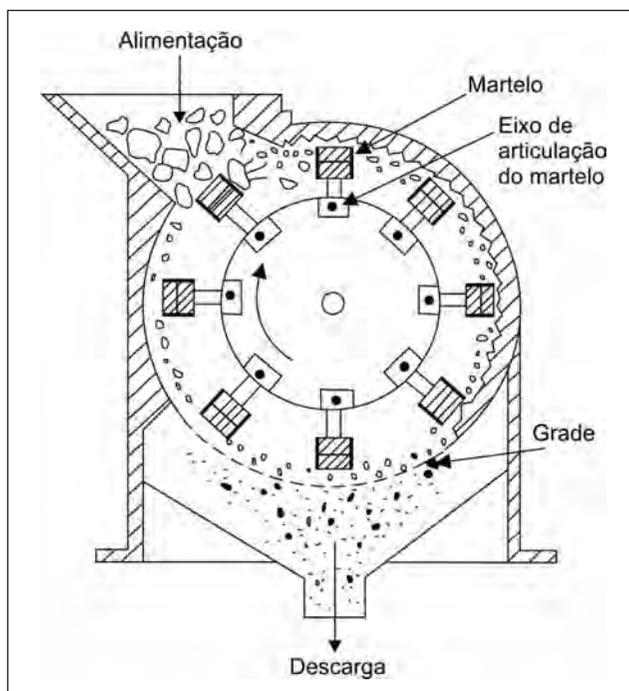


Figura 7 - Moinho de martelos. Extraído de Luz, 2010.

O moinho de martelos consiste de um eixo girando em alta rotação, no qual ficam presos, de forma articulada, os martelos ou blocos. A figura 7 mostra o esquema de funcionamento do moinho de martelos. O material é alimentado pela parte superior, sofre o impacto dos martelos e é projetado contra a superfície interna da câmara. O material vai sendo fragmentado até passar pela tela inferior (grade) que vai bitolar o tamanho de descarga.

O moinho de martelos normalmente trabalha em conjunto com peneiras e classificador pneumático (ciclone), para classificação dos produtos da moagem.

3.2. Peneiramento

O peneiramento tem como principal objetivo o desdobramento de um material granular em duas ou mais frações de tamanhos distintos. No peneiramento, a separação das partículas é feita exclusivamente segundo o tamanho das partículas, mediante o uso de uma peneira. A fração granulométrica mais grossa, de tamanho superior à abertura da peneira (malha), é denominada de retido ou *oversize*. A fração mais fina que passou pela malha da peneira é denominada passante ou *undersize* (Fig. 8).

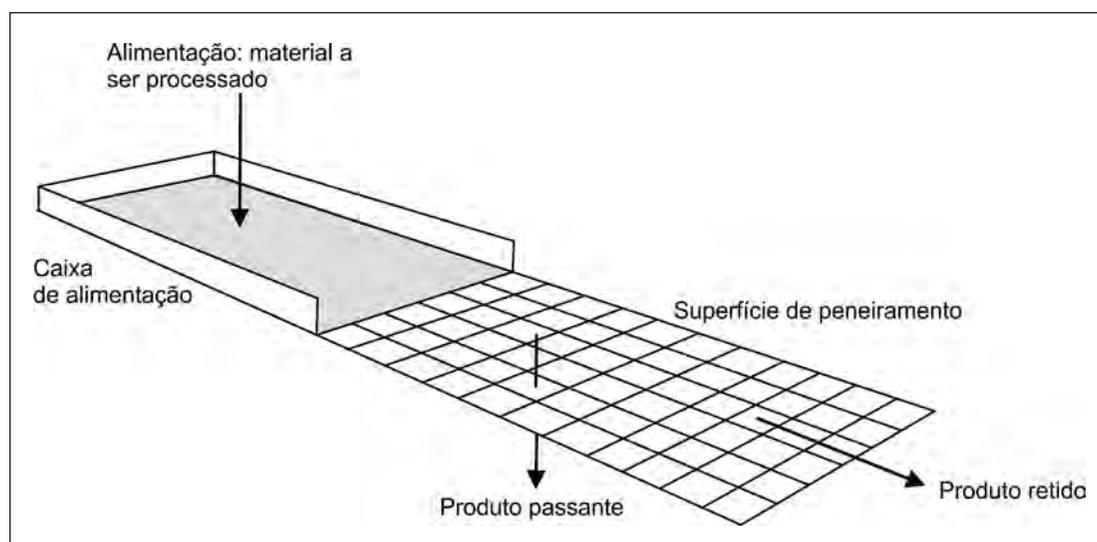


Figura 8 - Esquema de peneiramento. Modificado de METSO, 2005.

Os principais fatores que influenciam na eficiência de um peneiramento são: tipo de superfície de peneiramento; umidade do material; forma da partícula; espessura da camada de material sobre a superfície; e ângulo de incidência da partícula na tela da peneira.

Os equipamentos industriais de peneiramento dividem-se, basicamente, em duas categorias:

- Estacionários ou Fixos: grelha fixa, peneiras tipo DSM.
- Móveis: grelha móvel, peneira rotativa (trommel) e peneira vibratória.

Nos equipamentos estacionários ou fixos, a única força atuante no peneiramento é a da gravidade e, por isso, essas peneiras têm sempre a superfície de peneiramento inclinada. Neste capítulo, serão descritas: a grelha fixa, a grelha móvel, a peneira rotativa e a peneira vibratória.

Grelha fixa

É um equipamento em que a superfície de peneiramento é formada, normalmente, por um conjunto de barras dispostas paralelamente, e inclinadas 35° a 45° na direção do fluxo (Fig. 9).

É um equipamento robusto utilizado em circuitos de britagem. É colocado antes da alimentação do britador primário, visando reter peças metálicas ou de rochas, com dimensões maiores que a boca do britador, que poderiam causar obstrução do mesmo.

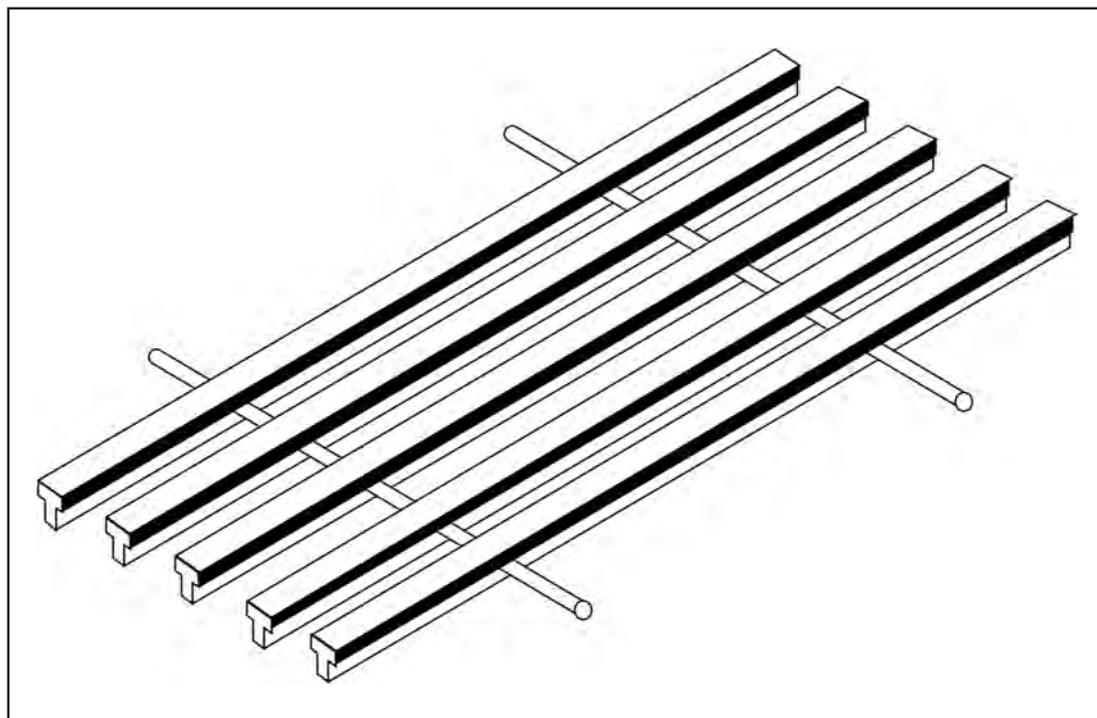


Figura 9 - Grelha fixa. Modificado de Luz, 2010.

Grelha móvel

Este tipo de grelha é semelhante à grelha fixa, porém a superfície de peneiramento está sujeita a vibração, aumentando sua eficiência em relação àquela.

Peneira rotativa (Trommel)

A superfície deste tipo de peneira, também conhecida como trommel, é cilíndrica ou ligeiramente cônica e movimenta-se por rotação em torno de seu eixo longitudinal. A superfície é feita de chapa perfurada ou de tela.

O eixo da peneira tem uma inclinação que varia de 4° a 10°, dependendo tipo de material a ser peneirado. A velocidade de rotação da peneira varia entre 35% e 40% da velocidade crítica, que é a velocidade mínima para a qual a força centrífuga mantém as partículas coladas na superfície cilíndrica.

O equipamento pode ser constituído de uma peneira ou duas em série, ou concêntricas, como mostra a figura 10.

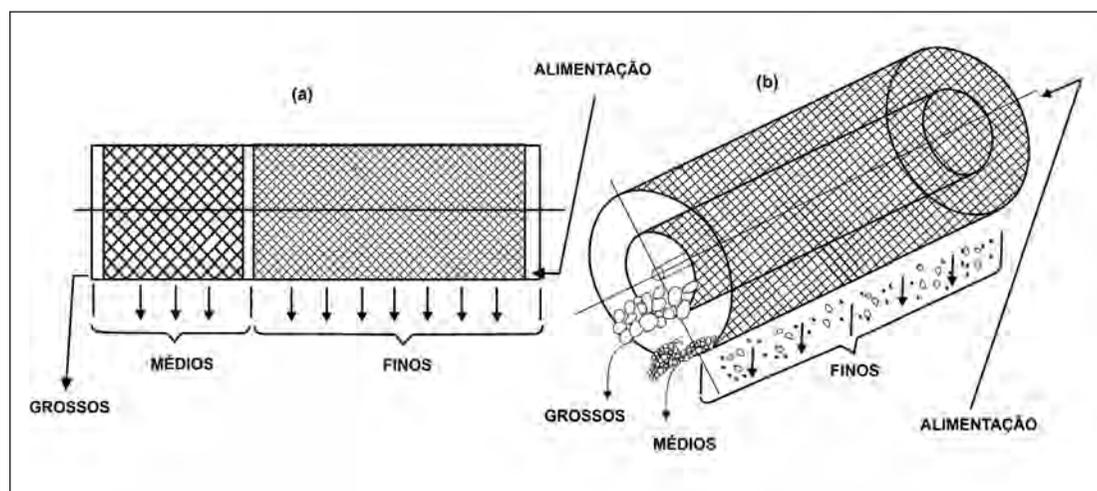


Figura 10 - Sistemas de colocação de telas em peneiras rotativas, em série (a) e concêntricas (b). Modificado de Luz, 2010.

A peneira rotativa é muito utilizada em pequenas empresas, no peneiramento de resíduos, lavagem de cascalhos e areias, e em minerações de ouro, diamante e cassiterita (CORREIA, 2010). Atualmente este tipo de peneira tem sido substituído por peneiras vibratórias, que têm maior capacidade e eficiência. Por outro lado, a peneira tipo trommel é de fácil construção.

Peneiras vibratórias

São os equipamentos de peneiramento mais conhecidos e de uso mais frequente em mineração. São largamente empregadas nas operações de britagem, seja na graduação de um produto final ou na preparação de minério para as próximas etapas de tratamento ou processo. Mediante mecanismos de acionamento, imprime-se na superfície de peneiramento movimento circular, elíptico ou linear. As peneiras vibratórias podem ser inclinadas, horizontais, de alta e baixa frequência e alta e baixa amplitude de vibração. A inclinação nas peneiras varia entre 15° e 35°. As superfícies de peneiramento (decks) podem ser constituídas de barras paralelas, chapa perfurada ou fios trançados (tela metálica), sendo este último tipo o mais utilizado. Recentemente, telas de material sintético (poliuretano) também têm sido utilizadas.

As peneiras vibratórias podem possuir uma ou mais superfícies de peneiramento (decks). São utilizadas para peneiramento de grossos e finos, sendo mais utilizadas para peneiramento de grossos, em circuitos de britagem, como mencionado. A figura 11 mostra uma peneira vibratória inclinada, constituída de três superfícies de peneiramento, que fornece quatro produtos granulométricos.

Na figura 11, podem ser vistas as superfícies de peneiramento e as molas que conduzem a vibração provocada, por um eixo excêntrico ou came, às superfícies de peneiramento. As peneiras vibratórias podem funcionar tanto a seco como a úmido. A carcaça é feita de aço e as peneiras podem ser de tela metálica ou de um plástico especial, onde os furos podem ser circulares, malha quadrada ou retangular (CHAVES; PERES, 1999).

Nos circuitos de britagem, a peneira é colocada logo após o britador, com a função de classificar granulometricamente o produto que sai do mesmo. O material que não passa na peneira (retido) retorna ao britador, constituindo a chamada carga circulante.

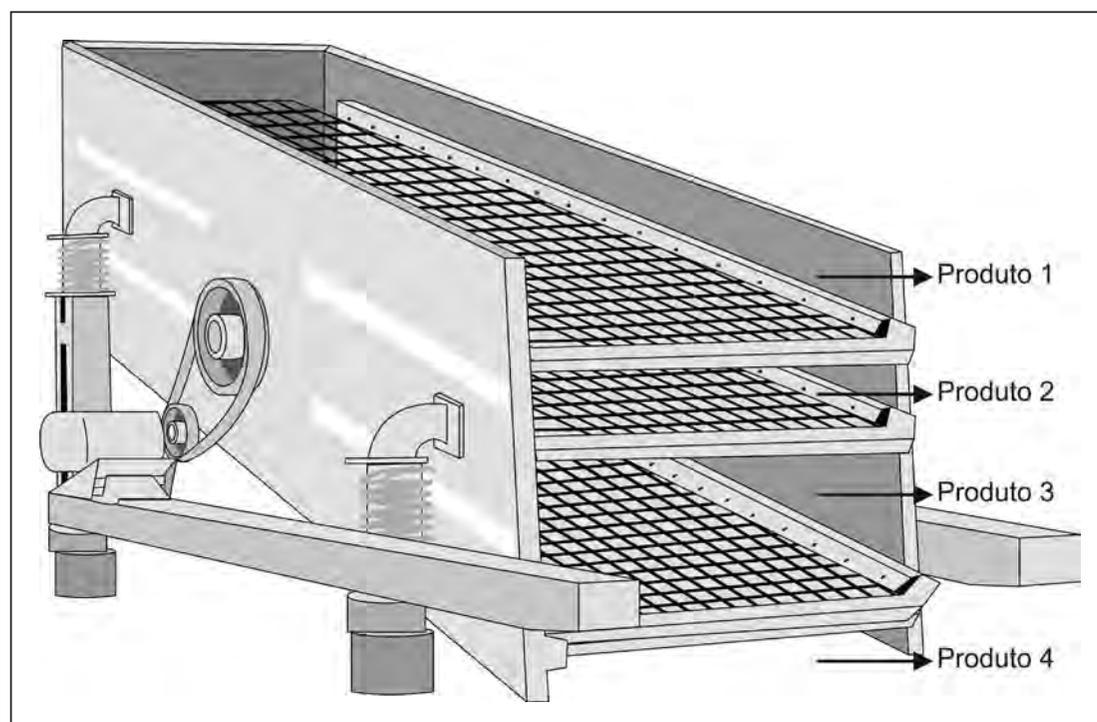


Figura 11 - Esquema de peneira vibratória. CETEM/MCTI, 2013.

3.3. Classificação

A classificação é a separação de partículas, por tamanho, realizada em meio fluido. É muito utilizada para classificar material de granulometria fina. Diversos tipos de força atuam nos vários métodos de classificação. A gravidade (peso da partícula) age, principalmente, no caso da classificação por sedimentação. Na classificação em ciclones a força centrífuga é mais importante. Os equipamentos de classificação são denominados classificadores.

Dois tipos de classificadores que poderão ser utilizados no tratamento de resíduos finos e serão abordados neste capítulo são os ciclones e os classificadores espirais (Akins).

Ciclones

Os ciclones são equipamentos muito utilizados para classificação de sólidos finos que se encontram em suspensão em um fluido. Os ciclones funcionam a seco e a úmido. Os ciclones a seco são utilizados em circuitos fechados de moagem a seco, na produção de material fino e ultrafino (pó). O material de granulometria mais fina sai na parte superior do equipamento, e o material de granulometria mais grossa sai na parte inferior do mesmo. Os ciclones que funcionam a úmido são chamados hidrociclones e são os mais utilizados na indústria mineral.

Hidrociclones

A Figura 12 mostra um hidrociclone e as principais partes que o compõem. Ele possui três orifícios: o da entrada da alimentação (injetor) e dois para as saídas dos produtos, o *vortex finder* e o *apex* (CORREIA, 2010).

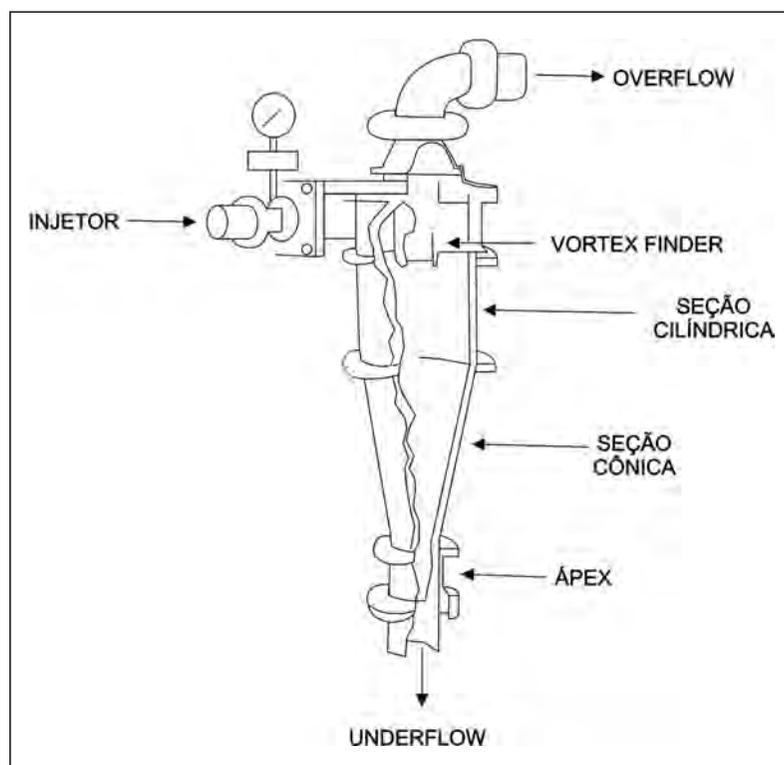


Figura 12 - Hidrociclone e as partes que o compõem. Modificado de Luz, 2010.

Os hidrociclones são constituídos, basicamente, de duas partes: uma cilíndrica e uma cônica. O ângulo da parte cônica varia de 10° a 20° . A alimentação entra no hidrociclone de forma tangencial e sob pressão. Essa forma de alimentação provoca um movimento helicoidal descendente (*vórtex* externo). Nesse movimento, as partículas mais grossas, pela ação da força centrífuga, são projetadas em direção à parede interna do mesmo e são conduzidas ao fundo do equipamento (*apex*) por onde são descarregadas (*underflow*). Por sua vez, esse movimento descendente da polpa, provoca outro movimento helicoidal ascendente interno (*vortex* interno), que carrega as partículas finas que estão na região central do equipamento e são descarregadas pelo orifício *vortex finder* (*overflow*), realizando, assim, a classificação.

Na indústria de rochas ornamentais o hidrociclone é utilizado na classificação da mistura abrasiva circulante nos teares durante a serragem dos blocos, realizando a separação da granalha ativa (mais grossa), que sai no *underflow* e retorna aos teares, daquela que será descartada no *overflow* por não ter mais poder de corte (Fig. 13).

O tamanho crítico de descarte da granalha é, tradicionalmente, 0,4 mm, mas pode chegar até 0,2 mm no caso de utilização de granalhas finas.

Quando o tamanho crítico é alcançado, a granalha inativa é retirada do circuito na mistura contendo também pó de rocha, água, e cal (ou bentonita), que sai pelo orifício *vortex finder* do ciclone (*overflow*), no processo conhecido como “expurgo” na indústria.

Essa lama descarregada dos teares, estimada pela AAMOL em 2,2 toneladas por m^3 serrado, constitui a maior parte da “lama abrasiva”, principal resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. O hidrociclone também é conhecido na indústria como “recuperador de granalha”, “separador de granalha” ou, simplesmente, “ciclone”.

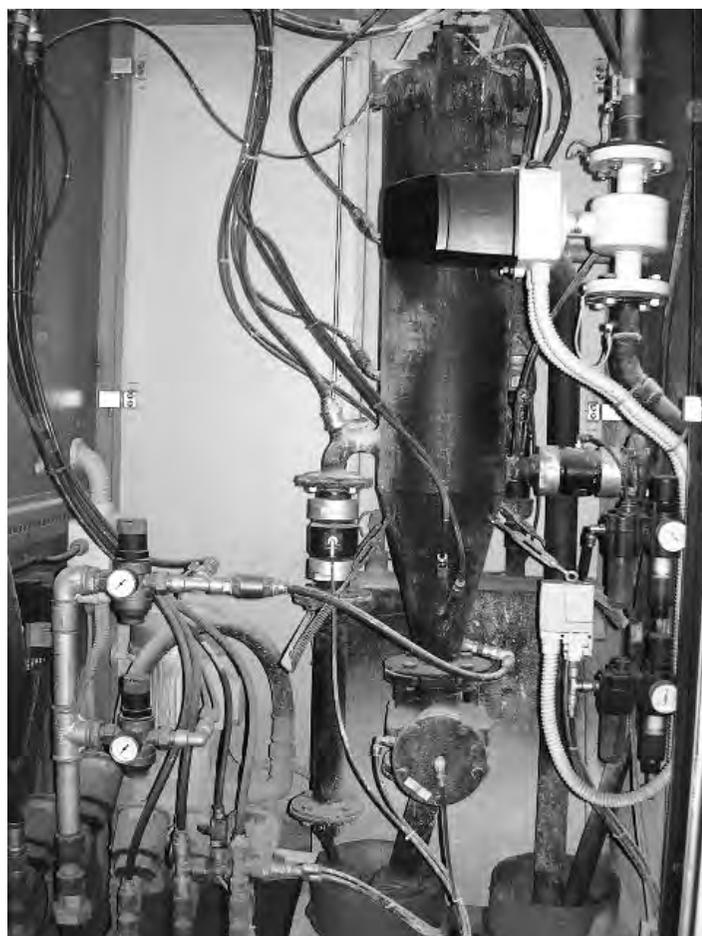


Figura 13 - Hidrociclone de tear convencional.
Foto: CETEM/MCTI, 2003.

São vários os fatores que influenciam na classificação de finos em hidrociclones. Entre estes, podem ser mencionados aqueles referentes à natureza do material sólido, que são o tamanho relativo das partículas e seus pesos específicos (densidade), e outros referentes às dimensões e formato do equipamento. Para cortes finos utilizam-se hidrociclones de menor diâmetro, e para cortes mais grossos utilizam-se diâmetros maiores. Entende-se por corte a granulometria de classificação. Dependendo dos ajustes das suas variáveis operacionais, os hidrociclones podem ser utilizados, também, em operações de espessamento e deslamagem de polpas, em circuitos de flotação.

Classificador espiral

Os classificadores espirais (Fig. 14) são constituídos, basicamente, de uma calha semicircular, dentro da qual se encontra um eixo envolvido por hélices (fita helicoidal). Na parte baixa da inclinação da espiral se encontra a bacia de decantação. É nesta bacia que a classificação se realiza. Quando em operação, as hélices, acopladas ao eixo, giram lentamente, mantendo as partículas da polpa em suspensão na bacia de decantação. A polpa é alimentada na bacia de decantação do classificador (parte inferior). As partículas grossas da polpa alimentada sedimentam no fundo da bacia de decantação, e são transportadas pelas hélices (fita helicoidal) para a parte superior da calha de onde são descarregadas (*underflow*).

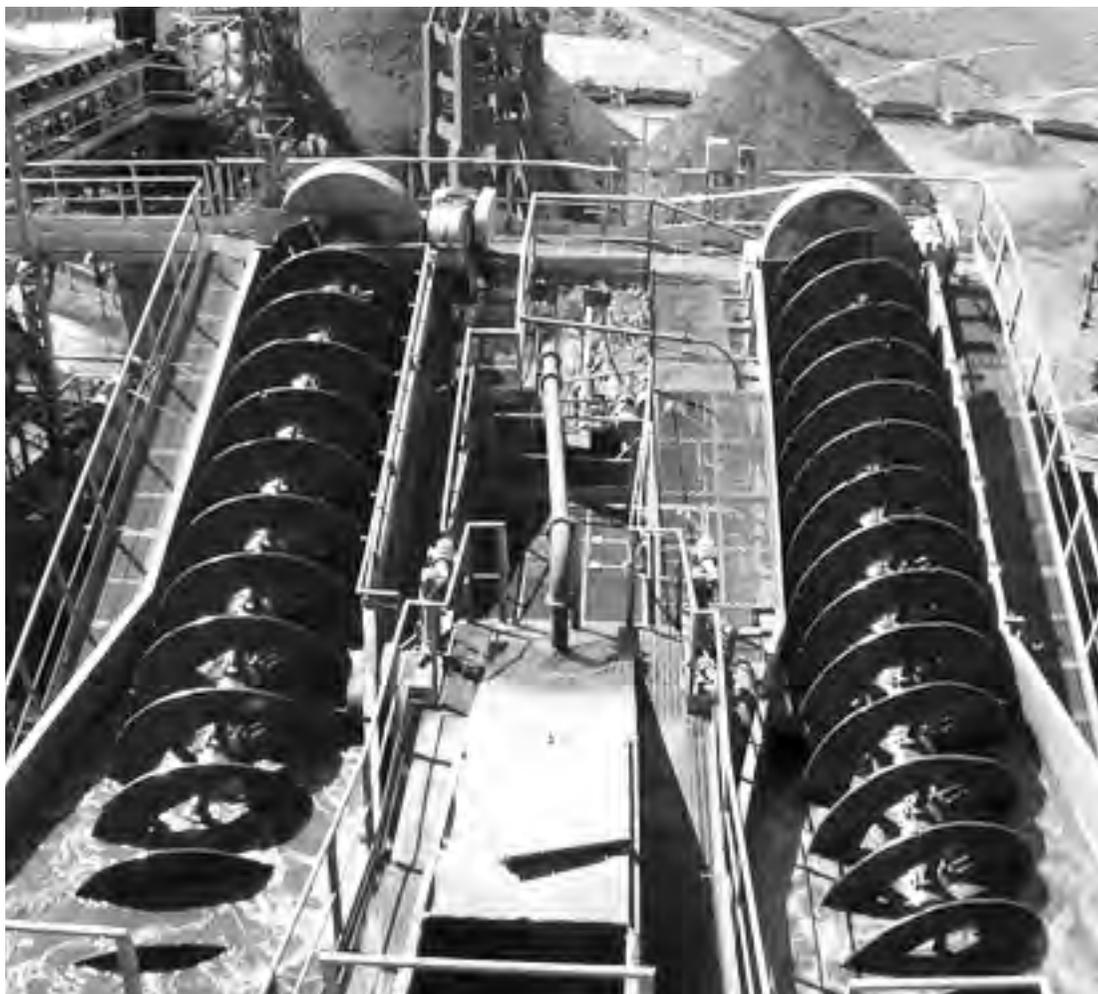


Figura 14 - Classificador de espiral. Extraído de Macdarma, 2013.

As partículas finas, de granulometria desejada, saem por transbordamento, por uma soleira localizada na parte frontal da bacia de decantação (*overflow*). As variáveis operacionais de um classificador são: altura da soleira da bacia de sedimentação; diluição da polpa na bacia de sedimentação; velocidade de revolvimento ou de arraste da hélice; e inclinação da calha.

Com as regulagens das variáveis operacionais do classificador pode-se obter a classificação granulométrica desejada.

Esses classificadores trabalham na faixa granulométrica entre as peneiras de 20 a 200 malhas por polegada quadrada, da série Tyler (costuma-se abreviar e dizer de 20 a 200 malhas) que correspondem a 0,833 e 0,074 mm, respectivamente. Comercialmente, são caracterizados pelo diâmetro das hélices.

Por ter uma mecânica mais simples e pelo seu menor preço, este tipo de classificador tem mais aceitação no mercado que outros classificadores similares, como o classificador de arraste. São os mais utilizados em usinas de pequena capacidade. Em instalações de grande porte usam-se mais os hidrociclones, devido a maior capacidade e a versatilidade destes.

O classificador espiral pode ser usado na lavagem de areias ou em pedreiras de brita, para tratar o *underflow* de hidrociclone, visando a lavagem desse *underflow*.

3.4. Concentração

A concentração é a separação dos minerais com base nas diferenças entre suas propriedades físicas e físico-químicas. Entre estas propriedades as mais utilizadas na separação dos minerais são: densidade (separação gravítica, que realiza a separação dos minerais pelas diferenças de densidades); propriedades magnéticas (separação magnética, que realiza a separação dos minerais pelas diferenças das suas propriedades magnéticas); propriedades elétricas (separação eletrostática); química de superfície (flotação) etc. Dentre esses diferentes tipos de concentração de minerais, neste capítulo serão considerados alguns métodos de concentração gravítica (espirais concentradoras e mesas oscilatórias), separação magnética e flotação, que são mais passíveis de serem utilizados no tratamento de diferentes tipos de resíduos da indústria de rochas ornamentais.

Espirais concentradoras

A espiral concentradora consiste de uma calha helicoidal, de seção transversal semicircular, desenvolvida helicoidalmente em torno de um eixo (tubo central) vertical. Entre as espirais concentradoras, a mais tradicional é a espiral de Humphreys (Fig. 15).

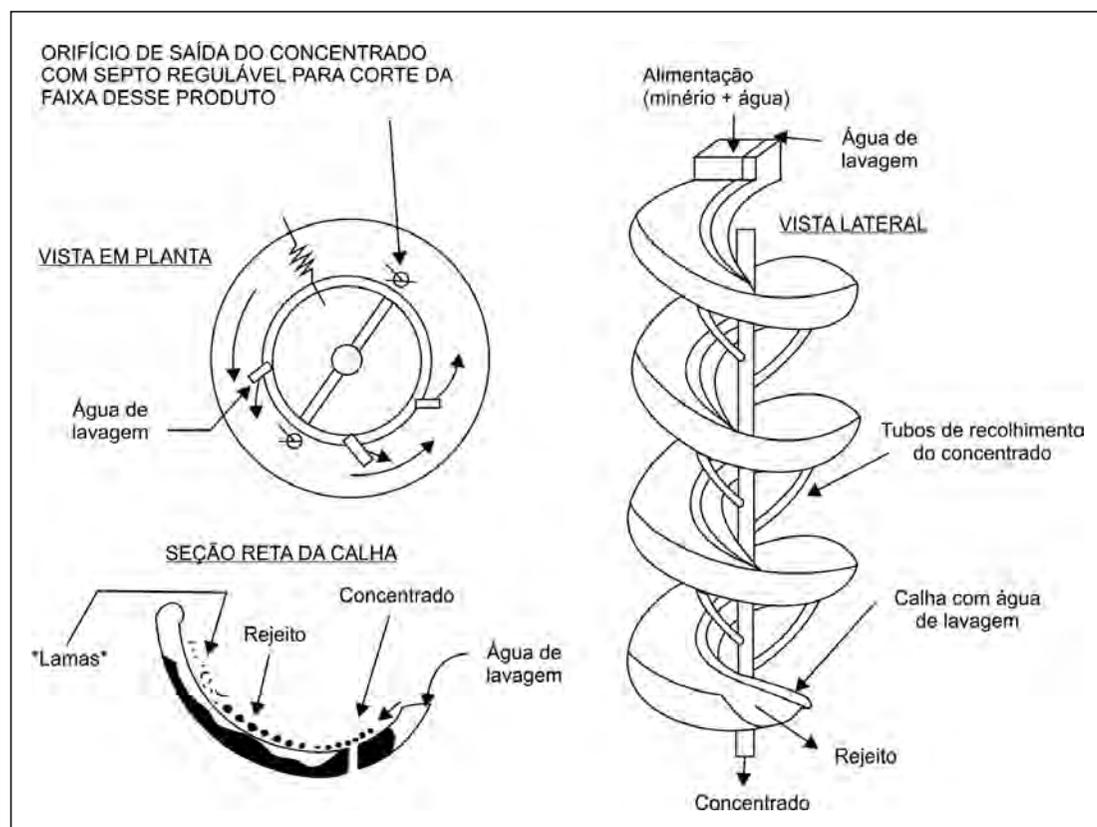


Figura 15 - Espiral Concentradora tipo Humphreys. Extraído de Luz, 2010.

A parte da direita da figura mostra o perfil da espiral, o ponto de alimentação da polpa no equipamento e da água de lavagem; os tubos de recolhimento dos minerais pesados (concentrado); o tubo coletor central que recebe os minerais pesados que saem pelos orifícios existentes no fundo da calha; a calha da água de lavagem e as saídas dos produtos: concentrado e rejeito. A parte da esquerda mostra a espiral vista em planta e a seção reta da calha, com a distribuição dos produtos, por tamanho e densidade, na mesma (concentrado, rejeito e lamas); a água de lavagem e as aberturas reguláveis existentes no fundo da calha por onde saem os minerais pesados e entram no tubo coletor central (eixo central).

A espiral concentradora é um equipamento de concentração gravítica, em que a propriedade diferenciadora utilizada na separação dos minerais é a densidade. Portanto, nesse equipamento, os minerais vão ser separados principalmente pelas diferenças de suas densidades.

Existem outros tipos de espirais com características diferentes (largura e passo da espiral, perfil da calha e forma de remoção do concentrado), que são comercializadas conforme o fabricante e o fim a que se destinam, porém o mecanismo de separação é similar.

A alimentação da polpa é feita na parte superior. Na descida da polpa pela calha, as partículas menos densas e mais grossas e a lama são deslocadas para a parte periférica da calha, pela ação da força centrífuga, e saem na extremidade inferior da calha. As partículas mais densas, resistindo melhor à ação da força centrífuga, se deslocam na parte mais interna da calha, e vão sendo coletadas por meio de aberturas reguláveis, localizadas no fundo da calha. Estas aberturas são ligadas por tubos de borracha ao tubo central, que coleta, portanto, os minerais mais densos. Em alguns tipos de espiral concentradora, a separação dos produtos (leves e pesados) pode ser feita também por cortadores localizados no fim do canal da calha, como é o caso da espiral Mark 7 (LINS, 2010).



Figura 16 - Bateria de espirais (esquerda) e detalhe da calha (direita). Fotos: CETEM/MCTI, 2013.

Uma característica comum na operação das espirais é a introdução de água de lavagem após cada abertura de remoção do material pesado, com a finalidade de manter a diluição da polpa e limpar as partículas de minerais pesados dos minerais leves finos.

A granulometria normal de alimentação da espiral de Humphreys está na faixa de 14 a 150 malhas (1,17 a 0,1 mm), podendo-se estender a granulometrias mais grossas, em alguns casos, como

carvões. A espiral Mark 7 foi projetada para operar, com eficiência, na faixa granulométrica de 14 a 325 malhas (1,17 a 0,44 mm). A capacidade de uma espiral é em torno de 2 t/h, semelhante à da mesa oscilatória, porém a espiral ocupa muito menos espaço que a mesa. Na indústria, trabalha-se, normalmente, com vários conjuntos (baterias) de espirais, como mostra a figura 16.

Mesa oscilatória ou vibratória

A mesa oscilatória, também chamada mesa vibratória, é um equipamento de concentração gravítica. As mesas vibratórias funcionam a seco e a úmido. As mais comuns e mais utilizadas são as que trabalham a úmido.

A mesa oscilatória a úmido consiste de uma superfície de madeira, revestida com material de alto coeficiente de fricção (borracha ou plástico). A sua forma é geralmente trapezoidal e é levemente inclinada, no sentido transversal. A superfície (*deck*) é constituída, de uma parte lisa e de outra contendo ressaltos (ripas, *riffles*) colocados paralelamente ao eixo longitudinal da mesa, formando pequenos sulcos entre os riffles. A forma de disposição dos riffles na superfície da mesa caracteriza diferentes tipos de mesa. Os riffles dispostos paralelamente à base da mesa é uma característica da mesa *Wilfley*. Na mesa *Deister Overstrom Diagonal Deck* ou simplesmente mesa Deister, os riffles não são paralelos à borda inferior da mesa. A figura 17 mostra uma mesa oscilatória em operação.



Figura 17 - Mesa oscilatória. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

No escoamento de partículas na lâmina d'água despejada sobre a mesa as partículas são represadas nas paredes dos riffles; as mais pesadas embaixo e as mais leves acima. As partículas leves conseguem transpor esses riffles e acabam saindo, transversalmente, na borda inferior da mesa, enquanto as partículas pesadas caminham entre os riffles, no sentido longitudinal da mesa, até saírem, quase todas, na borda lateral da mesa.

A superfície da mesa tem inclinação regulável, constituindo-se em uma das variáveis operacionais. Esta inclinação varia de 2° a 5°. Outras variáveis operacionais são: taxa de alimentação, % de sólidos na alimentação e vazão da água de lavagem. A granulometria de alimentação é na faixa de 6 a 325 malhas (3,36 a 0,044 mm), dependendo do tipo de minério. Em relação à granulometria de alimentação, existem as mesas para finos (lamas) e para materiais mais grossos. Neste último caso, as alturas dos rifles são maiores, como no caso de carvões.

Separação magnética

Esse tipo de separação pode ser utilizada no beneficiamento de resíduos de rochas ornamentais para a remoção da granalha fina existente na lama abrasiva que é descartada dos teares, diminuindo o teor de ferro da mesma para as aplicações industriais. Pode ser utilizada também na remoção da mica biotita, na flotação de feldspato contido em resíduos de granito. A propriedade diferenciadora em uma separação magnética de minerais é a susceptibilidade magnética desses minerais: muito suscetíveis (ferromagnéticos), pouco suscetíveis (paramagnéticos) e nada suscetíveis (diamagnéticos). Quanto mais próxima for essa suscetibilidade, mais difícil será a separação dos minerais; assim, para separar minerais paramagnéticos de diamagnéticos, por exemplo, será necessário um campo magnético mais intenso.

Um campo magnético pode ser formado, simplesmente, pelo enrolamento de espiras bem próximas e paralelas em volta de um indutor (núcleo de ferro), no qual é passado uma corrente elétrica. Este conjunto, espiras e indutor, representa um eletroímã, em que o campo magnético formado é semelhante ao de um ímã permanente. A separação eletromagnética ganhou grande importância no tratamento de minérios, devido a Wetherill que imaginou um eletroímã com polos talhados em forma de cunha ou bisel (separador de correias cruzadas). Dessa forma, conseguiu-se obter campos magnéticos de mais alta intensidade pela convergência das linhas de força em direção à ponta do bisel. Isto possibilitou condições para separação de vários minerais que antes não era possível.

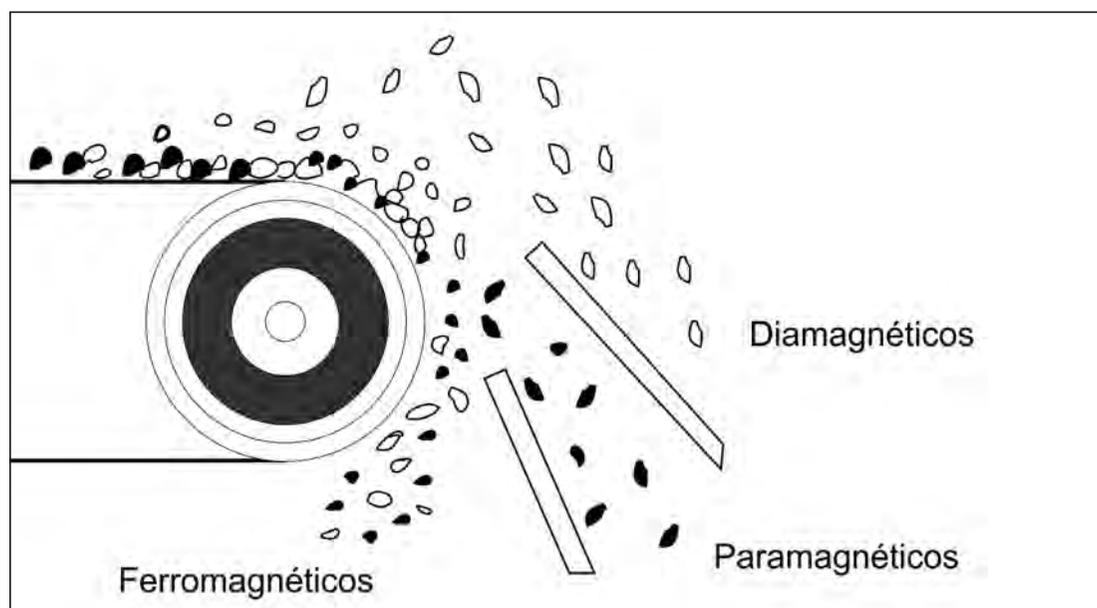


Figura 18 - Trajetórias de minerais ferromagnéticos; paramagnéticos e diamagnéticos, ao passarem por uma polia magnética. Elaborado pelo CETEM/MCTI, 2013.

O esquema da figura 18 mostra, de uma maneira simplificada, como seriam as trajetórias de minerais magnéticos, fracamente magnéticos e diamagnéticos, ao passarem por uma polia magnetizada.

Os separadores magnéticos podem ser classificados em:

- Separadores via seca ou via úmida.
- Separadores de baixa e alta intensidade.
- Separadores de rolos induzidos, de tambor, de correias cruzadas etc., em relação às características mecânicas do equipamento.

A separação a seco, em geral, é mais utilizada para granulometrias mais grossas; e o método a úmido, para granulometrias mais finas. O que inibe um pouco uma maior aplicação desta técnica é o seu custo, que onera o projeto, em alguns casos.

A separação magnética tem dois grandes campos de aplicação na área mineral: na remoção de grandes peças de ferro ou sucatas fortemente magnéticas, agindo, neste caso, como sistema de proteção aos equipamentos de britagem e outros; e na concentração e purificação de vários sistemas minerais, inclusive no tratamento ou purificação de resíduos de rochas ornamentais.

Flotação

A flotação é um método de concentração de finos de minerais, via úmida, que explora as diferenças de características superficiais dos diversos minerais. A granulometria de atuação da flotação é, normalmente, abaixo de 28 malhas (0,59 mm). O processo de flotação consiste, basicamente, em retirar minerais aderidos a bolhas de ar de uma polpa. A figura 19 mostra a interação das três fases coexistentes, ilustrando a adesão de uma bolha de ar a uma superfície mineral, no seio do líquido, bem como a interface formada entre a bolha de ar e a superfície mineral. A tensão superficial líquido gás (Y_{LG}) e tensão superficial sólido/líquido (Y_{SL}) formam um ângulo, que é chamado ângulo de contato. Por meio da medida deste ângulo pode-se avaliar a flotabilidade de um determinado mineral. À medida que esse ângulo aumenta, a interface entre a bolha e superfície do mineral aumenta, aumentando, assim, a adesão partícula/bolha e, conseqüentemente a flotabilidade do mineral. Ao contrário, se esse ângulo diminui, diminui a interface ar/sólido; e se chegar até zero, praticamente não haverá interface entre a bolha de ar e a superfície do mineral, a flotabilidade do mineral é nula, e o mineral não flota.

Minerais hidrofóbicos aderem às bolhas de ar e flutam com maior facilidade que os minerais hidrofílicos e, por isso, utilizam-se diversos reagentes no processo para modificar as propriedades dos minerais que se pretendem separar, já que a maioria deles são naturalmente hidrofílicos. A polpa (água, minerais e reagentes) é mantida em agitação constante de forma a criar bolhas de ar que flotarão os minerais hidrofóbicos.

Os principais reagentes utilizados na flotação atuam de forma seletiva, e podem ser classificados como: coletor, depressor, espumante, regulador de pH, ativador e dispersante. O coletor é adicionado na polpa, visando aumentar a flotabilidade do mineral que se quer flotar; o depressor age no sentido inverso, ou seja, diminuindo a possibilidade de determinados minerais flotarem; o espumante tem como principal finalidade aumentar a estabilidade da bolha, para que ela não arrebente e consiga transportar o mineral que foi aderido a ela, até a superfície da polpa; o regulador de pH é adicionado para que a polpa atinja o nível de pH desejado, que é uma variável importante na separação de minerais; o dispersante é para dispersar as partículas; e o ativador é adicionado quando se quer inverter as características de superfície do mineral.

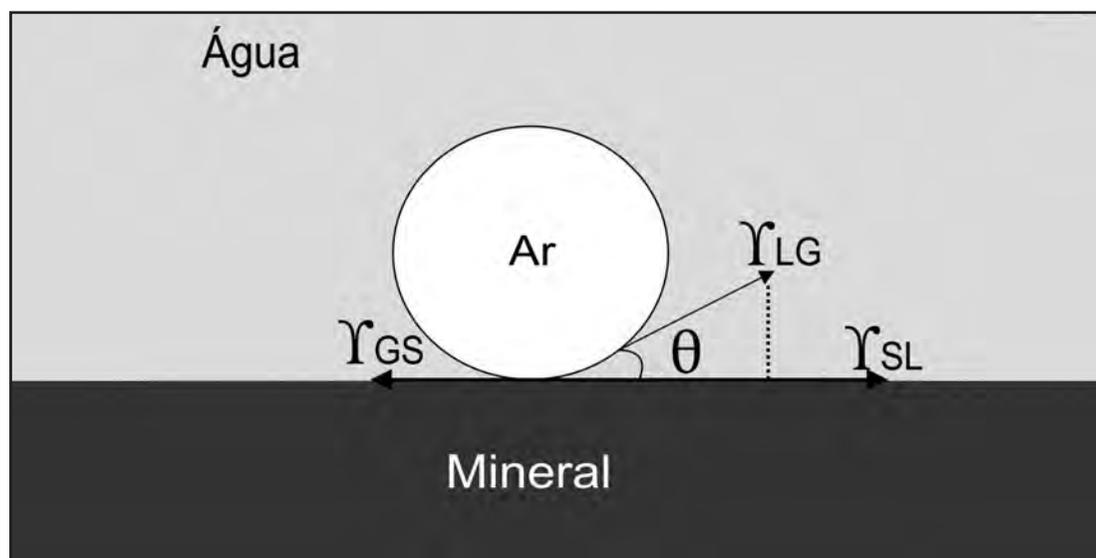


Figura 19 - Ilustração do ângulo de contato formado por uma bolha de ar em uma superfície mineral, no seio de uma massa líquida. Extraído de Baltar, 2008.

A operação de flotação é executada em duas etapas: condicionamento e flotação. O condicionamento promove os contatos dos reagentes com os minerais e precisa de um tempo de duração, que é chamado tempo de condicionamento. A flotação efetua a separação dos minerais.

A flotação é utilizada para recuperar feldspato de finos de granito e pegmatito, por exemplo. Essa forma de recuperar feldspato em finos de granito ou pegmatito é comum na Itália.

As rotas de processo podem ser separação magnética e flotação ou flotação em dois estágios. No primeiro caso, na etapa de separação magnética retira-se a mica biotita, e na etapa de flotação (feldspato + quartzo), flota-se o feldspato e deprime-se o quartzo. No segundo caso (flotação em dois estágios), no primeiro estágio da flotação, flota-se a mica biotita; e no segundo estágio (feldspato + quartzo), flota-se o feldspato e deprime-se o quartzo (CAMPOS, 1998).

4. Desaguamento de finos gerados na forma de efluentes

Os efluentes são constituídos, basicamente, de finos de rochas e água, e são gerados, normalmente, nas serrarias. Dependendo do tipo de corte realizado nas serrarias, esses efluentes podem conter, além de partículas finas de rochas (pó de rocha), também partículas finas de ferro ou aço, provenientes da granalha usada no corte da rocha, nos teares.

O desaguamento consiste de uma separação sólido/líquido, ou seja, separação entre o material sólido fino e a água. Os processos de separação sólido/líquido devem atender, neste caso, a dois princípios básicos: a obtenção de um sólido desaguado (baixo teor de umidade) e a produção de um líquido clarificado (água). A grande vantagem desta separação é que a água pode ser reaproveitada e circulada na própria instalação, e os resíduos sólidos desaguados estão prontos para um estudo de um aproveitamento industrial ou serem estocados de maneira adequada.

A separação sólido/líquido é feita, normalmente, por etapas, quais sejam: espessamento, filtração e secagem.

4.1. Espessamento

O espessamento é uma operação de separação sólido/líquido, baseada no fenômeno de sedimentação. A sedimentação de partículas sólidas em um meio fluido depende, entre outros fatores, da densidade e tamanho dessas partículas. Com a sedimentação das partículas sólidas, estas se separam de grande parte da água (sobrenadante). Caracteriza-se por ser um processo de baixo custo e grande simplicidade operacional.

A operação de espessamento pode ser realizada em espessadores, tanques de decantação, leitos secantes, ciclones, peneiras etc. Neste capítulo serão abordados espessadores, tanques de decantação e leitos de secagem.

Espessadores

São equipamentos que realizam, normalmente, o primeiro estágio de desaguamento. Nestes equipamentos conseguem-se produtos, em média, com 50% de água.

Em uma operação de espessamento, a polpa é alimentada em um dos compartimentos do espessador, em um nível um pouco abaixo da superfície do mesmo. As partículas sólidas vão se sedimentando no fundo do equipamento, de onde são removidas, ainda com certa fração do líquido. O resto da água ou solução, quase isenta de partículas sólidas, sai, por transbordamento (*overflow*) em canaletas, na parte superior do equipamento (água para recirculação).

Dentre os diferentes tipos de espessadores, os mais conhecidos são o espessador contínuo convencional, o espessador de lamelas e o espessador ou decantador vertical. O espessador contínuo convencional e o de lamelas são muito utilizados nas instalações de tratamento de minérios, e o espessador ou decantador vertical tem sido mais utilizado no desaguamento de lama gerada nos teares das serrarias de rochas ornamentais.

Decantador vertical

Este tipo de decantador tem forma cilíndrico-cônica, assemelhando-se a um grande ciclone, como mostra a figura 20, e são de grande tamanho (altura).

O decantador vertical recebe o efluente (lama abrasiva) gerado na serraria ou serrarias, na parte cilíndrica superior. Com a sedimentação das partículas sólidas, indo para o fundo da parte cônica do equipamento, a água vai sendo clarificada e sai, por transbordo, em canaleta interna, no topo da parte cilíndrica do espessador.

Os sólidos sedimentados no fundo da parte cônica do decantador (*underflow*) são retirados, periodicamente. E a água clarificada, que transborda (*overflow*), é conduzida a um reservatório de água, que retorna ao processo de beneficiamento (recirculação).

Nas instalações de tratamento de resíduos, os sólidos espessados nesses decantadores são conduzidos a um filtro prensa (será descrito adiante), para a segunda etapa de desaguamento.

Este tipo de decantador é o mais utilizado em instalações de tratamento de resíduos no estado do Espírito Santo, por necessitar de menos espaço que outros tipos e apresentar maior eficiência. A recirculação de água com este sistema pode chegar a 95%.

Para acelerar o processo de sedimentação dos sólidos no decantador, são utilizados reagentes, como sulfato de alumínio e óxido de cálcio (coagulantes) ou polímeros orgânicos (floculantes), os quais promovem a aglomeração das partículas finas, aumentando o seu peso e, conseqüentemente, a taxa de sedimentação dos sólidos. (FRANÇA & MASSARANI, 2010).



Figura 20 - Decantadores verticais. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Espessador de lamelas

Este tipo de espessador caracteriza-se por ocupar pouco espaço e ter alta capacidade de espessamento, devido ao mesmo ser constituído por uma série de placas inclinadas paralelas (lamelas), sobrepostas, formando, assim, várias bases para a sedimentação das partículas.

É bastante usado na indústria mineral, mas não ainda no desaguamento de lamas de beneficiamento de rochas.

Espessador contínuo convencional

Este tipo de espessador consiste de um tanque cilíndrico, cujo fundo interno é um cone invertido e raso. Nesse cone, são montados braços raspadores que conduzem o material sedimentado para a parte central do fundo do equipamento (vértice do cone) para a descarga contínua do mesmo. Possui grande área de sedimentação. É o espessador mais utilizado na indústria mineral e não no tratamento de efluentes de beneficiamento de rochas ornamentais, precisamente, pela grande área que ocupa.

Tanques de decantação

Os tanques de decantação são muito utilizados para o desaguamento de efluente (lama) gerado em serrarias de rochas ornamentais de pequeno e médio porte. São muito utilizados nas micro e pequenas empresas, por serem de fácil construção e apresentarem custos relativamente baixos para a sua instalação e operação.

A figura 21 mostra uma unidade de decantação constituída de três tanques, instalada em uma Serraria, em Santo Antonio de Pádua – RJ.



Figura 21 - Unidade de decantação constituída de três tanques. Foto: CETEM/MCTI, 2002.

Estes tanques funcionam como vasos comunicantes, onde o efluente passa de um tanque para outro por meio de orifícios localizados nas partes superiores das paredes internas que os separam. A passagem do efluente de um tanque para outro é feita forma tal que aumente o percurso do efluente nesses tanques, para prolongar o tempo de sedimentação. Dessa forma, o efluente vai passando de um tanque para outro, sempre com menos percentagem de sólidos, até que no último compartimento a água já esteja bastante clarificada, e pronta para ser reusada nas serrarias.

O material sólido sedimentado no fundo dos tanques é retirado periodicamente e posto para secar.

Leitos de secagem

Esses leitos de secagem estão sendo muito utilizados no estado do Espírito Santo para o desaguamento de efluentes de serrarias de rochas ornamentais. Existem diferentes tipos desses leitos de secagem na região, porém o mecanismo de desaguamento é semelhante, diferenciando-se nos

detalhes. A figura 22 mostra um desses tipos de sistema de secagem, constituído de três tanques, instalado na empresa Carvalho Mármore e Granitos, em Cachoeiro de Itapemirim – ES.

Esses leitos de secagem são tanques de formato retangular, com fundos inclinados, para facilitar o escoamento da água, como mostra o primeiro tanque (vazio) da esquerda da figura 22. Eles são construídos um ao lado do outro, à base de alvenaria, e funcionam em paralelo. A figura 22 mostra, um sistema de leito de secagem constituído de três tanques, em estágios diferentes de operação: o primeiro, da direita, já está cheio de lama abrasiva da serraria, com a secagem em andamento; o do meio sendo carregado; e o último da esquerda está vazio e sendo preparado para nova carga de resíduos.



Figura 22 - Leitos de secagem. Foto: CETEM/MCTI, 2009.

Como mostra a figura, esses tanques são construídos dentro de valas cavadas no próprio terreno da serraria. Ao longo do comprimento desses tanques, na linha central e no fundo dos mesmos, são construídas várias torres cilíndricas filtrantes, constituídas com tubo de PVC perfurado, envolvido com um meio filtrante. A água contida na lama atravessa o meio filtrante e cai dentro do tubo de PVC, localizado no interior da mesma. Outra tubulação que passa pelas bases dessas torres recebe a água coletada pelas mesmas, e a conduz a uma caixa d'água. Desta, a água é bombeada para reuso na serraria.

O material sólido desaguado que permanece nos leitos (tanques) é retirado, quando termina o ciclo de desaguamento. Em seguida, este material é posto para secar.

Trata-se de um sistema de desaguamento de baixo custo e funciona muito bem, principalmente em termos de recuperação da água, podendo ser utilizado por micro e pequenas empresas.

Este sistema foi idealizado e desenvolvido pelo Sr. Antonio Carlos Carvalho, proprietário da empresa Carvalho Mármore e Granitos e substituiu os estágios de espessamento e filtragem.

4.2. Filtragem

A filtragem pode ser definida como a operação de separação sólido/líquido, em que o líquido (filtrado) se separa dos sólidos pela passagem do mesmo através de um meio filtrante poroso. O meio filtrante que faz a separação dos sólidos e da água é constituído de algum tipo de tecido resistente (lona) ou material cerâmico. Os fabricantes dos filtros já fornecem ou indicam os meios filtrantes adequados aos seus equipamentos.

A filtragem industrial é realizada em equipamentos denominados filtros. Entre os vários tipos de filtros industriais existentes, podem ser mencionados os filtros tipo prensa; os filtros a vácuo, de tambor e de discos, filtro de correia, filtro plano (material mais grosso) etc. Desses vários tipos de filtros existentes, o que está sendo mais utilizado na filtragem de resíduos de rochas ornamentais é o filtro prensa.

Filtro prensa

Este consiste de um conjunto alternado de quadros ocios, no qual o material sólido (torta) é retido e adensado durante a operação de filtragem, e placas maciças que possuem superfícies com sulcos ou furos, que permitem a drenagem do filtrado. O meio filtrante geralmente um tecido (lona), recobre ambas as faces das placas (Fig. 23). O conjunto de placas e quadros apoia-se, verticalmente, sobre um par de suportes paralelos, fixos na estrutura do filtro.

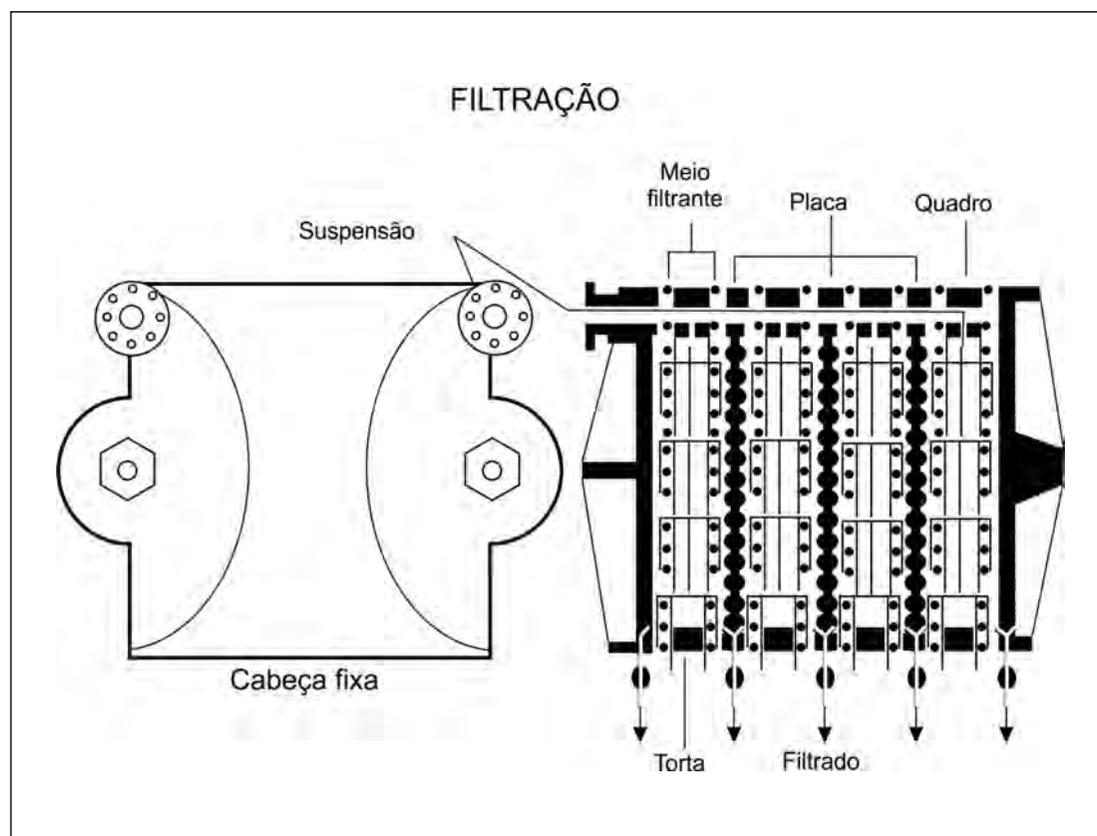


Figura 23 - Esquema de funcionamento e peças que compõem o filtro prensa. Extraído de ITEP, 1980.

Para proceder à operação de filtração, as placas e quadros são comprimidos até o ponto de se evitar vazamento entre eles. O material sólido retido pelo meio filtrante é chamado de torta, e o líquido que atravessa o meio filtrante é chamado filtrado.

A forma mais comum de descarga do filtrado é a drenagem do mesmo pelas placas, e sua saída por meio de torneiras individuais localizadas em cada placa, que descarregam o filtrado em uma canaleta ou tubulação que passa por todo o comprimento do filtro.

A descarga da torta é feita abrindo o filtro, ou seja, separando as placas e quadros. A torta cai por gravidade, às vezes necessitando de uma raspagem final do meio filtrante (tecido), por meio de espátulas.

A entrada da polpa no filtro é feita por pressão, por meio de bombas ou pressão hidrostática (altura) e, dependendo do modelo, pode ser na parte inferior ao conjunto de placas e quadros ou pelo eixo central do equipamento. O filtro prensa é o modelo mais simples dos filtros de pressão e de grande utilização industrial. Esse tipo de filtro funciona por batelada. A figura 23 mostra o esquema de funcionamento do filtro prensa, as peças que o compõem (quadro, placa, meio filtrante), as descargas da torta (material sólido desaguado) e filtrado (água) (BORGES, 1995).

A figura 24 mostra um filtro prensa em operação, com o conjunto de quadros e placas, envolvidos pelo meio filtrante e os tubos de descarga do filtrado que sai pelas canaletas.

Com a utilização correta desse tipo de filtro, pode-se conseguir um resíduo sólido (torta) com menos de 30% de umidade, valor limite para o depósito dos resíduos em aterros.



Figura 24 - Filtro prensa. Foto: CETEM/MCTI, 2012.

Secagem

A secagem pode ser considerada como último estágio de desaguamento. Pode ser definida como a operação de remoção da água, por vaporização. Ela é utilizada para a retirada de água ainda existente nos sólidos, normalmente, após as etapas de espessamento e filtragem.

Dependendo do teor de umidade no produto que se quer obter com a operação de secagem, ela pode ser realizada de diferentes formas, tais como: ao ar livre, em recinto coberto, em estufas, em fornos cilíndricos rotativos ou em equipamentos mais sofisticados, tipo *flash dryer*. A secagem, normalmente, é uma operação cara, embora novas soluções de baixo custo já estejam funcionando para secagem de lodos de esgoto e secagem de grãos, por exemplo, o que leva a crer que os produtores de rochas ornamentais também poderão se beneficiar dessa tecnologia para reduzir seus custos de transporte e armazenagem de lamas.

As secagens de resíduos sólidos de rochas ornamentais estão sendo realizadas ao ar livre, em pilhas, ou em pátios construídos ao ar livre. Estes, normalmente, possuem uma ligeira inclinação, canais de drenagem da água construídos na parte mais baixa do pátio e poços de recebimento da água drenada.

5. Utilização de resíduos

Nesse setor serão apresentadas alternativas para a aplicação dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais que estão sendo estudadas em diversas partes do mundo. Se o objetivo é considerar o resíduo de rocha ornamental como um “minério”, de interesse industrial e econômico, deve-se ter em mente a composição química média observada nesses resíduos (Tabela 1), para se ter noção das concentrações médias e elementos de interesse, que influenciarão na alternativa de utilização industrial.

Na Tabela 2 apresentam-se os principais setores industriais que podem consumir estes resíduos, como a indústria cerâmica, a agricultura, o setor de polímeros, a pavimentação asfáltica, as indústrias de vidro, cosméticos, papel e argamassa.

Tabela 1 - Composição química média 100% de resíduos de rochas ornamentais.

Tipos de resíduos	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Exclusivo do corte de granitos com granalha	5	2	62	12	7	4	3
Exclusivo do corte de mármore	50	15	5	1	1	0,2	0,1
Mistura de granitos e mármore	21	4	36	9	5	4	2
Exclusivo do corte de calcários	50	5	5	0,5	0,2	0,2	0,2
Exclusivo do corte de quartzitos	0,6	--	80	9	1	--	--
Exclusivo do corte de ardósias	2	3	57	6	7	4	2

Elaboração dos autores.

Tabela 2 - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Cerâmica	Principalmente os que apresentam altos teores de feldspatos	<ul style="list-style-type: none"> Fundente: Diminuição da temperatura de vitrificação e queima da cerâmica Permite maior controle da contração linear Diminui a porosidade 	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Baixo teor de ferro 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
Agricultura	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Correção de pH do solo – calagem Eliminação do efeito do alumínio e manganês Suprir nutrientes do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada área superficial PN1 > 67% PRNT2 > 45% CaO + MgO > 38% Teor de Magnésio > 10% Teor de alumínio < 1% 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
Polímeros	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Suprir nutrientes do solo – rochagem 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada área superficial Teor de alumínio < 1% Elevados teores de poássio 	
		<ul style="list-style-type: none"> Carga Melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e termomecânicas Diminuir custos Aumentar o reforço 	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Baixa dureza. Teor de sílica < 1%. Teor de ferro < 5%. 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
Cosmética	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Carga 	<ul style="list-style-type: none"> Granulometria < 0,149 mm Teor de óxido de ferro < 0,2% Teor de sílica < 0,5% 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética

Tabela 2 (cont.) - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Pavimentação Asfáltica	Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Mineral (brita) Estabilidade do pavimento. Aumentar a dureza e a resistência à tração 	<ul style="list-style-type: none"> Forma cúbica e não achatadas e alongadas Composição granulométrica não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$. Abrasão Los Angeles $> 40\%$ Elevados teores de sílica Elevados teores de feldspatos. Aplicação de 95%, em massa, no pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento
	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> Agregado Mineral (brita) Subleito de pavimentos de baixo tráfego 	<ul style="list-style-type: none"> Massa específica - 2,7 g/cm³ Absorção de água - 0,15% Abrasão Los Angeles $> 17\%$ Resistência à tração $> 4,5$ MPa 	
Vidro	Silicáticos	<ul style="list-style-type: none"> SiO₂ - formador da rede vítrea. Al₂O₃ - formador de rede. Fe₂O₃ - colorante na formulação 	<ul style="list-style-type: none"> Na₂O entre 12 e 17% CaO entre 8 e 12% Massa específica - 2,5 g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> Britagem Moagem Peneiramento Separação Magnética
	Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> CaO e MgO - óxidos modificadores de rede. Rompem estrutura vítrea, reduzem viscosidade e ponto de fusão do vidro 	<ul style="list-style-type: none"> Teor de óxido de cálcio $> 30\%$ Teor de óxido de alumínio $< 0,4\%$ Teor de óxido de ferro $< 0,2\%$ 	

Tabela 2 (cont.) - Setores de aplicação dos resíduos e características necessárias.

Setor Industrial	Tipos de resíduos	Função do resíduo	Características necessárias	Operações unitárias necessárias
Concreto e Argamassa	Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Carga • Aumentar a resistência à compressão e abrasão do concreto • Aumentar a resistência à cloretos e sulfatos 	<ul style="list-style-type: none"> • Forma arredondada de partículas • Perda ao fogo > 40% • Teor de ferro < 0,7% • Teor de alumínio < 2% 	<ul style="list-style-type: none"> • Britagem • Moagem • Peneiramento • Separação Magnética
Construção Civil	Silicáticos e Carbonáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Agregados 	<p>Granulometrias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agregado graúdo: 100,0 a 4,8mm • Agregado miúdo: 4,8 a 0,075mm • Areia grossa: 2,0 a 1,2mm • Areia média: 1,2 a 0,42mm • Areia fina: 0,42 a 0,075mm • Pedregulho – material natural inerte, de forma arredondada, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e mínima igual ou superior a 2,0 mm • Pedrisco – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm • Pó de pedra – material proveniente da britagem de pedra, de dimensão nominal máx. inferior a 0,075 mm • Ladrilhos fora do padrão, nos tamanhos 30 x 30 cm e 40 x 40 cm de espessuras variando de 5 a 10 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Britagem • Moagem • Peneiramento
		<ul style="list-style-type: none"> • Ladrilhos de Rocha 		<ul style="list-style-type: none"> • Corte de blocos fora de padrão em talha-blocos

(1) PN - capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em corretivos de acidez, expresso em equivalente de carbonato de cálcio puro (%E CaCO₃).

(2) PRNT - Poder Relativo de Neutralização - PRNT (%) = (PN x RE) / 100, onde RE é a reatividade das partículas. Valor que expressa o percentual (%) do corretivo que reage no solo no prazo de 12 a 36 meses.

(3) A liberação do potássio presente em resíduos de rochas, para o solo é extremamente lenta, necessitando-se sua associação com outros processos, como por exemplo, a compostagem, para viabilizar o processo.

5.1. Artesanatos / artefatos minerais

O artesanato/artefato mineral (Fig. 25) vem, nas quatro últimas décadas, tendo uma expansão e desenvolvimento sem igual no Brasil. De simples exportador de matéria-prima, principalmente ágata, e do tradicional artesanato de ágata, este no Rio Grande do Sul, evoluiu-se para outros tipos de produtos como estatuetas, mosaicos, peças decorativas, bijuterias, notadamente em Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia importantes centros produtores e comerciantes no país.



Figura 25 - Estatua em pedra-sabão (acima à direita), CETEM/MCTI (2013); cavalo do projeto Prisma na Bahia (acima à esquerda) e peixes de granito Azul Macaúbas (abaixo). Fotos: CBPM, 2004.

Na região Nordeste do Brasil e especialmente na Bahia, essa atividade está sendo implantada e desenvolvida com apoio governamental, com muito sucesso, podendo ser intensificada e priorizada como política pública de inclusão social, (geração de emprego e renda) e para o desenvolvimento de micro e pequenas empresas, mediante os Arranjos Produtivos Locais – APL.

A criação de peças artísticas a partir dos resíduos das pedreiras de rochas ornamentais e de revestimento dos mais diversos tipos de rochas, com variedades cromáticas e texturais entre granitos, mármore, quartzitos, ardósias, conglomerados, basaltos, serpentinitos, pedra-sabão, entre outras, constitui-se uma atividade criativa do artesanato. Assim é possível a transformação de um pedaço de pedra de uma substância mineral, em estado bruto, em peças de formas polidas, que juntas ou não, a outros materiais (metais, madeiras, plásticos etc.) vão compor objetos de adorno pessoal (colares, camafeus, anéis, pulseiras etc.), objetos utilitários (castiçais, cinzeiros, porta-lápis, copos, pratos, porta-relógio, cabos de utensílios etc.), objetos decorativos (estatuetas) e mosaicos minerais (mesas, quadros, painéis etc.).

Os mosaicos, jogos de xadrez, pássaros, estatuetas, cinzeiros, pirâmides, porta-joias, jarros, colares, brincos, pulseiras, em suma, uma gama de peças é, hoje em dia, preparada com substâncias minerais diferentes, muitas delas provenientes de pequenos depósitos sem expressão quantitativa e sem possibilidade de exploração mineral, similarmente aos rejeitos de pedreiras, mas que, para esta e por esta atividade, ganham valorização, possibilitando que as populações carentes e sem qualificação das áreas interioranas do país, tirem dele sua subsistência (Fig. 26).



Figura 26 - Artesanato em pedra-sabão, realizado de forma manual. Fotos: CETEM/MCTI, 2005.

Nada impede que este tipo de atividade de artesanato seja intensificado, fugindo um pouco daquela ideia do artesanato rudimentar, como é o caso do artesanato cerâmico ou de madeira.

Na verdade, o artesanato mineral apresenta uma gama extraordinária de opções para desenvolvimento nos campos de joalheria, ornamentação e de objetos utilitários, podendo ser fabricado com máquinas e equipamentos mais sofisticados, constituindo-se em linhas de produção, ou seja, indústria de artefatos minerais (Fig. 27).

Seus produtos, nos estágios mais simples, incorporam e ressaltam a beleza material das matérias minerais com suas nuances de cor, brilho e formas geométricas e, em estágios mais avançados, a nobreza e valorização de minerais e metais preciosos ou composições artísticas. Nesta linha, destacam-se quatro grandes nichos de artesanato e artefato mineral:

- Decorativo – aquele que se dedica à preparação de peças de adorno, tais como: colares, brincos, anéis, pulseiras etc.
- Utilitário – aquele que se dedica à preparação de objetos tais como: cinzeiros, jarros, porta-retratos, taças, porta-cartões etc.
- Mosaicos – aquele que fabrica tampas de mesa, mosaicos, ladrilhos, em suma, as peças decorativas.
- Estatuetas – aquele que prepara estatuetas de animais, esculturas, figuras etc., em peças inteiriças ou em montagens de diversos materiais.



Figura 27 - Equipamentos e operações de artesanato mineral utilitário. Fotos: CBPM, 2004.

O primeiro tipo (decorativo) é de rápido aprendizado e tem grande alcance social atingindo um grande contingente de mão de obra, principalmente feminina, na fase de montagem das peças de adorno, uma vez disponível os insumos minerais e os outros componentes materiais.

O segundo mais especializado, embora absorva um bom contingente de mão de obra é mais apropriado a variedades industriais, pois objetiva a produção em série, mais econômica e rentável, de objetos de uso prático, feitos de substâncias minerais (Fig. 28).

O terceiro, embora seja mais apropriado a uma unidade de produção em série pode ser implantado com mais abrangência de ocupação de mão de obra, caso se adote o esquema de pequenas unidades de produção de chapas e montagem de mosaicos apoiados por centrais de acabamento.



Figura 28 - Objetos utilitários preparados com resíduos de rochas ornamentais. Fotos: CBPM, 2004.

O quarto e último tipo é bem significativo em termos de absorção de mão de obra, uma vez que, a cada artesão formado ou a grupos de artesãos seja possibilitada a montagem de pequenas unidades de produção comunitárias que absorverão mão de obra auxiliar.

Todos esses tipos de aplicação têm, portanto, grande abrangência social por sua potencialidade de gerar empregos que não requerem muita qualificação.

Alternativas de aproveitamento de resíduos grossos ou, melhor dizendo, "estoques remanescentes" de jazidas ou explorações de mármore, granitos, quartzitos e outras rochas de revestimento, com cunho e foco social, nos aspectos de ocupação e geração de renda para comunidades carentes foram experimentadas com sucesso em diversos lugares.

Destaca-se, aqui, o Programa Prisma, Programa de Inclusão Social na Mineração, no interior da Bahia. O programa, implantado pela Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, do Governo do Bahia e coordenado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM, projetos comunitários para a geração de trabalho e renda a partir do aproveitamento dos recursos minerais existentes no território dos municípios baianos.

Esses projetos traduziram-se em ações de formação e treinamento de artesãos para a produção de artesanato mineral (objetos, estatuetas, mosaicos e adornos), com instalação de unidades comunitárias, de tamanho e nível de produção de objetos dependente da quantidade de equipamentos específicos aos processos, instalados na unidade e com treinamento rápido, de 2 a 4 meses, e restrito à operação, em condições de segurança, dos equipamentos, e aos processamentos e preparação da pedra, para a implantação da forma do objeto, segundo o design e projeto estabelecido.



Figura 29 - Pequeno produtor do projeto Paralelepípedos na Bahia. Foto: CBPM, 2003.

De igual forma criaram-se unidades de produção de paralelepípedos e outros artefatos para urbanização e calçamento de logradouros públicos, miniunidades de produção de brita, de produção de lajotas rústicas (de arenitos, calcários e quartzitos laminados) e outros tipos de beneficiamento e de aproveitamento de rochas e minerais (Fig. 29) no projeto Paralelepípedos, dentro também do programa Prisma. Envolvendo mais de um milhão de artesãos treinados e mais de uma centena de unidades, implantadas em diferentes municípios do estado da Bahia, instalou núcleos de aprendizado, onde os artesãos são treinados, em cinco meses, por um mestre canteiro aprendendo a preparar seus ferramentais e a produzir paralelepípedos, meios-fios, lajotas e outros artefatos para calçamento e urbanização (Fig. 30).



Figura 30 - Unidade de treinamento do projeto Paralelepípedos, na Bahia. Fotos: CBPM, 2003.

Um núcleo de formação de mão de obra funciona, em média, com 15 aprendizes que individualmente, atingem a produção de um milhar de unidades, nos últimos meses do treinamento, e que se transformam em multiplicadores após o treinamento, constituindo uma equipe de produção (um artesão e 2 auxiliares) e permitindo assim que a localidade onde a atividade foi instalada se transforme em um centro produtor para outras localidades e para os municípios circunvizinhos.

A finalidade dessas ações, devido à escala da atividade implementada, não é de eliminar os rejeitos das pedreiras de rochas, ou como dizem os portugueses “as escombreiras” das pedreiras de rochas ornamentais, que representam, em média, de 70 a 90% do volume extraído na jazida, mas sim, criar possibilidades de interação social das empresas produtoras e beneficiadoras de rochas, com as populações no entorno das jazidas e unidades de processamento, contribuindo assim, para minimizar os problemas sociais e ambientais. Inerentes às atividades de exploração e de beneficiamento.

Alternativas tradicionais de aproveitamento econômico e em razoável nível de produção, existem nos centros produtores de rochas espalhados pelo mundo e vão desde a britagem das rochas para diferentes usos à utilização urbanística e paisagística dos “resíduos”, processados ou naturais, até a construção de casas e a utilização de componentes pétreos naturais em feições arquitetônicas inovadoras, como será visto a seguir.

5.2. Aproveitamento dos resíduos na arquitetura urbana

São vários os produtos alternativos que podem ser feitos com os resíduos rochosos. Dentre eles, podemos destacar: *anticato*, *seixos* e *cubetti* ou *petit pavé*.

Pedra portuguesa, “Petit pavé” ou “Cubetti”

As peças pavé caracterizam-se por ter espessura (altura) sensivelmente inferior à largura e comprimento. Elas podem ter comprimento/largura de 5 a 20 cm e espessura de 2,5 a 10 cm. O recorte natural é feito com prensas ou artesanalmente por talhadeiras.

O principal uso da pedra pavé são pavimentos externos, que têm grande efeito paisagístico pela possibilidade de combinação de cores e formação de mosaicos (Fig. 31).

A pedra pavé ou mosaico português é um produto comercial tradicional, que os portugueses difundiram em suas colônias, algumas das quais são identificadas com esse tipo de calçada, como o Rio de Janeiro, por exemplo. (Fig. 32).



Figura 31 - Petit pavé ou mosaico português. Fotos: Pedra Mosaico Português Cesar, 2013.



Figura 32 - Calçada de Copacabana e elaboração manual da pedra portuguesa. Fotos: CETEM/MCTI, 2013, 2003.

As técnicas para sua elaboração também não são novas, com prensas ou processo artesanal de talhadeira e martelo. O que se coloca como novidade é o desenvolvimento de uma tecnologia própria de obtenção de pedra pavê, com prensas mecânicas nacionais (Fig. 33).

Essa tecnologia representa uma alternativa mais produtiva que a do processo artesanal, e mais barata que a de aquisição de máquinas importadas, tornando economicamente viável a elaboração de pedra pavê em regiões produtoras, sendo especialmente importante como ferramenta de inclusão e desenvolvimento social.

As prensas mecânicas utilizadas antes eram de segunda mão e oriundas de outros segmentos de atividade industrial, sobretudo da indústria do couro.



Figura 33 - Prensa “quebra-pedras”, da marca Volpi. Foto: Volpi, 2013.

Hoje, há prensas nacionais, específicas para cortar rochas e aproveitar resíduos, em diversos tamanhos, desde os *petit pavés* e peças de até 5 cm de espessura, até maiores, como a da figura 30, denominada pelo fabricante, Volpi Equipamentos, de “máquina quebra-pedras”. Essas máquinas têm de 30 a 50 toneladas de força, produtividade de 15 a 20 cortes por minuto (4 a 6 t/dia), e servem para peças de até 20 cm ou mais de espessura e cortes de até 32 cm de comprimento (VOLPI. 2013).

Painéis decorativos

Além de calçadas, os resíduos de rochas “vestem” muito bem fachadas internas e externas. Uma das aplicações possíveis é a utilização de painéis decorativos, seja fazendo desenhos com a parte plana de pedaços de rochas (Fig. 34) ou mantendo-se o lado reto para trás e deixando a superfície irregular para frente, tirando partido da irregularidade, diferença de texturas, dada à utilização de materiais diferentes, e do jogo de sombras, como faz o Arquiteto Renato Paldés, de Cachoeiro de Itapemirim (Fig. 35).



Figura 34 - Mural de Maurice Degen. Casa de Nilza Hangai, Ilhéus - BA. Foto: CETEM/MCTI, 2013.

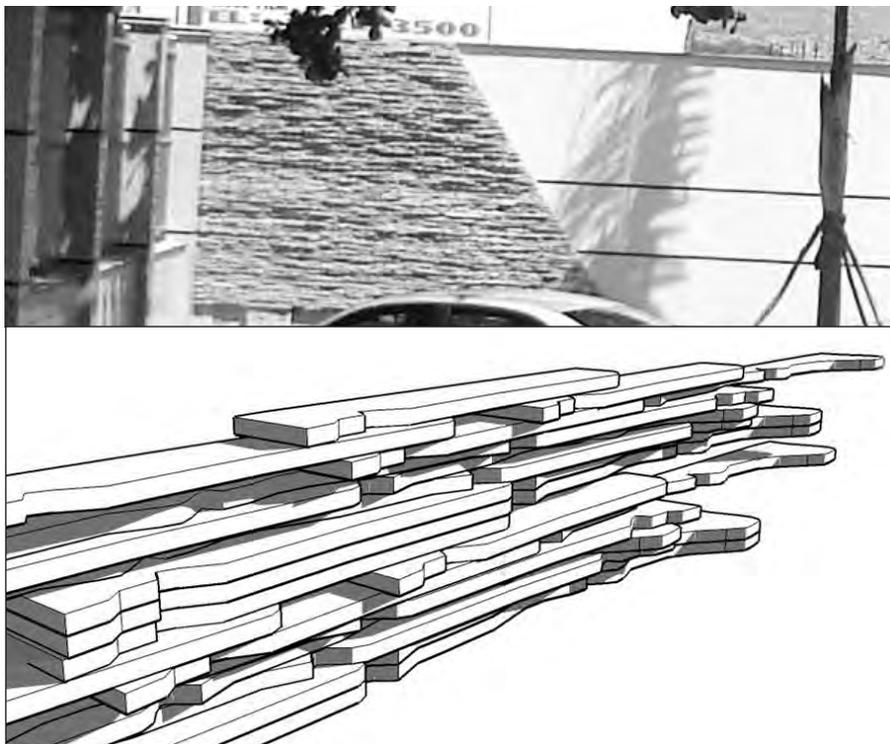


Figura 35 - Tiras aplicadas – face serrada para dentro – assentes com argamassa formando painel decorativo. Foto: Arq. Renato Paldés, 2011.

O arquiteto ainda mostra outras utilizações das tiras, aplicando a face irregular delas para dentro, conseguindo assim um efeito uniforme e, em algumas situações serviram como forma para o concreto das colunas, enchendo-se as mesmas por etapas (Figuras 36 e 37).



Figura 36 - Colunas em Tiras aplicadas e assentes com face serrada para dentro. Fotos: Arq. Renato Paldés, 2011.

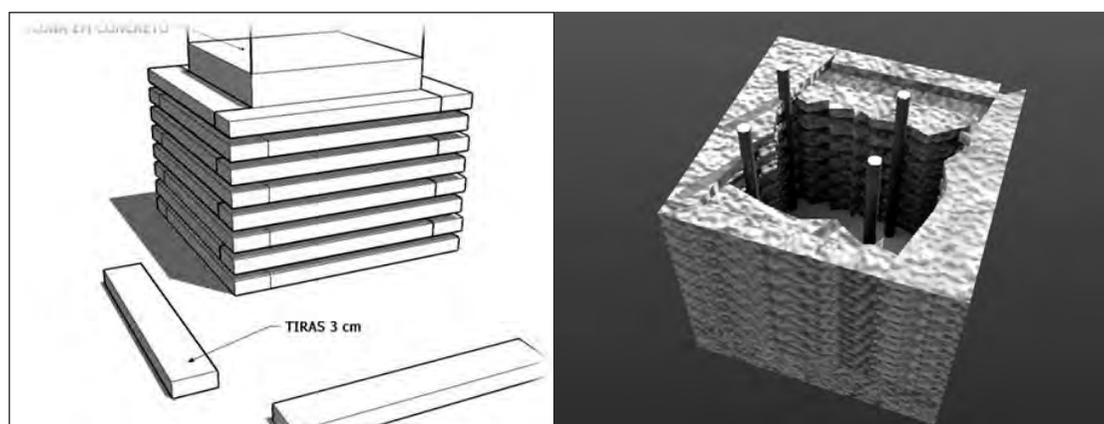


Figura 37 - Colunas em Tiras aplicadas. Assentes com face serrada para dentro – preenchidas, em etapas, com concreto. Desenhos: Arq. Renato Paldés, 2011.

Nessa linha, até os cacos de marmoraria, resíduos normalmente considerados sem possibilidade de uso, por serem muito variados, se aplicados de forma paginada e ordenada, possibilitam uma imensa gama de texturas e podem também contribuir com a estética do local aplicado (Figura 38).



Figura 38 - Pisos de cacos de granito, paginado, com painel em tiras e casqueiro. Foto: Paldés, 2011.

Mosaicos/Listelos

Com equipamentos adequados, também é possível transformar os resíduos em produtos de alto valor de mercado, como mosaicos e listelos. Máquinas especiais de corte já foram desenvolvidas e fabricadas no país em diversos lugares, mas destacamos aqui os casos das refilatrizes desenvolvidas para os APLs de Calcário do Cariri e de Quartzitos de Várzea. No último caso, a produção de mosaicos no APL, que se iniciou com o intuito de aproveitar os resíduos e valorizar os produtos, passou a ser a operação principal (Fig. 39).



Figura 39 - Fabricação de mosaicos no APL de Quartzitos da Paraíba. Fotos: CETEM/MCTI, 2011.



Figura 40 - Equipamento de seixos e revestimento de anticato. Fotos: CETEM/MCTI, 2006.

“Anticatos” e seixos rolados

O acabamento *“anticato”* e os seixos são obtidos em máquinas com tambores rotativos (ou betoneiras adaptadas) e especificamente destinados para o arredondamento das laterais (Fig. 40).

Assim, pequenos produtores, com equipamentos de baixo custo, conseguem obter produtos valorizados para uso em jardins e áreas externas, pois permitem variadas combinações cromáticas e de tamanhos para obter belos efeitos (Fig. 41).



Figura 41 - Seixos rolados produzidos com resíduos de rochas ornamentais. Foto: CETEM/MCTI, 2011.

Foram destacadas aqui, apenas algumas utilizações dos resíduos grossos, que apresentam interesse social e baixo custo, mas a pedra tem inúmeros usos em elementos de construção e urbanismo: bancos, fontes, elementos para varandas, soleiras, paralelepípedos, meio-fios, rodapés...etc., aplicações essas que contam até com profissionais especializados, os canteiros e suas escolas de cantaria. Embora sejam mais frequentes na Europa, no Brasil já começam surgir escolas, como a de Ouro Preto, cidade onde grandes mestres portugueses já tinham suas escolas de canteiros no período colonial, trabalhando, principalmente, em pedra-sabão, material decorativo mais utilizado na época.

A seguir, apresentam-se quatro casos de aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais nos quais o CETEM trabalhou nos últimos anos e que tiveram ou têm uma importância especial para os locais onde foram desenvolvidos, os Arranjos Produtivos Locais, APLs, constituídos de muitas pequenas empresas ou produtores individuais, sem estrutura para desenvolver tecnologia, mas geradores de emprego e renda em regiões desfavorecidas, motivo pelo qual são apoiados por programas de governo.

No mundo empresarial ainda não há uma utilização importante dos resíduos. É comum que as empresas “doem” seus finos para a indústria cerâmica ou de cimento, assim como os grossos para as prefeituras para uso na estabilização de estradas de terra, principalmente. No entanto, a AAMOL está dando início à construção da sua fábrica de argamassa, ARGAMOL, que pretende produzir em torno de 8.000 t/mês de argamassa com até 30% de lama abrasiva *in natura* (com granalha) de seus associados, em Cachoeiro de Itapemirim, ES.

Há diversos casos também de empresários que dão suporte a pequenos empreendedores que aproveitam os casqueiros e aparas na produção de pedras decorativas, sempre de forma manual, e algumas empresas estão começando a produzir elementos de construção civil, principalmente “tijolos ecológicos”, visando o aproveitamento de seus resíduos. No entanto, observa-se que o assunto ainda é tratado mais como um problema a eliminar do que uma oportunidade de diversificar.

6. Projetos realizados pelo Cetem para o aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais

6.1. Gnaisses de Santo Antônio de Pádua – RJ

A região de Santo Antônio de Pádua fica localizada no noroeste do estado do Rio de Janeiro e é, hoje, o principal polo de produção de rochas ornamentais do Estado, concentrando ao redor de 150 empresas de extração e beneficiamento. Trata-se de rochas gnáissicas que são, simplesmente, desdobradas em “lajinhas e lajotas” não polidas, apresentando um aspecto rústico e muito utilizadas em revestimentos de pisos, muros e fachadas. O processo consiste, basicamente, no deslocamento manual, aproveitando os planos de foliação da rocha, e o corte final em serras de disco diamantado, refrigeradas a água.

A produção começou nos anos 70 do século XX e continuou a se desenvolver na informalidade até os anos 1990, quando os impactos ambientais gerados pelas 250 empresas existentes na época não podiam ser ignorados. O principal era a disposição desordenada dos resíduos grossos e o lançamento dos finos de corte em rios e córregos da região, ocasionando seu assoreamento e a contaminação da água, inutilizando-a para o consumo animal e a agricultura (Fig. 42).



Figura 42 - Descarte inadequado dos resíduos, antigamente em Sto. Antônio de Pádua. Fotos: CETEM/MCTI, 2001.

Devido à importância social desta atividade na região, começou um trabalho multi-institucional, sob orientação do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – DRM, buscando a formalização e legalização da produção de rochas. O CETEM entrou como parceiro na busca de soluções tecnológicas para diminuir os impactos ambientais e implantar melhorias produtivas, coordenando um projeto que teve duas etapas.

A primeira etapa objetivou o tratamento dos efluentes gerados pelas serrarias, mediante a técnica de separação água/sólido, com a recuperação dos sólidos finos e recirculação da água no processo de serragem das rochas, solucionando assim, o problema ambiental do lançamento desses efluentes nos cursos d'água da região. O CETEM realizou o estudo de sedimentação, após caracterizar e quantificar os efluentes gerados e desenvolveu um protótipo em acrílico, para teste e demonstração do funcionamento de uma unidade de tratamento de efluentes (Fig. 43). Com isto foi realizado o projeto básico de engenharia para instalação de tanques de decantação nas serrarias e, após a demonstração, em uma empresa, da eficiência da Unidade de Tratamento desenvolvida, esta foi replicada nas outras serrarias.



Figura 43 - Protótipo de tanque de decantação desenvolvido para as serrarias de Santo Antônio de Pádua.
Foto: CETEM/MCTI, 2001.

Conseguiu-se recircular 95% da água utilizada no corte e separar o pó da rocha (720 t/mês) que começou a ser estocado nas serrarias. Muitas dessas serrarias não dispunham de espaço suficiente para a estocagem dos finos, o que levou os parceiros do projeto à busca de aplicações industriais para o aproveitamento desses resíduos, dando início a uma segunda etapa.

Um estudo inicial do CETEM e do Instituto Nacional de Tecnologia – INT, indicou as seguintes possíveis aplicações, para os finos: argamassas, produtos cerâmicos e borracha. Estudos mais

aprofundados realizados na Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF obtiveram resultados muito favoráveis para sua incorporação em argamassa e produtos cerâmicos (tijolos e telhas). Por questões logísticas e econômicas, foram realizados testes industriais e um estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais de Santo Antônio de Pádua na fabricação de argamassas, que resultaram muito positivos e despertaram o interesse de uma empresa. Concluído o estudo, e com base na Lei de Inovação, foram realizadas negociações de transferência de tecnologia entre CETEM, INT e SINDGNAISSES com a empresa ARGAMIL, do Grupo Mil. Essas negociações foram bem-sucedidas, e resultaram na instalação de uma fábrica de argamassa localizada no polo industrial de Santo Antônio de Pádua-RJ, que produz 450 t/dia do produto. Atualmente, não há depósitos de resíduos finos na região, sendo todos direcionados para a fábrica de argamassas. Este trabalho rendeu os prêmios FINEP de Inovação Tecnológica da Região Sudeste e Menção Honrosa no prêmio nacional, na categoria Inovação Social, em 2005 e o Prêmio Furnas Ouro Azul, em 2006, sendo exemplo para outros projetos do CETEM e de outras empresas ou instituições. Um exemplo é o da AAMOL em Cachoeiro de Itapemirim, que já anunciou a instalação de uma fábrica de argamassa para utilização da lama abrasiva de seus associados.

Em Pádua, hoje, as aparas também são totalmente aproveitadas na confecção de produtos de tamanhos diferentes ou produtos sem trabalhar para a construção de muros e também são britadas e moídas para a produção de brita e areia artificial e finos para argamassa.

6.2. Quartzitos de Várzea do Seridó –PB

No município de Várzea, no Seridó Paraibano, são extraídos e beneficiados quartzitos para uso como rochas de revestimento, em forma rústica. O quartzito é uma rocha metamórfica composta de sílica (75%) e de outros minerais como silicatos, micas. O processamento é limitado, na cidade de Várzea, ao corte em serras de discos diamantados, refrigeradas a água, gerando um efluente constituído por partículas micrométricas da rocha, partículas metálicas de ferro, oriundas do desgaste do disco de corte e água. Os efluentes são tratados em pequenas unidades de separação sólido/líquido que permitem a recirculação da água e a remoção dos sólidos finos. No beneficiamento são também gerados resíduos grossos, constituídos das aparas provenientes do corte das rochas nas serrarias. Esses resíduos são produzidos em grande quantidade e são estocados em grandes pilhas localizadas nas serrarias, gerando impacto ambiental e danos à saúde dos trabalhadores, pelo pó emanado das pilhas pela ação dos ventos. No entanto, a estocagem torna-se o principal gargalo desse setor, sendo necessário um estudo para criação de uma rota tecnológica de aplicação desses resíduos, que em geral, apresentam granulometria inferior a 27,8 micrômetros quando saem das serrarias.

Em parceria com a empresa TECQUÍMICA, localizada em Várzea-PB, foi implantada uma usina-piloto para fabricação de argamassa e tijolos estruturais, a partir dos resíduos de quartzitos gerados pelas serrarias. A figura 44 apresenta o fluxograma do processo dessa usina piloto, que é constituído, basicamente, das seguintes etapas: cominuição das aparas das serrarias em moinho de martelos; classificação granulométrica do produto da cominuição, em peneira rotativa (trommel); misturadores; e sistema de ensacamento das argamassas produzidas nos misturadores. Nos misturadores são preparados tipos de argamassa, utilizando a fração mais fina do peneiramento no trommel (< 35 malhas) e os aditivos selecionados para cada tipo de argamassa. Os resíduos mais grossos produzidos pelo trommel (> 10 e > 35 malhas) são utilizados para a fabricação de pré-moldados.

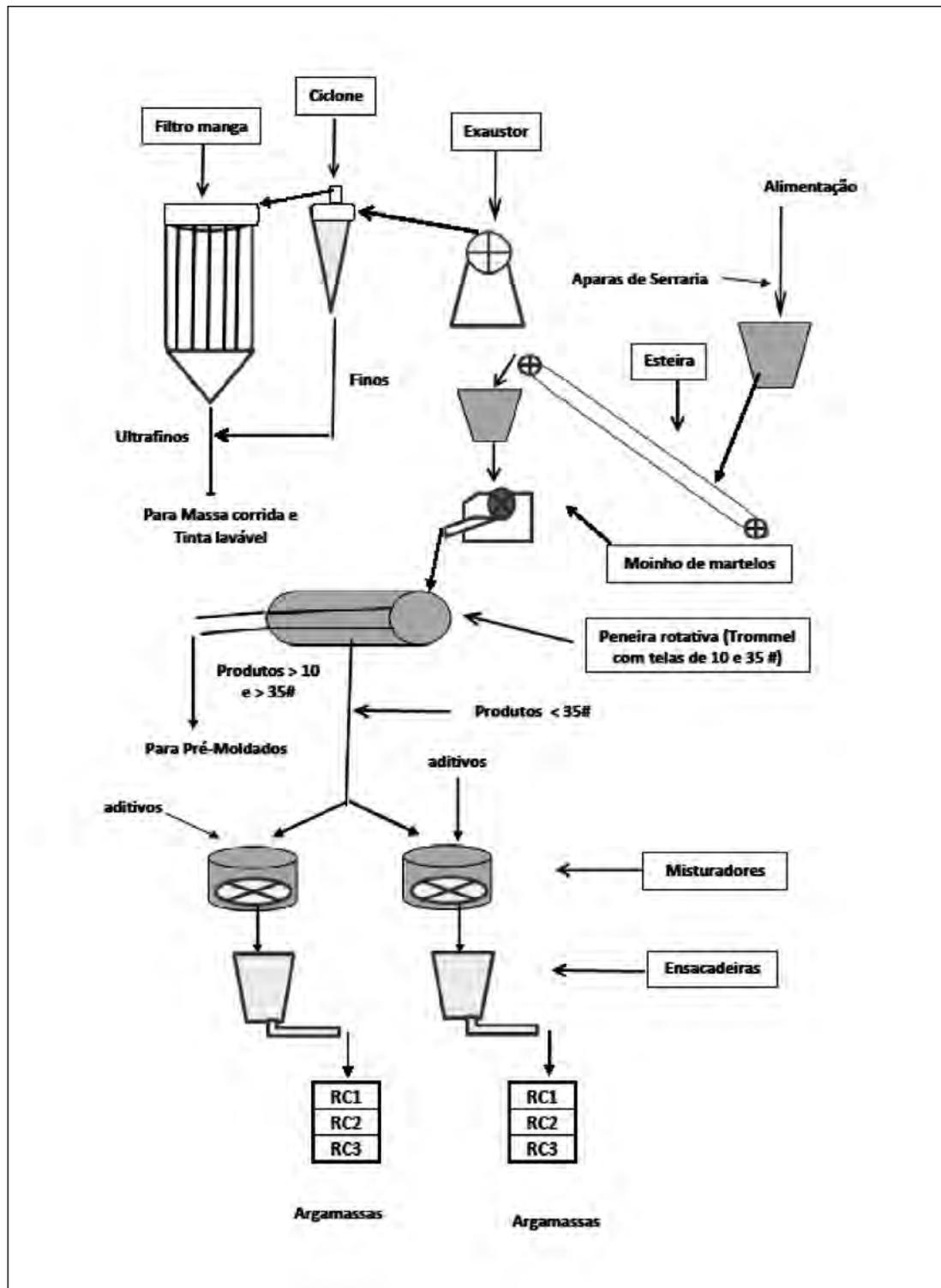


Figura 44 - Fluxograma da usina piloto de argamassa instalada em Várzea - PB. Elaboração: Carlos A. Melo, CETEM/MCTI, 2012.

Ao fluxograma do processo foi acoplado um sistema de coleta de pó, composto de exaustor, ciclone e filtro de manga. Este sistema de coleta de pó evita emissão de poeira proveniente da usina, protegendo os trabalhadores e a comunidade adjacente à mesma. Além de evitar a emissão de pó da usina para o meio ambiente, esse sistema de coleta de pó permitirá, ainda, a recuperação de produtos finos e ultrafinos produzidos pelo ciclone e pelo filtro de manga, respectivamente, que podem ser utilizados para a fabricação de outros subprodutos, tais como: massa corrida e tinta lavável.

A Figura 45 mostra quatro vistas parciais da montagem da usina piloto. Acima à esquerda mostram-se as etapas de cominuição e classificação granulométrica, com a saída da fração mais fina para a produção da argamassa; à direita o ciclone, em primeiro plano, e o filtro de manga, mais ao fundo. Na parte inferior, da esquerda para a direita, a primeira mostra os misturadores (2); e a segunda mostra o ensacamento da argamassa produzida.



Figura 45 - Vistas parciais da usina piloto em Várzea-PB. Fotos: CETEM/MCTI, 2011.

Para a montagem dessa usina piloto, vários equipamentos foram fabricados, no âmbito do projeto (moinhos de martelos, peneiras rotativas, misturadores, ciclones e filtros de manga e outros). A usina piloto de argamassa, instalada na área das empresas de beneficiamento, tem uma capacidade atual de produzir até 3 t/dia de argamassa. A primeira meta é aumentar a produção para 7 t/dia e poderia ainda expandi-la até 15 t/dia de argamassa, aproveitando assim maior quantidade de aparas oriundas das serrarias de quartzitos da região.

6.3. Mármore Bege Bahia - BA

A região árida de Ouroilândia, na Bahia, foi impulsionada pelo setor de rochas ornamentais e evoluiu muito nos últimos 10 anos. A região, onde um aglomerado de pequenos produtores produzia rudimentarmente o travertino conhecido comercialmente como “Mármore Bege Bahia”, passou por uma transformação tecnológica com a introdução do fio diamantado nas pedreiras e os teares diamantados no beneficiamento que, se bem tem melhorado os produtos e aumentado a produtividade também geram maiores quantidades de resíduos. A instalação da indústria de beneficiamento próxima às pedreiras viabilizou na extração, uma melhor seleção da matéria-prima, reduzindo dos custos de logística em aproximadamente 25% possibilitando agregar valor aos materiais, e o fim da atuação de mero exportador de matéria prima para outros Estados.

Entre 2001 e 2002 foram instalados os dois primeiros teares diamantados, dando início ao “Polo Produtivo do Mármore Bege Bahia”. Atualmente, o parque industrial conta com aproximadamente 11 empresas, onde estão instalados 14 teares diamantados nacionais e importados, politrizes e linha de ladrilhos. A produção mensal do polo de Ouroilândia soma aproximadamente 100 mil metros quadrados de chapas, ladrilhos e revestimentos em geral.

A extração e beneficiamento dessa rocha, assim como ocorre com outras rochas ornamentais e de revestimento, gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, oriundos de quebras das peças durante o corte, assim como resíduos finos, na forma de lama. Esses resíduos acabam sendo acumulados nas serrarias e pedreiras de onde são encaminhados para aterros próprios. No entanto, com o aumento da produção ao longo dos anos, a quantidade desses resíduos também tem aumentado, necessitando de soluções urgentes para seu uso. Por se tratar de material carbonático poderia parecer que a solução é simples, pois o carbonato de cálcio é a carga industrial mais utilizada, além de servir para uso direto na calagem para a agricultura, porém Ouroilândia encontra-se longe de grandes centros de forma que usos menos valorizados são inviabilizados pelo alto custo do transporte. Por esse motivo, a solução passa pelo desenvolvimento de usos de maior valor agregado ou projetos para o desenvolvimento de uma indústria local, a exemplo das fábricas de argamassa aqui mencionadas. A figura 46 mostra os depósitos de resíduos do mármore Bege Bahia em Ouroilândia.

No contexto de aplicação de resíduos, surgiu a indústria polimérica que consome uma grande quantidade de cargas minerais para materiais termoplásticos. As cargas são incorporadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento e, em particular, reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha. Para se estudar a viabilidade de se incorporar os resíduos do Bege Bahia a polímeros, amostras foram peneiradas até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, os resíduos foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e em seguida, foram desagregados para o processamento de compósitos poliméricos com polipropileno.



Figura 46 - Depósitos de resíduos do Mármore Bege Bahia. Fotos: CETEM/MCTI, 2007.

O processamento dos compósitos foi realizado por meio da extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, 20 mm, marca Teck Trill, com $L/D=36$, utilizando-se uma velocidade de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C. Os teores de resíduo utilizados foram: 0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50, em massa. Acoplada à extrusora, encontram-se uma mesa calibradora com sistema de refrigeração e uma calandra, para resfriar uniformemente a fita e puxar o material extrusado, respectivamente. Os materiais gerados foram avaliados segundo os valores de densidade, resistência mecânica e a intempéries.

A Figura 47 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, de resíduo de calcário Bege Bahia.

Os resultados indicaram a possibilidade de incorporação de até 50%, em massa, de resíduo na matriz de polipropileno, obtendo-se um compósito de baixa densidade e elevadas resistências mecânica e de alterabilidade. Dessa forma, sugere-se a geração de mobiliário escolar e urbano com esses materiais, bem como a confecção de materiais onde a redução de peso é importante, como peças automotivas e de aviação, uma vez que a densidade desse material, em torno de 1,2 g.cm⁻³ é extremamente baixa .

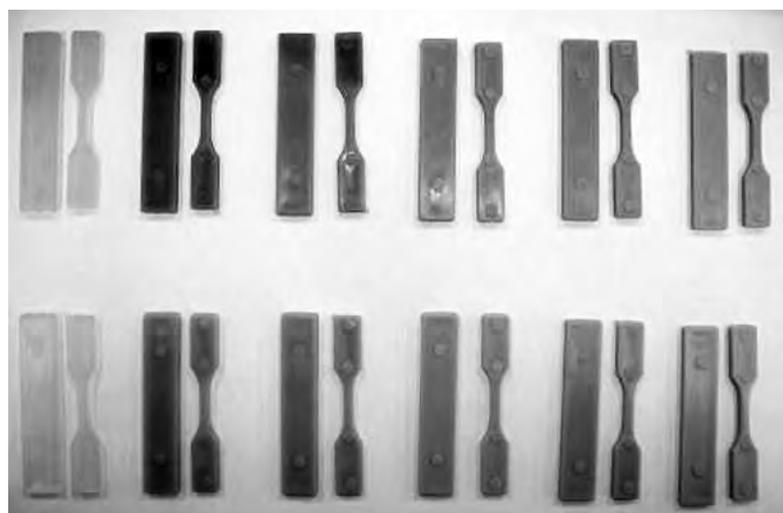


Figura 47 - Compósitos poliméricos obtidos com resíduos de Mármore Bege Bahia. Foto: CETEM/MCTI, 2008.

6.4. Pedra Cariri – CE

O calcário sedimentar, da bacia sedimentar do Araripe, comercializado como “Pedra Cariri” é explorado há mais de 40 anos para uso como rocha de revestimento, em lajotas naturais de diversos tamanhos, no Sul do Estado do Ceará, nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, nas encostas do flanco norte da Chapada do Araripe. A região tem uma grande vocação para a preservação ambiental e o turismo, destacando-se por seu patrimônio geomorfológico, florestal, geológico, paleontológico e arqueológico. A produção foi feita tradicionalmente de forma ilegal, predadora, sem mecanização e sem planejamento e em um ambiente de concorrência desleal entre os produtores, que levou à baixa qualidade dos produtos e à geração de importantes impactos ambientais. O principal deles foi a geração de uma enorme quantidade de resíduos; 2,4 milhões de toneladas, de acordo à quantificação realizada (PADILHA *et. al*, 2007). Esses resíduos foram dispostos de forma aleatória dentro e fora das áreas das pedreiras sendo seus principais impactos ambientais: o visual, o empobrecimento da vegetação, o assoreamento de córregos e riachos e a utilização de áreas reservadas à mata ciliar. A deposição desordenada desses materiais tem também um forte impacto no desenvolvimento das pedreiras, diminuindo a produtividade e chegando até a impedir o avanço das mesmas.

Os resíduos gerados na produção dessa rocha tinham seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo sua utilização mais nobre na composição de cimento de uma grande empresa da região, onde eram consumidas 10.000 t/mês. As Figuras 48 e 49 apresentam o impacto nos riachos e o estrangulamento das atividades, pelo acúmulo dos resíduos da Pedra Cariri.



Figura 48 - Córrego assoreado e margens ocupadas com resíduos. Foto: CETEM/MCTI, 2009.



Figura 49 - Resíduos acumulados em pedraira. Foto: CETEM/MCTI, 2004.

Para os resíduos sólidos acumulados ao longo do tempo, em torno de um milhão de m³, foi feita pelo CETEM, uma caracterização química, visando seu aproveitamento e os resultados médios são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios das análises químicas dos resíduos da Pedra Cariri.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	Teor(%)										
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	K ₂ O	SO ₃	SrO	MnO	P ₂ O ₅
Nova Olinda	42,5	53,9	0,78	1,16	0,270	0,81	0,027	0,041	0,046	0,069	0,19	0,045
Santana do Cariri	43,3	54,0	0,88	0,44	0,089	0,49	0,019	0,024	0,146	0,071	0,18	0,058

Devido ao alto conteúdo em carbonato de cálcio, os materiais de Nova Olinda e Santana do Cariri podem ser utilizados, a princípio, em muitos tipos de aplicações industriais. Mesmo para aquelas que requerem teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ mais altos do que os apresentados nas amostras analisadas, o calcário do Cariri poderia ser utilizado quando blendado com outros compostos. Os resultados da caracterização realizada indicaram que sua utilização, em forma natural, em aplicações como corretivo de solos, ração animal, ou como carga industrial para a fabricação de borracha, cimento e siderurgia, seria viável.

Uma empresa localizada em Barbalha - CE utilizava, em 2009, na produção de cimento, em sua fábrica, exclusivamente, resíduos de Pedra Cariri, por convênio com o APL, consumindo cerca de 10.000 toneladas de resíduo por mês.

Nas operações de lavra e beneficiamento são gerados também resíduos finos, misturados à água de refrigeração dos discos diamantados de corte. No decorrer do projeto de Implementação do APL do Cariri, foi realizado no CETEM um estudo desses efluentes e dimensionados tanques de sedimentação, visando recirculação da água (CASTRO *et. al.*, 2007). O material fino resultante do processo de sedimentação foi caracterizado para verificar sua utilização industrial e após um processo de peneiramento, verificou-se que cerca de 90% do material apresentava tamanho de partícula igual ou inferior a 0,02 mm. Baseado nisto e na composição química média (Tabela 3) foi realizado um levantamento da indústria local e regional consumidora de calcário e realizados estudos para aplicação desse resíduo. Obtiveram-se os seguintes resultados positivos (VIDAL; CASTRO, 2008):

- a) Calcário agrícola: os resíduos apresentam um teor de óxido de magnésio inferior ao necessário para essa aplicação. Porém, os testes realizados na EMBRAPA, demonstraram sua viabilidade quando mixados com outros compostos, sendo a melhor sugestão a mistura com magnesita e gipsita, por causa da abundância desta última na região (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados das análises químicas das diferentes composições do MIX.

Material ou MIX	% CaO	% MgO	requerimentos mercado
Resíduo da pedra Cariri	51,47	1,11	CaO + MgO >48%
60% Resíduo + 40% Magnesita <i>in Natura</i>	31,61	18,58	>10 % MgO
70% Resíduo + 30% Magnesita Calcificada	36,57	17,25	
50% Resíduo + 35% Magnesita + 15% Gesso Agrícola	30,69	16,49	100 % < 2 mm
50% Resíduo + 35% Magnesita Calcificada + 15% Gesso Agrícola	30,69	20,04	50 % < 0,30mm

- b) Ração animal: os resultados para essa aplicação estão apresentados na Tabela 5 e mostram a viabilidade do uso desses resíduos, após moagem, no caso dos grossos, e diretamente no caso dos finos das serrarias.

Tabela 5 - Características físico-químicas dos resíduos grossos e finos da Pedra Cariri.

Substância / Propriedade	requerimentos	Grossos	Finos
CaO (mínimo)	36 %	53,9 %	53,4 %
MgO (máximo)	1,5 %	0,78 %	1,4 %
K ₂ O (máximo)	1 %	0,041 %	<0,01 %
F (máximo)	3 %	0,81 % (Fe ₂ O ₃)	0,60 % (Fe ₂ O ₃)
As (máximo)	4 ppm	--	--
Pb (máximo)	20 ppm	--	--
Umidade (máxima)	3 %	--	--
Tamanho das partículas	100% < 74 µm	--	80 % < 20 µm

- c) **Esmalte**: foram realizados testes para o uso do resíduo da Pedra Cariri na fabricação de esmalte para indústria eletrocerâmica. Os resultados foram positivos, obtendo-se um esmalte de boa qualidade, porém de cor bege opaco. Considerando que 16% da composição desse esmalte é carga de calcário, aconselha-se seguir esta linha de pesquisa com outros produtos cerâmicos em empresas da região.
- d) **Argamassa**: os estudos para uso do resíduo do calcário do Cariri na formulação de argamassa, conduzidos pela UFPE, concluíram que sua utilização em substituição de uma parte do cimento é viável. Silva (2008) verificou que o uso do calcário no lugar do cimento produz uma perda na resistência à compressão, porém, essa resistência não diminui a partir do sétimo dia de cura, o que não compromete seu uso na fabricação de argamassa.
- e) **EVA**: testes realizados em uma pequena fábrica de produtos de EVA, na qual 40% da carga é constituída de calcário, tiveram resultados promissores com a utilização desse resíduo, com exceção daqueles para os quais fosse exigida a cor branca.

7. Agradecimentos

Agradecemos a colaboração dos colegas do CETEM, Júlio Guedes, Francisco Hollanda e Rosana Coppedê, que muito nos ajudaram na organização e conteúdo deste capítulo. Agradecemos também a Flávia Karina Godói e Eder Ferreira Framil, do IEMA, ao Arquiteto Renato Paldés, a Associação Ambiental Monte Líbano – AAMOL e às empresas Volpi Equipamentos, Pedra Mosaico Português César e Carvalho Mármore e Granitos pela disponibilização de imagens e informações.

8. Bibliografia e referências

ALMEIDA, Salvador Luis Matos de; PONTES, Ivan Falcão. Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras. Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais / Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro, 2002. p. 89-100.

BABISK, Michelle Pereira. Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. 2009. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais), Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro – RJ. 2009.

BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. Flotação no Tratamento de Minérios. Recife. Departamento de Engenharia de Minas/UFPE. 2008.

BARRAL SILVA, M. T. *et al.* Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils, *Chemosphere* 61. 2005. p. 993-1002.

BOCCACCINI, A. R. *et al.* Glass matrix composites from coal fly ash and waste glass, *Waste Manage* 17, 1. 1997. p. 39-45.

BUZZI, Daniella Cardoso; Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais. 2008. 365f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2008.

CAJATY, A. A. *et al.* Rochas Ornamentais do Ceará – Aproveitamento de Rejeitos da Pedreira Asa Branca em Santa Quitéria – CE. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais/ II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro, 2002. p. 101-106.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME. Anais...Ouro Preto – MG. Novembro 2007.

CAMPOS, Antonio Rodrigues de; CASTRO, Nuria Fernández; VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. VII Seminário Nacional de Rochas Ornamentais do Nordeste – VII SRONE. Anais...Fortaleza. Novembro 2009.

CARRETERO, M. I.; POZO, M. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical and cosmetic industries Part II. Active ingredients, Applied Clay Science, 2009.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Britagem, Peneiramento e Moagem. Vol. 3. 1a ed. 1. São Paulo. 1999.

CHIODI FILHO, Cid. Comercialização de Rochas Ornamentais no Brasil e no Exterior – Potencial, Avanços e Perspectivas do Setor. Segunda Feira de Minerais e Rochas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 15 abril de 2009. in: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6665/Apresenta_Recife2009.pdf. Acessado em 14/03/2010.

COSTA, C. N. Valorização de resíduos de pedreiras de mármore como agregados secundários para a construção Rochas de Qualidade, Ano XXXVII, Edição 183, Julho/Agosto 2005 ISSN 0102-4531, EMC Editores Associados, São Paulo, Brasil, 2005.

EUROSTAT – Statistics Explained. European Commission. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics_-_long-term_trends. Acesso em: 10/10/2012.

FERNANDES, H. R.; TORRES, P.; AGATHPOULOS, S.; TULYAGANOV, D. AND FERREIRA, J. M. F., Utilization of solid wastes from granite cutting processing in porcelain industry, Al-Azhar Bulletin of Science, 2003. p. 33-43.

FRAMIL, Eder Ferreira. Relatório de aterros de lama do beneficiamento de rochas ornamentais. IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Vitória, 2013. Planilha de dados enviada por correio eletrônico em 14/03/2013.

GODOI, Flávia Karina Rangel. O desafio do Licenciamento para Micro e Pequenas Empresas. Palestra proferida na VI Seminário Nacional de APL de Base Mineral, Rio de Janeiro, 8 out/2009.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/>>. Acesso em: 18 abril de 2013.

ITEP - Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco. Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, In Memorian Prof. Paulo Abib Andery, . ITEP: Recife, 1980. 399p.

HOLANDA, J. N. F.; MANHÃES, J. P. V. T; MOREIRA, J. M. S. Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste, Journal of materials processing technology, 196. 2008. p. 89-93.

LIMA FILHO, V. X. *et al.* Estudo da viabilidade técnica da substituição dos pós cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Anais. Nov/2000, Natal/RN.

LUZ, Adão Benvindo; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. . Tratamento de Minérios - Quinta Edição. 5. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, v. 1. 2010. 965p.

MACDARMA. Produtos. Disponível em: <http://www.macdarma.com.br/espiral.html>. Acesso em 10/04/2013.

MACHADO, Ramires Ventura; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; ANDRADE, Felipe Vaz. Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais, XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Helber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p. 303-313, 2002, Campina Grande, PB, DEAg/UFGG.

MORANI, Beatriz Martins; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; CARANASSIOS, Adriano. Utilização do rejeito oriundo do corte de mármore como carga e recobrimento de papel. XVI Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

MOREIRA, J. M. S., FREIRE, M. N. E HOLANDA J. N. F, Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. Cerâmica vol.49 n.312 São Paulo Out-Dez/2003.

PALDÉS, Renato J. Ávila. Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais na Arquitetura e seu uso em Vias Públicas. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais / VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal. 2008.

PEDRA MOSAICO PORTUGUÊS CESAR. Fotografias enviadas por correio eletrônico em maio de 2013. <http://www.pedramosaicoportuguescesar.com.br>. Último acesso: 26/08/2013.

PELINO, M., CANTALINI, C., VEGLIÓ, F. AND PLESCIA, P., Preparation of glasses obtained by recycling of goethite industrial wastes to produce glass-ceramics materials, J. Mat. Sc. 28, 1993. p. 2087-2094.

PONTES, Ivan Falcão; STELLIN Jr., Antonio. Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas indústrias de construção civil. Anais Volume 2. XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (XXI ENTMMME) realizado em Natal, RN - 20 a 24 de novembro de 2005. 607p.

PORTO, Adriana. Aula de Concurso para Professor Efetivo, na disciplina Tratamento de Minérios. Instituto Federal da Paraíba – IFPB. Novembro 2011.

PREZOTTI, J. C. S. *et al.* Identificação e gerenciamento dos resíduos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais localizadas no município de nova Venécia/ES. XXX Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 26 a 30 de novembro de 2006, Anais....Punta del Este – Uruguai. 2006.

CBPM. Programa Prisma Apresentação Interna, mídia eletrônica. 2006.

ROMÃO, Maria Luísa, 1998, Elementos Estatísticos sobre a Indústria Extractiva em Portugal no ano de 1997. Bol.Minas, v. 36 n 1. Lisboa. 1999. p. 37-60.

SILVA, D. C.; VIDAL, F. W. H. Aproveitamento Econômico de Rejeitos de Lavra de Granitos nas Pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena, do Livro Rochas Industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza: Ed. Livro Técnico, 2003. p. 341-360.

SOUZA, Larissa Ribeiro de; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição; CARRISSO, Regina Coeli Caseres. Aplicação de rejeitos oriundos do corte de mármore como carga na indústria polimérica, XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem, Rio de Janeiro – RJ. 2008.

VAN STRAATEN, P, Agroteology – The use of rocks for crops, University of Guelph, 2007. 440p.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda. Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Anais IV Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Fortaleza. Nov/2003. p. 221 - 229.

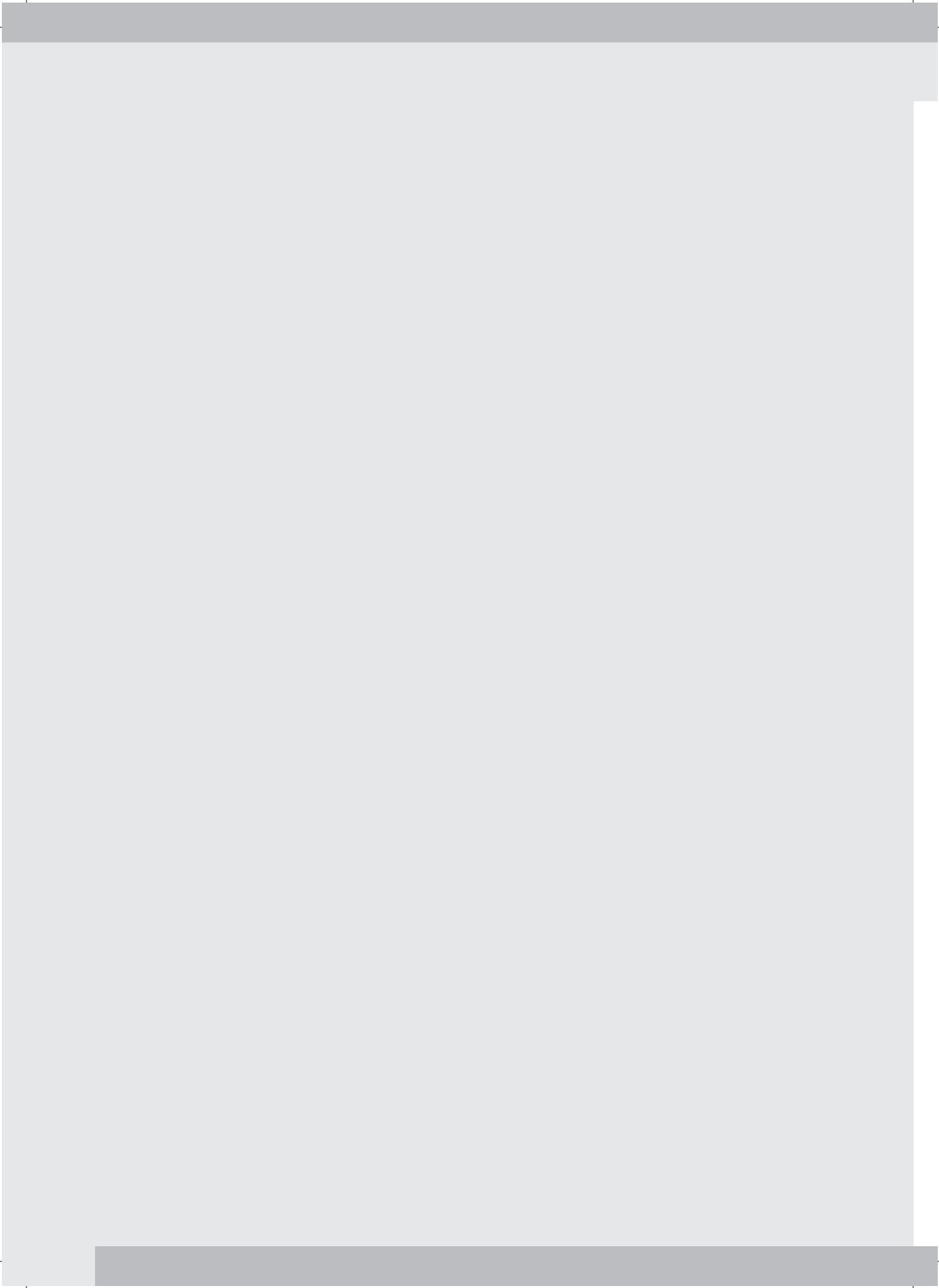
VOLPINI, E. Informações e fotografias da empresa Volpi Equipamentos enviadas por correio eletrônico em maio e agosto de 2013. www.volpiequipamentos.com.br. Último acesso em: 26/08/2013.

Capítulo 10

O setor de rochas ornamentais no Brasil

Cid Chiodi Filho, geólogo, consultor da ABIROCHAS

Denize Kistemann Chiodi, geóloga, Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos



1. Panorama setorial

1.1. Histórico recente

A partir da década de 1990, o Brasil experimentou um notável adensamento de atividades em todos os segmentos da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais e de revestimento¹. Os principais avanços foram decorrentes do aumento das exportações, que evidenciaram uma forte evolução qualitativa e quantitativa.

Qualitativamente, foi modificado o perfil das exportações, com o incremento da venda de rochas processadas semiacabadas, principalmente chapas polidas de granito, bem como produtos acabados de ardósias e quartzitos foliados. Quantitativamente, essas exportações evoluíram de 900 mil toneladas em 1997, para 2,5 milhões em 2007, alavancadas pelas vendas de chapas polidas para os EUA e de blocos para a China.

No ano de 2006, o Brasil chegou assim, a colocar-se como o quarto maior produtor e exportador mundial de rochas ornamentais e de revestimento, superando vários *players* europeus tradicionais e notabilizando-se pela excepcional geodiversidade de suas matérias-primas. O crescimento brasileiro foi simpático a uma expressiva rearticulação mundial do setor, marcada pelo deslocamento de atividades de lavra e beneficiamento para países extra europeus, como China, Índia, Turquia, Irã e o próprio Brasil (Figs. 1 e 2).

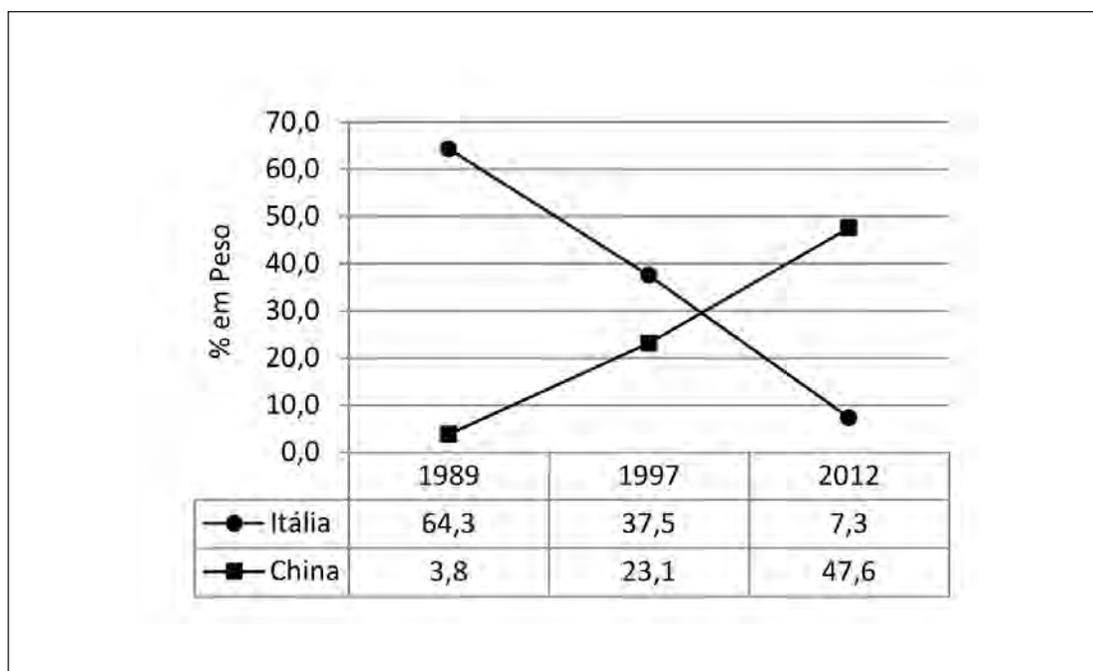


Figura 1 - Evolução da participação relativa da China e Itália no mercado internacional de rochas processadas especiais – Código NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) 6802. Fonte: Montani (2013).

¹ Neste texto, designam-se como rochas ornamentais e de revestimento apenas os materiais rochosos naturais, excluindo-se os produtos aglomerados industrializados a partir de ligantes resinoides.

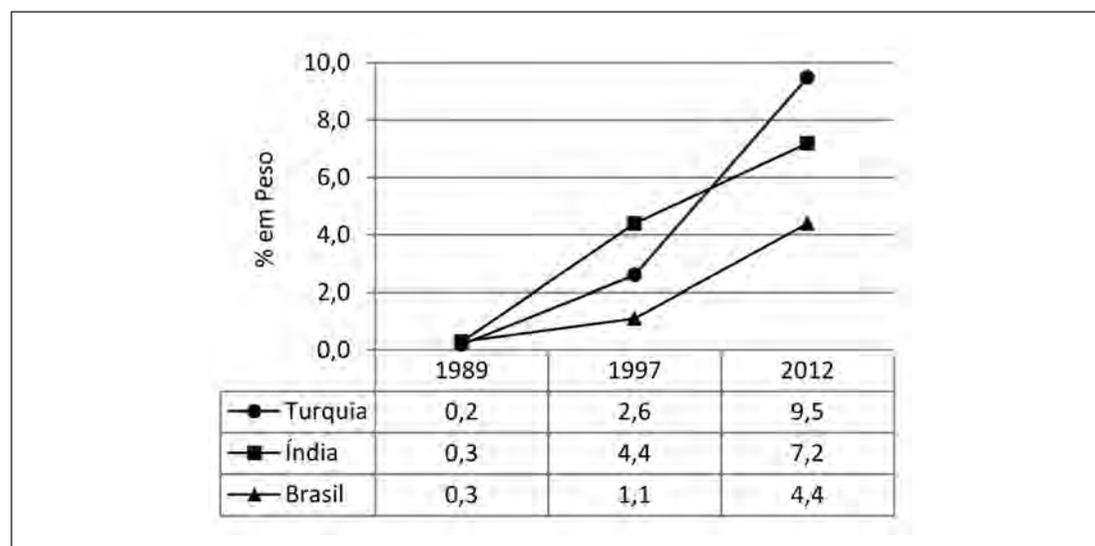


Figura 2 - Evolução da participação relativa da Índia, Brasil e Turquia no mercado internacional de rochas processadas especiais – Código NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) 6802. Fonte: Montani (2013).

A partir de 2008, primeiro com o acontecimento da crise do mercado imobiliário dos EUA, e, posteriormente, já em 2009, com a recessão da economia mundial, recuaram tanto a produção quanto, sobretudo, as exportações brasileiras de rochas ornamentais. O volume físico dessas exportações recuou de 2,5 Mt em 2007 para 1,99 Mt em 2008 e 1,67 Mt em 2009, enquanto que o faturamento caiu, respectivamente, de US\$ 1,1 bilhão para US\$ 955 milhões e US\$ 724 milhões.

Também a partir de 2008, e principalmente em 2009, por outro lado, registrou-se um expressivo aquecimento no mercado imobiliário brasileiro, que se tornou um alvo importante para os grandes fornecedores mundiais de revestimentos, bem como uma alternativa real para as exportações.

As exportações avançaram mais do que o esperado em 2010, com faturamento de US\$ 959,19 milhões e um volume físico comercializado de 2,24 Mt. Frente a 2009, essas exportações tiveram variação positiva de 32,47% no faturamento e de 33,90% no volume físico, retornando ao patamar de 2008 (US\$ 954,5 milhões), porém com maior participação de rochas brutas no total exportado. As vendas externas continuaram muito polarizadas nos EUA, que compraram chapas polidas para recomposição de estoques, e na China, cujo mercado da construção civil, bem como a economia em geral, não parou de crescer e demandar blocos de granitos brasileiros.

O ano de 2011 foi marcado pela desaceleração da economia chinesa e pelo aprofundamento da crise econômica dos países da zona do euro. Apesar do fraco desempenho de sua economia, permaneceu ativo o mercado de recompra e reforma de imóveis usados nos EUA, o que novamente posicionou o Brasil como principal fornecedor de rochas para esse país. As exportações brasileiras de rochas ornamentais totalizaram US\$ 999,8 milhões e 2,19 milhões de toneladas em 2011. Registrou-se ainda o início de uma rápida mudança tecnológica no parque brasileiro de beneficiamento de chapas pela substituição dos teares multilâmina por teares multifio diamantados.

Em 2012 essas exportações somaram US\$ 1.060,42 milhões e 2,24 Mt, marcando variação positiva de respectivamente 6,08% e 2,27% frente a 2011. Acentuou-se, por outro lado, a queda do faturamento e da participação das vendas de ardósias e quartzitos foliados nas exportações brasileiras.

Uma nota também importante para o ano de 2012 foi o aumento da participação de rochas processadas nas exportações do setor, o que representou uma inversão da tendência assinalada desde 2008. A agregação dos teares multifio diamantados e a desvalorização do real, no 1º semestre de 2012, resultaram em uma ampliação das margens de lucratividade e melhoria da competitividade das empresas.

No período de janeiro a setembro de 2013, as exportações brasileiras de rochas somaram US\$ 979,24 milhões e 2,01 Mt, já quase igualando o total exportado em todo o ano de 2012. Registrou-se, assim, variação positiva de 21,60% no faturamento e de 18,38% no volume físico, frente ao mesmo período de 2012. Deve-se, portanto, ultrapassar o recorde histórico de US\$ 1,1 bilhão registrado em 2007, podendo-se projetar exportações de US\$ 1,3 bilhão em 2013.

Como indicadores de tendência mais expressivos nos últimos 10 anos, em termos brasileiros e mundiais, podem-se apontar, sucintamente, os seguintes:

- Crescimento da China no mercado internacional;
- queda da participação dos *players* europeus no mercado internacional;
- formação e estouro de uma bolha imobiliária no mercado dos EUA;
- contaminação e crise econômica nos EUA e países da zona do euro, por indução do estouro da bolha imobiliária norte-americana;
- evolução dos projetos de promoção das exportações contemplados nos convênios entre a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos – Apex e a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – Abirochas;
- aumento significativo da participação brasileira no mercado dos EUA, com chapas polidas de granito e rochas similares;
- polarização das exportações brasileiras para os EUA (chapas) e China (blocos), com redução das exportações para a Itália e outros países europeus;
- ciclo de crescimento e retração das exportações brasileiras de produtos de ardósia e quartzitos foliados;
- aquecimento do mercado imobiliário brasileiro, a partir da segunda metade da década de 2000;
- publicação do Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos, pela Abirochas;
- dificuldades competitivas das exportações brasileiras, pela sobrevalorização do real no período de 2005 a 2011;
- incremento da lavra de maciços rochosos, em detrimento daquela de matacões;
- incremento da utilização de fio diamantado na lavra e no beneficiamento;
- incremento das importações brasileiras de teares, primeiro dos multilâmina convencionais e, mais recentemente, dos multifio diamantados;
- concentração das atividades de serragem e polimento no Estado do Espírito Santo;

- diversificação da produção de rochas no Brasil, envolvendo os denominados materiais exóticos, com destaque para pegmatitos e rochas quartzíticas; e
- especialização brasileira na lavra e beneficiamento de granitos, materiais exóticos e rochas duras em geral.

1.2. Perfil de atividades

Estima-se que os negócios brasileiros do setor, nos mercados interno e externo, inclusive relativos a serviços e à comercialização de máquinas, equipamentos e insumos, tenham movimentado cerca de US\$ 4,6 bilhões em 2012². Cerca de 10.000 empresas (Tabela 1), dentre as quais pelo menos 400 exportadoras, integram sua cadeia produtiva e respondem por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos.

Tabela 1 - Empresas do Setor de Rochas Operantes no Brasil, 2012.

Segmento	Nº Estimado de Empresas	Participação
Marmoraria	6.100	61,0%
Beneficiamento	2.000	20,0%
Lavra	1.000	10,0%
Exportadoras	400	4,0%
Serviços	300	3,0%
Depósitos de chapas	100	1,0%
Indústrias de Máquinas, Equipamentos e Insumos	100	1,0%
Total	10.000	100%

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

As marmorarias perfazem mais de 60% das empresas do setor, que é, aliás, essencialmente formado por micro e pequenas empresas. As marmorarias são também responsáveis pela maior parte dos empregos agregados ao setor de rochas no Brasil, conforme apontado na Tabela 2. Destaca-se que, no Brasil, é de apenas US\$ 10 mil o custo estimado para a geração de um emprego direto no setor de rochas, contra algumas centenas de milhares de dólares, por exemplo, na indústria automobilística.

Tabela 2 - Distribuição dos Empregos por Ramo de Atividade na Cadeia Produtiva do Setor de Rochas Ornamentais, 2012.

Segmento	Nº Estimado de Empregos	Participação
Marmoraria	60.000	50,0%
Beneficiamento	32.000	26,7%
Lavra	18.000	15,0%
Ensino e Serviços	3.000	2,5%
Exportadoras	2.000	1,7%
Indústrias de Máquinas, Equipamentos e Insumos	2.000	1,7%
Depósitos de chapas	1.000	0,8%
Total	120.000	100%

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

² Este texto foi elaborado em setembro/2012 e atualizado em novembro/2013, sendo, portanto, de 2012 as últimas informações anualizadas para o Brasil (foram apenas inseridos dados relativos às exportações e importações brasileiras no período de janeiro a setembro de 2013).

O parque brasileiro de beneficiamento tem capacidade instalada, de serragem e polimento de chapas, para cerca de 78 milhões de metros quadrados por ano, a partir de rochas extraídas em blocos e caracterizadas por gerarem a maior parte dos denominados produtos de processamento especial. Esta capacidade é acrescida de mais 50 milhões de metros quadrados por ano em produtos de processamento simples, obtidos principalmente a partir de rochas portadoras de planos naturais de deslocamento (ardósias, quartzitos e gnaisses foliados, calcários e basaltos plaqueados etc.).

O perfil do parque brasileiro de beneficiamento primário indica uma nítida preferência para o corte/serragem de chapas grandes, envolvendo os referidos teares multilâmina convencionais, os teares multilâmina diamantados e uma participação já bastante expressiva de teares multifio diamantados. Conforme se pode observar na Tabela 3, é muito pequena a capacidade de serragem baseada na tecnologia de talha-blocos multidisco.

Tabela 3 - Perfil Tecnológico e Capacidade Instalada do Parque Brasileiro de Serragem de Chapas, 2012.

Estados	Teares Multilâmina de Aço	Teares Multifio Diamantados	Teares Multilâmina Diamantados	Talha-Blocos Multidisco	Capacidade de Serragem (106 m ² /ano)
Espírito Santo	1.020	150	6	6	57,0 (73%)
São Paulo	15	4	-	-	1,5
Rio de Janeiro	8	3	-	-	1,0
Paraná	8	2	1	-	1,5
Minas Gerais	22	-	4	-	2,5
Rio Grande do Sul	16	2	-	-	2,5
Bahia	18	-	16	6	3,0
Ceará	25	-	-	6	5,0
Pernambuco	6	1	-	-	-
Santa Catarina	8	5	-	-	1,4
Alagoas	9	-	-	-	0,5
Pará	4	-	-	-	-
Paraíba	9	1	-	2	0,6
Goiás	8	-	-	-	0,7
Rio Grande do Norte	2	-	1	2	0,2
Sergipe	6	-	3	-	0,2
Mato Grosso	5	-	-	-	0,2
Rondônia	5	-	-	1	0,2
Roraima	2	-	-	-	-
Total	1.196	168	31	23	
Capacidade de Serragem (106 m ² /ano)	55,0	20,0	2,0	1,0	78,0

Acredita-se que até 2020, visando ao atendimento dos mercados interno e externo, a capacidade brasileira de serragem de chapas poderá superar 100 milhões de metros quadrados por ano, com cerca de 80% dessa capacidade representada por teares multifio diamantados. Registra-se, a propósito, que os cerca de 1200 teares multilâmina de aço atualmente operantes no Brasil, possam ser substituídos por não mais de 400 teares multifio diamantados, considerando-se os modelos de 4 a 82 fios já ofertados no mercado.

A maior parte das atividades de lavra e beneficiamento primário concentra-se em arranjos produtivos locais, como os de mármore e granitos do Espírito Santo, de ardósias e quartzitos foliados de Minas Gerais, de gnaisses foliados do Rio de Janeiro, de basaltos plaqueados do Rio Grande do Sul, de travertinos da Bahia, de calcários plaqueados do Ceará etc. Os estados da região sudeste do Brasil, com destaque para São Paulo, têm a maior concentração de marmorarias (cerca de 70% do total brasileiro), além da maior capacidade instalada para trabalhos de acabamento.

A estrutura de preços dos diversos produtos comerciais do setor de rochas é bastante diferenciada entre os mercados interno e externo. Os preços de produtos brasileiros para o mercado interno são quase sempre inferiores àqueles praticados para o mercado externo, mas o diferencial existente reduziu-se nos últimos três anos. Este diferencial pode oscilar para menos nos mármore (1:1) e para mais nas ardósias (1:10). Os melhores produtos brasileiros são preferencialmente exportados, apesar de uma oferta cada vez maior de produtos de primeira linha para o mercado interno.

Os produtos semiacabados, a exemplo das chapas polidas, agregam em média quatro vezes mais valor de comercialização que o dos blocos das matérias-primas que lhes deram origem. Os produtos acabados, como tampos de pias, mesas e balcões, dentre outros, agregam até dez vezes mais valor que o de suas matérias-primas. A partir dos dados registrados para as exportações brasileiras de 2012, apresenta-se na Tabela 4 o preço médio dos principais grupos de produtos colocados no mercado internacional.

Tabela 4 - Preço Médio dos Principais Produtos Brasileiros de Exportação no Setor de Rochas, 2012.

Produtos	Preço Médio	Faixa de Variação do Preço	Códigos Fiscais de Referência
Blocos de granito e similares	US\$ 600/m ³	US\$ 300 - 1.500/m ³	2516.12.00 2516.11.00
Blocos de mármore e similares	US\$ 900/m ³	US\$ 600 - 1.200/m ³	2515.12.10
Chapas polidas de granito	US\$ 50/m ²	US\$ 30 - 200/m ²	6802.93.90 6802.23.00
Chapas polidas de mármore	US\$ 70/m ²	US\$ 35 - 150/m ²	6802.21.00 6802.91.00
Produtos de ardósia	US\$ 14/m ²	US\$ 10 - 25/m ²	6803.00.00
Produtos de quartzito foliado	US\$ 20/m ²	US\$ 12 - 40/m ²	6801.00.00
Produtos de pedra-sabão	US\$ 80/m ²	US\$ 60 - 120/m ²	6802.29.00

Fonte: Chiodi Filho, 2013. Dados compilados a partir da Base Alice do MDIC.

1.3. Pesquisa e desenvolvimento

O Estado do Espírito Santo é o que conta com a maior oferta de cursos, tanto profissionalizantes quanto de nível técnico e superior voltados especificamente para o setor de rochas ornamentais.

O Instituto Federal do Espírito Santo – IFES oferece, desde 2005, em Cachoeiro de Itapemirim, e, desde 2008, em Nova Venécia, o curso técnico de mineração, direcionado, em grande parte, à produção de rochas ornamentais. No nível superior, a mesma unidade conta, desde 2009, com o curso de Engenharia de Minas e na cidade de Alegre, a Universidade Federal do Espírito Santo – UFES oferece, desde 2007, o curso de Geologia. Além desses, no Espírito Santo, a Faculdade Tecnológica de Cachoeiro de Itapemirim – FACI e a Faculdade de Tecnologia São Francisco – UNESF, localizada em Barra do São Francisco, formaram várias turmas em Tecnologia em Rochas Ornamentais. Infelizmente, ambos os cursos fecharam, principalmente, por falta de alunos. Outras iniciativas recentes de formação técnica e superior (eletromecânica, engenharia civil etc.) estão sendo desenvolvidas nesse Estado.

O Centro Tecnológico do Mármore e Granito – CETEMAG, em Cachoeiro de Itapemirim, promove regularmente cursos de capacitação para as áreas de extração (fio diamantado; blaster; classificador de blocos) e serraria (segurança e movimentação de cargas; serrador; inspeção de chapas; resinagem; polidor; operador de máquinas; encarregado de serraria). Na mesma cidade, a unidade do SENAI oferece cursos profissionalizantes que totalizam 800 horas, visando à formação de jovens aprendizes para sua inserção na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais. Por último, a Prefeitura Municipal de Cachoeiro de Itapemirim, mediante um acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e o Campus do IFES em Cachoeiro de Itapemirim, conta com um Centro Vocacional Tecnológico – CVT cujo principal objetivo é capacitar a comunidade para trabalhar no setor de rochas ornamentais.

Fora do Espírito Santo, poucas universidades oferecem disciplinas ou trabalham especificamente com as rochas ornamentais, destacando-se os departamentos de Geologia da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP em Rio Claro, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE em Recife e da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG em Belo Horizonte, e o Departamento de Geotecnia da Universidade de São Paulo em São Carlos, com ampla produção de teses e dissertações sobre rochas ornamentais, tecnologia de produção e uso, aplicação e manutenção desses materiais.

Com exceção dos cursos citados, existem poucas cadeiras específicas sobre rochas ornamentais oferecidas nas grades curriculares dos cursos de graduação em Geologia, Engenharia e Arquitetura, como é o caso da UFPE, que oferece uma disciplina específica na graduação de Arquitetura e Urbanismo; a Universidade Federal do Ceará – UFC, com uma disciplina na pós-graduação sobre caracterização de rochas ornamentais e o da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, que oferece um curso de especialização *latu senso*. Também não existe formação específica para rochas ornamentais nos cursos que habilitam técnicos de mineração em outros estados do Brasil. Cabe, neste caso, registrar a iniciativa da Pedreira-Escola no Estado da Bahia, resultado de parceria entre o setor público e empresas em um projeto iniciado pela CBPM – Cia. Baiana de Pesquisa Mineral. Por último, a Escola SENAI Mário Amato (SP), por meio do Núcleo de Tecnologia em Mármore e Granitos “Valter Peres Fortunato”, promove cursos técnicos sobre especificações de rochas ornamentais: medidor; cortador e furador; acabador; operador de ponte rolante; colagem; custos industriais; movimentação de materiais; técnicas de processamento de rochas.

Os dois principais laboratórios comerciais de caracterização tecnológica de rochas para revestimento estão localizados no Estado de São Paulo (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT do Estado de São Paulo e Escola SENAI Mário Amato).

O Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, unidade de pesquisa do MCTI, implantou, em 2007, o Núcleo Regional do Espírito Santo – CETEM-ES, na cidade de Cachoeiro de Itapemirim, com o

objetivo de desenvolver tecnologia para a produção sustentável das rochas ornamentais e outros minerais de interesse regional. O Centro já patenteou alguns processos e produtos nesta linha de pesquisa. O CETEM-ES também presta serviços às empresas do setor como a realização de ensaios de caracterização tecnológica de rochas e a elaboração de laudos sobre consumo de insumos de produção que podem receber os benefícios de isenção de imposto de importação. Menciona-se ainda a Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, do Rio Grande do Sul, que é atualmente o único laboratório de rochas ornamentais acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia Industrial – INMETRO. Outras entidades que contam com laboratórios de caracterização são a Fundação Núcleo de Tecnologia – NUTEC, do Ceará; a UFMG, em Belo Horizonte; a UNESP, em Rio Claro; e a Universidade Estadual da Bahia – UNEB, em Salvador. Em Cachoeiro de Itapemirim, há um laboratório exclusivamente comercial, o FACL.

Novos mecanismos de regulamentação comercial, que algumas vezes sugerem iniciativas de barreiras não tarifárias, têm sido estabelecidos e afetam o setor. Um deles é o denominado *Natural Occurrence of Radioactive Materials* – NORM, caracterizado quando existe manifestação ou ocorrência de radioatividade em materiais naturais ou artificiais, ao qual o setor de rochas está sujeito, por exemplo, no mercado dos EUA.

Também está sendo definida uma nova legislação de controle de substâncias químicas exportadas para a União Europeia, a qual se denomina *Register Evaluation and Authorization of Chemicals* – REACH. Esta legislação estabelece que todas as substâncias químicas exportadas para a União Europeia, comercializadas como tal ou como componentes de preparações e de artigos, devem se enquadrar nas suas regras. O REACH, no setor de rochas ornamentais, aplica-se para produtos tratados com resinas (principalmente de polimento) e hidro-óleo-repelentes ou quando se utilizam embalagens plásticas ou de madeira tratada.

É preciso insistir no aperfeiçoamento tecnológico continuado dos processos produtivos da lavra e serragem de blocos, na exportação de chapas e na qualificação das marmorarias brasileiras. Essas seriam formas adequadas de assegurar o desenvolvimento e a competitividade brasileira do setor de rochas ornamentais, tanto no mercado interno quanto externo.

O aperfeiçoamento da lavra depende de uma aplicação cada vez mais intensiva das técnicas de corte a frio, principalmente com fios diamantados. O aperfeiçoamento qualitativo e a adequação quantitativa do parque brasileiro de beneficiamento primário, envolvendo a serragem de blocos, dependem, por sua vez, da agregação de teares multifio diamantados, em substituição àqueles multilâmina de aço. A qualificação de marmorarias, ou das atividades de marmoraria, depende da agregação tecnológica de máquinas de acabamento de face e bordas, de tornos multifuncionais automáticos; e, talvez mais importante, de teares multifio menores para trabalhos seriados.

Com relação às marmorarias, quase todas as possibilidades aventadas dependem do uso compartilhado de máquinas e equipamentos, ou seja, de parcerias técnicas e comerciais entre empresas. A agregação dos teares multifio, particularmente, representa o que se pode chamar de verticalização descendente da cadeia produtiva, inversa àquela que tradicionalmente ocorre quando uma empresa de lavra também passa a executar o beneficiamento primário dos blocos.

1.4. Perspectivas e indicadores

É preciso encontrar novos vetores de incremento das exportações, para além do patamar de US\$ 1 bilhão/ano. As melhores perspectivas incluem: a venda de chapas, preferencialmente poli-

das, mas até de chapas brutas, para a China e outros países asiáticos, sobretudo Japão e Coreia do Sul; o incremento da venda de chapas para Canadá e México, além dos EUA; o incremento da participação dos países do Oriente Médio nas exportações brasileiras de chapas; e a venda de produtos finais e atendimento de obras, talvez a partir de grupos de marmorarias exportadoras.

Mesmo que desejável, não se pode esperar que o incremento das vendas de blocos de granito, bem como de produtos de ardósia e quartzito foliado, permita o almejado salto quantitativo do faturamento das exportações brasileiras.

O mercado interno brasileiro continuará representando uma fatia importante da base de comercialização dos produtos do setor de rochas. Neste sentido, o Brasil deverá tornar-se cada vez mais atrativo para produtos e máquinas do setor.

A regulamentação de questões ligadas a ex-tarifários, CFEM – Compensação Financeira pela Exploração Mineral, *drawback*, impostos estaduais, NORM, REACH etc., continuarão representando matérias de muito interesse para o setor, assim como a privatização dos portos, implantação dos novos vetores logísticos de integração nacional, sobretudo ferroviários, além de vários outros temas associados ao que se designa como “custo Brasil”.

Como síntese dos principais indicadores sobre o setor de rochas ornamentais no Brasil, pode-se apresentar os seguintes registros para o ano de 2012:

- Produção bruta de 9,3 milhões de toneladas (7,5% da produção mundial);
- 1.200 variedades comerciais de rochas colocadas nos mercados interno e externo;
- 1.400 pedreiras ativas;
- 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos;
- capacidade de beneficiamento (serragem e polimento) de 78 milhões de metros quadrados por ano de rochas de processamento especial;
- capacidade de beneficiamento de 50 milhões de metros quadrados por ano de rochas de processamento simples;
- consumo interno de 71,9 milhões de metros quadrados equivalentes (2 cm de espessura) de rochas de processamento simples e especial;
- exportações de US\$ 1.060,42 milhões e 2,24 milhões de toneladas;
- variação positiva de 6,08% no faturamento e de 2,27% no volume físico das exportações, frente ao ano de 2011;
- exportações de 16,5 milhões de metros quadrados equivalentes de chapas de granito, mármore e outras rochas de processamento especial;
- exportações efetuadas por cerca de 400 empresas em 18 estados da Federação, para 114 países;
- transações comerciais totais estimadas em US\$ 4,6 bilhões (referentes ao Brasil em 2012); e
- 10.000 empresas integradas à cadeia produtiva.

2. Evolução da produção mundial e do mercado internacional

2.1. Considerações preliminares

A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 milhão t/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 123,5 Mt/ano. Cerca de 52 Mt de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2012³. O notável crescimento do intercâmbio mundial caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como a “nova idade da pedra” e o próprio setor de rochas como uma das mais importantes áreas emergentes de negócios minero-industriais. Em âmbito mundial, estima-se que o setor de rochas esteja, atualmente, movimentando transações comerciais de US\$ 120 bilhões por ano.

A década de 2000, pelo menos até 2008, foi marcada pela multiplicação de feiras setoriais internacionais, pela modernização das tecnologias de lavra, beneficiamento e acabamento, pela diversificação dos produtos comerciais e da carteira de rochas comercializadas, pela bolha de consumo no mercado dos EUA e pela notável expansão chinesa no mercado internacional.

Com o estouro da bolha imobiliária norte-americana e instalação da crise econômica mundial, a partir de meados de 2008, promoveu-se um novo cenário, delineado pelo forte enxugamento do crédito, acirramento da concorrência entre os exportadores e aumento da pressão de oferta dos grandes produtores. Este cenário negativo mostrou sinais de recuperação ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012, pelo incremento lento, mas consistente, do mercado de reformas residenciais dos EUA e do mercado imobiliário chinês, apesar da persistência da crise econômica mundial.

Uma condicionante setorial relevante está sendo orientada pelo cada vez mais intenso controle ambiental das atividades produtivas, determinando a necessidade de conservação de energia e otimização das matérias-primas. Cresce, assim, a oferta e demanda de tecnologias limpas para atividades extrativas e industriais; a elaboração de chapas mais delgadas para revestimentos em geral; e a oferta de materiais artificiais aglomerados, neste caso importantes para o aproveitamento de resíduos e melhoria dos índices de recuperação na lavra e beneficiamento. No Brasil, são muito importantes as iniciativas como as do Projeto “Melhorias Tecnológicas, Ambientais e Energéticas da Produção de Rochas Ornamentais por meio da Análise do Ciclo de Vida do Produto, ICV – Rochas”, financiado pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e desenvolvido em parceria pelo CETEM-ES, o CETEMAG, o IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, o IFES e o INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

As projeções de consumo, produção e intercâmbio mundial das matérias-primas da construção civil, não apontam mudanças de paradigmas, sugerindo a manutenção da tendência de crescimento da demanda dos materiais rochosos naturais e artificiais para revestimento. Estima-se que no ano de 2020, a produção mundial de rochas ornamentais ultrapassará a casa dos 180 milhões de toneladas, correspondentes a quase dois bilhões de metros quadrados equivalentes por ano, devendo-se ainda ter incremento de 35% no volume físico das atuais transações internacionais (Fig. 3).

³ As informações disponíveis sobre o mercado internacional, quando da atualização deste texto (novembro/2013), são referentes ao ano de 2012 e devidas a Montani, 2013.

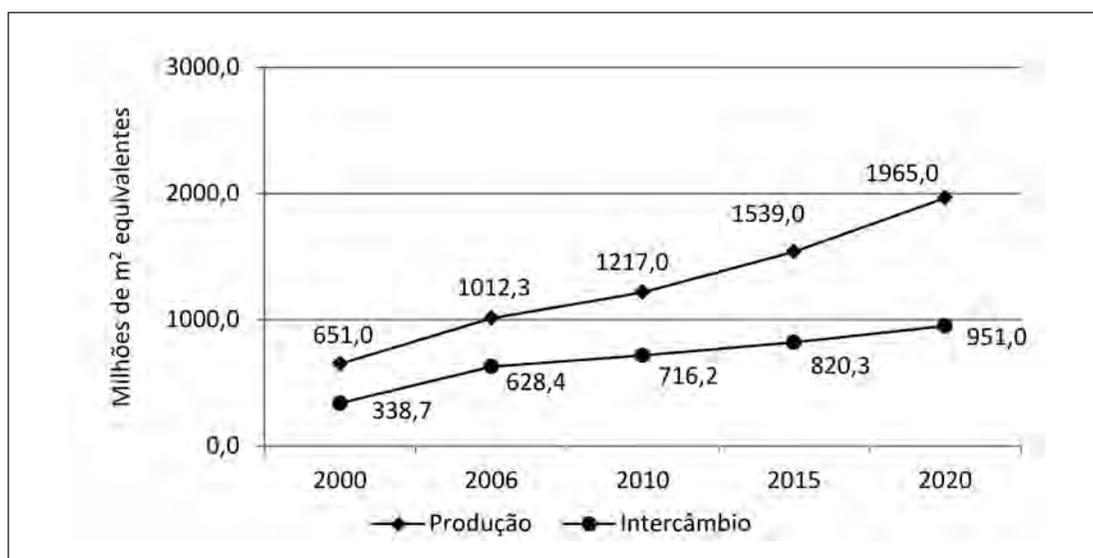


Figura 3 - Evolução e projeção da produção e do intercâmbio mundial de rochas ornamentais e de revestimento – 2000-2020. Fonte: Montani, 2012.

2.2. Produção mundial

Segundo Montani (2013), a produção mundial estimada de rochas ornamentais, no ano de 2012, totalizou 123,5 milhões de toneladas, correspondentes a cerca de 43 milhões de metros cúbicos ou 1,35 bilhões de metros quadrados equivalentes de chapas com dois centímetros de espessura. Esta produção envolveu 72,25 Mt (58,5%) de rochas carbonáticas, 45,75 Mt (37,0%) de rochas silicáticas e 5,5 Mt (4,5%) de ardósias e outras rochas xistosas (Tabela 5).

Tabela 5 - Produção Mundial das Rochas Ornamentais.

Ano	Perfil Histórico						Total 1.000 t
	Mármore		Granitos		Outros*		
	1.000 t	%	1.000 t	%	1.000 t	%	
1926	1.175	65,6	175	9,8	440	24,6	1.790
1976	13.600	76,4	3.400	19,1	800	4,5	17.800
1986	13.130	60,5	7.385	34,0	1.195	5,5	21.710
1996	26.450	56,9	17.625	37,9	2.425	5,2	46.500
1998	29.400	57,6	19.000	37,3	2.600	5,1	51.000
2000	34.500	57,8	21.700	36,3	3.450	5,9	59.650
2002	39.000	57,8	25.000	37,0	3.500	5,2	67.500
2004	43.750	53,9	33.000	40,6	4.500	5,5	81.250
2006	53.350	57,5	34.800	37,5	4.600	5,0	92.750
2008	61.000	58,0	38.300	36,5	5.700	5,5	105.000
2010	65.230	58,5	40.500	36,3	5.750	5,2	111.500
2012	72.250	58,5	45.750	37,0	5.500	4,5	123.500

(*) Inclui ardósia. Fonte: compilado a partir dos dados de Montani, 2013.

Como resultado do desenvolvimento de tecnologias mais adequadas para lavra e beneficiamento de materiais duros, a participação das rochas silicáticas no total da produção evoluiu de 10%, na década de 1920, para um patamar atual de quase 40%. Um dos principais responsáveis por esse crescimento foi sem dúvida o Brasil, que a partir da década de 1980 colocou centenas de novos granitos no mercado internacional.

A China foi a maior produtora mundial em 2012, com 38,0 Mt. Além disso, já desde o final da década de 1990, a China tornou-se a maior exportadora de rochas processadas e maior importadora de rochas brutas. O segundo maior produtor mundial é a Índia, com 17,5 Mt em 2012. Seguem, com uma produção ao redor de 9,0-11,0 Mt, a Turquia e o Brasil.

Ao longo da década de 2000, cresceu significativamente a produção de países extraeuropeus, caso da China, Índia, Irã, Turquia e Brasil, enquanto permaneceu inalterada, ou até com leve declínio, a produção dos *players* europeus tradicionais, como a Itália, Espanha, Portugal e Grécia. O crescimento mais expressivo foi o da China, cuja produção evoluiu de 14,0 Mt, em 2002, para os referidos 38,0 Mt em 2012.

2.3. Mercado internacional

A evolução do mercado internacional é mostrada na Tabela 6, onde se observa o aumento da participação das rochas brutas (posições NCM 2516 e 2515) no total do volume físico comercializado. A maior parte dessa expansão está sendo canalizada pela China, atualmente a maior exportadora de rochas processadas (vide Figura 1). A redução do volume físico do comércio internacional, em 2008 e 2009, foi a primeira registrada desde o início formal da tabulação de dados mundiais, na década de 1970. O volume físico atingido em 2010, de 48,5 Mt, superou os números anuais anteriores aos da crise de 2008-2009.

Tabela 6 - Evolução do Mercado Internacional de Rochas Ornamentais e de Revestimento.

Produtos / Código NCM		2008		2009		2010		2011		2012	
		1.000 t	%								
RSB	2516	10.816	23,9	8.909	21,7	10.531	21,7	10.945	22,1	12.576	24,2
RCB	2515	9.384	20,8	9.466	23,0	13.334	27,5	13.812	27,9	14.590	28,1
RPE	6802	19.791	43,8	18.199	44,3	20.026	41,3	20.124	40,6	20.306	39,1
RPS	6801	3.702	8,2	3.262	8,0	3.301	6,8	3.415	6,9	3.145	6,1
PA	6803	1.500	3,3	1.242	3,0	1.306	2,7	1.254	2,5	1.251	2,5
Total		45.193	100	41.078	100	48.498	100	49.550	100	51.868	100

RSB – rochas silicáticas brutas; RCB – rochas carbonáticas brutas; RPE – rochas processadas especiais; RPS – rochas processadas simples; PA – produtos de ardósia. Fonte: compilado a partir de Montani, 2009 a 2013.

Com o aumento dos custos de frete marítimo, ocorridos a partir de 2002-2003, esperava-se que as atividades de beneficiamento fossem mais intensamente deslocadas para os países de origem da matéria-prima, que se transformariam em plataformas de exportação de produtos acabados e semiacabados. Isto de fato ocorreu apenas parcialmente com a Turquia, Brasil e Índia, que apesar de ampliarem seus parques industriais permaneceram como principais fornecedores mundiais de blocos para a China.

2.4. Principais exportadores

A China foi responsável por 24,3% do total do volume físico das exportações mundiais de rochas ornamentais em 2012 (Tabela 7), tendo-se, na sequência, Turquia (15,4%), Índia (14,6%), Itália (6,1%), Espanha (5,3%), Egito (4,9%) e Brasil (4,3%). Dentre todos os países discriminados na Tabela 7, o Brasil teve a maior perda absoluta e percentual de participação no comércio mundial em 2008 e 2009, recuperando-se moderadamente em 2010 e 2011 e, mais intensamente, em 2012 e 2013.

Tabela 7 - Principais Países Exportadores de Rochas Ornamentais: Evolução do Volume Físico e Participação Percentual no Total Mundial.

Países	2008		2009		2010		2011		2012	
	1.000 t	%								
China	11.793	26,1	11.733	28,6	12.496	25,8	13.507	27,3	12.597	24,3
Turquia	4.886	10,8	4.868	11,9	6.603	13,6	7.165	14,5	8.000	15,4
Índia	5.426	12,0	5.311	12,9	5.005	10,3	5.200	10,5	7.580	14,6
Itália	3.154	7,0	2.835	6,9	3.144	6,5	3.062	6,2	3.180	6,1
Espanha	2.445	5,4	1.968	4,8	2.468	5,1	2.597	5,2	2.733	5,3
Egito	2.085	4,6	1.973	4,8	1.882	3,9	2.240	4,5	2.525	4,9
Brasil	1.990	4,4	1.673	4,1	2.226	4,6	2.187	4,4	2.237	4,3

Fonte: compilado a partir de Montani, 2009 a 2013.

Refere-se assim que, em 2012, o Brasil foi o terceiro maior exportador de rochas silicáticas brutas (código NCM 2516), representadas por blocos de granito; o quinto maior exportador de rochas processadas especiais (código NCM 6802), relativas, sobretudo, a chapas polidas de granito; o terceiro maior exportador de produtos de ardósia (código NCM 6803), atrás da Espanha e China; e, o décimo maior exportador de rochas processadas simples (código NCM 6801), representadas, no caso do Brasil, quase que essencialmente por produtos de quartzitos foliados (pedras do tipo São Tomé).

Destaca-se a China como exportadora de rochas processadas simples e especiais, além de seu bom posicionamento como exportadora de produtos de ardósia. São pouco expressivas as exportações chinesas de rochas carbonáticas brutas e significativas as de rochas silicáticas brutas, neste caso destinadas principalmente para o atendimento do mercado interno de Taiwan e Hong Kong. O aspecto mais notável da China é efetivamente sua participação percentual no mercado internacional de rochas processadas especiais, que se aproxima de 50% do total do volume físico comercializado anualmente.

Em volume físico, a participação de rochas brutas (52%) no total das exportações brasileiras é semelhante à da Itália (48%) e à da Espanha (59%). Para os demais países integrantes da listagem dos maiores exportadores mundiais, exceto China, a participação de rochas brutas é muito superior à brasileira, mencionando-se a Índia (76%), a Turquia (75%) e o Egito (90%).

2.5. Principais importadores

Na Tabela 8 são mostrados os doze maiores importadores mundiais de 2008 a 2010 e os quinze maiores em 2011 e 2012. Existem no caso três perfis de mercados ou países importadores:

Tabela 8 - Principais Importadores Mundiais de Rochas Ornamentais – Volume Físico.

Países	2008		2009		2010		2011		2012	
	1.000 t	%								
China	8.207	18,2	8.166	19,9	12.312	25,4	13.582	27,4	16.303	31,4
EUA	3.956	8,8	3.147	7,7	3.389	7,0	2.929	5,9	3.196	6,2
Coreia do Sul	2.528	5,6	2.470	6,0	2.518	5,2	2.653	5,4	2.263	4,4
Alemanha	2.098	4,6	1.967	4,8	1.762	3,6	2.339	4,7	1.914	3,7
Itália	2.307	5,1	1.594	3,9	1.698	3,5	1.629	3,3	1.375	2,7
Taiwan	1.484	3,3	1.312	3,2	1.597	3,3	2.169	4,4	2.293	4,4
França	1.286	2,8	1.095	2,7	1.256	2,6	1.337	2,7	1.456	2,8
Reino Unido	1.185	2,6	991	2,4	1.238	2,6	1.186	2,4	666	1,3
Bélgica	1.177	2,6	1.091	2,7	1.218	2,5	1.325	2,7	1.196	2,3
Japão	1.238	2,7	1.223	3,0	1.037	2,1	1.015	2,0	1.033	2,0
Espanha	1.273	2,8	858	2,1	829	1,7	717	1,4	458	0,9
Holanda	1.199	2,7	903	2,2	758	1,6	742	1,5	605	1,2
Polônia	-		-		-		779	1,6	733	1,4
Rússia	-		-		-		493	1,0	649	1,3
Canadá	-		-		-		932	1,9	1.071	2,1

Fonte: compilado a partir de Montani, 2009 a 2013.

- Países principalmente importadores de rochas brutas, que as beneficiam para atendimento do mercado doméstico e para exportações, como por exemplo a China e Itália. Esses países são também, invariavelmente, grandes produtores;
- países importadores de rochas brutas e processadas, basicamente para atendimento do mercado doméstico, como por exemplo o Reino Unido, Taiwan e Alemanha. Esses países são normalmente, ou tornaram-se recentemente, produtores pouco expressivos; e
- países principalmente importadores de rochas processadas, para atendimento do mercado doméstico, como por exemplo Japão, EUA e Coreia do Sul. Esses países, da mesma forma, são tradicionalmente ou tornaram-se produtores e exportadores pouco expressivos.

A China foi a maior importadora mundial em 2012, praticamente só adquirindo rochas brutas, figurando, em segundo lugar, os EUA, que quase só importam rochas processadas. A variação anual registrada entre os anos 2004 e 2007 traduziu o aquecimento da economia mundial e a pressão de demanda exercida por determinados mercados imobiliários, como os da China, EUA, Golfo Pérsico e alguns países da Europa. Tanto os EUA quanto outros importantes mercados importadores sofreram retração em 2008 e 2009, voltando a crescer, em um ritmo menos acentuado que o do período 2001-2007, a partir de 2010.

Pode-se observar, também na Tabela 8, que os atuais quinze maiores importadores, em volume físico, representaram quase 70% do total das importações mundiais em 2011 e 2012, indicando a força e importância desses mercados. Continuam recuando o volume físico e a participação das importações efetuadas pelos países da Europa Ocidental, com avanço de alguns países do centro e leste europeus (por exemplo, Rússia e Polônia).

3. Produção brasileira e mercado interno

3.1. Produção brasileira

A partir de estudos realizados pelo Instituto Metas (2002), para o então Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (atual MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), evidenciou-se a existência de 18 aglomerações produtivas relacionadas com o setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil, envolvendo atividades de lavra em 10 estados e 80 municípios da Federação. Mais amplamente, foram registrados 370 municípios com recolhimento da CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, para extração de rochas ornamentais.

Essas aglomerações produtivas estão discriminadas na Tabela 9. A região sudeste tem a maior concentração desses aglomerados, demonstrando a relação direta entre polos de produção e consumo regionais. Nenhum novo polo ou arranjo produtivo foi nucleado a partir de 2002, observando-se intensificação da lavra de granitos exóticos (pegmatitos) no norte do Estado de Minas Gerais, bem como de pegmatitos e, sobretudo, quartzitos maciços no centro-sul da Bahia. Os estados da região norte, que total ou parcialmente integram a área de abrangência da Amazônia legal, constituem as últimas grandes fronteiras brasileiras para produção e beneficiamento de rochas ornamentais.

Tabela 9 - Principais Aglomerações Produtivas do Setor de Rochas no Brasil.

Região	Aglomerações Identificadas	UF	Nº Munic.
Sudeste	Pedra Paduana	RJ	1
	Ardósias Papagaio	MG	8
	Mármore e Granitos Cachoeiro de Itapemirim	ES	8
	Granitos Nova Venécia	ES	6
	Quartzitos São Thomé	MG	6
	Granitos Baixo Guandu	ES	4
	Granitos Medina	MG	4
	Granitos Candeias - Caldas	MG	16
	Granitos Bragança Paulista	SP	4
	Quartzitos e Pedra-Sabão Ouro Preto	MG	4
	Quartzitos Alpinópolis	MG	2
Região Centro-Oeste	Quartzitos Pirenópolis	GO	2
Região Sul	Basaltos Nova Prata	RS	7
	Ardósias Trombudo Central	SC	1
Região Nordeste	Travertinos Ourolândia	BA	2
	Granitos Teixeira de Freitas	BA	2
	Pedra Cariri	CE	2
	Pedra Morisca	PI	1
Total	18 Aglomerações Produtivas de Rochas	10	80

Fonte: Instituto Metas, 2002.

A produção brasileira de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, foi estimada em 9,3 milhões de toneladas em 2012. Essa produção inclui granitos, pegmatitos e várias outras rochas silicáticas, além de mármore, travertino, ardósias, quartzitos maciços e foliados, basaltos e gabros, serpentinitos, pedra-sabão e pedra-talco, calcários, metaconglomerados polimícticos e oligomícticos, cherts, arenitos, xistos diversos etc. Assume-se a existência de 1.400 frentes ativas de lavra, sempre a céu aberto e em maciço ou matacões, responsáveis por cerca de 1.200 variedades comerciais de rochas colocadas nos mercados interno e externo.

O perfil da produção brasileira, por tipo de rocha, é mostrado na Tabela 10, observando-se que os materiais comercialmente classificados como granitos correspondem a 50% do total produzido. A distribuição regional dessa produção é mostrada na Tabela 11, salientando-se que a Região Sudeste do Brasil responde por quase 65% do total.

Tabela 10 - Perfil da Produção Brasileira por Tipo de Rocha, 2012.

Tipo de Rocha	Produção (Milhão t)	Participação (%)
Granito e similares	4,6	49,5
Mármore e Travertino	1,7	18,2
Ardósia	0,6	6,5
Quartzito Foliado	0,6	6,5
Quartzito Maciço	0,6	6,5
Pedra Miracema	0,2	2,1
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca etc.)	1,0	10,7
Total estimado	9,3	100

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

Tabela 11 - Distribuição Regional da Produção Bruta de Rochas Ornamentais no Brasil, 2012.

Região	Produção (106 t)	Participação (%)
Sudeste	6,0	65,0
Nordeste	2,4	26,0
Sul	0,4	4,0
Centro-Oeste	0,4	4,0
Norte	0,1	1,0
Total estimado	9,3	100

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

A distribuição da produção pelos estados é mostrada na Tabela 12, tendo-se o Espírito Santo e Minas Gerais como os dois principais polos de lavra do Brasil. A evolução anual da produção brasileira, a partir do ano 2000, é mostrada na Tabela 13, evidenciando-se que a participação da produção voltada para o atendimento do mercado externo evoluiu de 24,6% em 2000 para 43,4% em 2006, recuando depois para 34,6% em 2008 e 29,5% em 2009 e voltando a elevar-se em 2010, 2011 e 2012.

Tabela 12 - Distribuição Estadual da Produção de Rochas Ornamentais no Brasil, 2012.

Região	Estado	Produção (1.000 t)	Tipo de Rocha
Sudeste	Espírito Santo	3.600	Granito e mármore
	Minas Gerais	2.100	Granito, ardósia, quartzito foliado, pedra-sabão, pedra-talco, serpentinito, mármore e basalto
	Rio de Janeiro	200	Granito, mármore e pedra Paduana (gnaisse)
	São Paulo	100	Granito, quartzito foliado
Sul	Paraná	150	Granito e mármore
	Rio Grande do Sul	120	Granito, basalto e quartzito
	Santa Catarina	130	Granito, ardósia e mármore
Centro-Oeste	Goiás	290	Granito, quartzito foliado, serpentinito
	Mato Grosso	50	Granito
	Mato Grosso do Sul	60	Granito e mármore
Nordeste	Bahia	750	Granito, mármore, travertino, arenito e quartzito
	Ceará	630	Granito e pedra Cariri (calcário plaqueado)
	Paraíba	450	Granito e conglomerado
	Pernambuco	140	Granito e quartzito
	Alagoas	160	Granito
	Rio Grande do Norte	170	Mármore e granito
	Piauí	100	Pedra Morisca (arenito arcossiano) e ardósia
Norte	Rondônia	50	Granito
	Roraima	10	Granito
	Pará	30	Granito
	Tocantins	10	Granito, chert (quartzito), serpentinito
Total Brasil		9.300	

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

Tabela 13 - Evolução da Produção Brasileira de Rochas voltada para os Mercados Interno e Externo, 2002-2012.

Período	Mercado Externo (t)	Mercado Interno (t)	Produção Total (t)
2002	1.567.987,4	4.031.967,6	5.559.955,0
	28,0%	72,0 %	100 %
2003	1.947.539,6	4.138.521,7	6.086.061,3
	32,0%	68,0%	100 %
2004	2.324.783,4	4.132.948,3	6.457.731,7
	36,0%	64,0%	100%
2005	2.719.996,6 (+17%)	4.174.277,8 (+1%)	6.894.274,4 (+6,8%)
	39,5%	60,5%	100%
2006	3.263.995,9 (+20%)	4.257.763,4 (+2%)	7.521.759,3 (+9,1%)
	43,4%	56,6%	100%
2007	3.373.422,2 (+3%)	4.598.384,5 (+8%)	7.971.806,7 (+6,0%)
	42,3%	57,7%	100%
2008	2.700.000 (-20%)	5.100.000 (+11%)	7.800.000 (-2,2%)
	34,6%	65,4%	100%
2009	2.240.000 (-17%)	5.360.000 (+5%)	7.600.000 (-2,6%)
	29,5%	70,5%	100%
2010	3.000.000 (+34%)	5.900.000 (+10%)	8.900.000 (+17,1%)
	33,7%	66,3%	100%
2011	2.900.000 (-3%)	6.100.000 (+3,2%)	9.000.000 (+1,1%)
	32,2%	67,8%	100%
2012	3.000.000 (+3,4%)	6.300.000 (+3,3%)	9.300.000 (+3,3%)
	32,3%	67,7%	100%

Fonte: Chiodi Filho, 2013.

3.2. Consumo interno aparente

A partir dos dados de produção, exportação e importação, é mostrado na Tabela 14 o perfil do consumo interno brasileiro, por tipo de rocha, e na Tabela 15 a distribuição regional desse consumo. Os materiais graníticos respondem por 45% do consumo brasileiro. O Estado de São Paulo concentra 45% de um total de quase 72 Mm² do consumo interno.

Tabela 14 - Consumo Interno Aparente de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil, 2012.

Tipo de Rocha	Consumo (106 m² equivalentes)*	Participação (%)
Granito	32,4	45
Mármore e Travertino	18,0	25
Ardósia	4,3	6
Quartzitos Maciço e Foliado	7,9	11
Outros	7,2	10
Mármore importados	1,4	2
Aglomerados importados	0,7	1
Total estimado	71,9	100

(*) Chapas com 2 cm de espessura equivalente. Fonte: Chiodi Filho, 2013.

Tabela 15 - Distribuição do Consumo Interno Aparente de Rochas Ornamentais no Brasil, por Estados e Regiões, 2012.

Estado / Região	Consumo (106 m² equivalentes)*	Participação (%)
São Paulo	32,4	45
Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais	16,5	23
Região Sul	10,1	14
Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste	12,9	18
Total estimado	71,9	100

(*) Chapas com 2 cm de espessura equivalente. Fonte: Chiodi Filho, 2013.

O consumo interno aparente por grupos de materiais e tipo de utilização é, por sua vez, mostrado nas Figuras 4 (mármore e granitos nacionais), 5 (mármore importados) e 6 (ardósias, pedra São Tomé, pedra Paduana e outras), excluindo-se os materiais aglomerados (700.000 m² equivalentes de consumo).

Assume-se que o revestimento de pisos e tampos represente quase 50% da utilização das rochas de processamento especial, que são aquelas apresentadas nas Figuras 4 e 5, ampliando-se a participação de pisos para 80% no grupo das rochas de processamento simples, discriminadas na Figura 6.

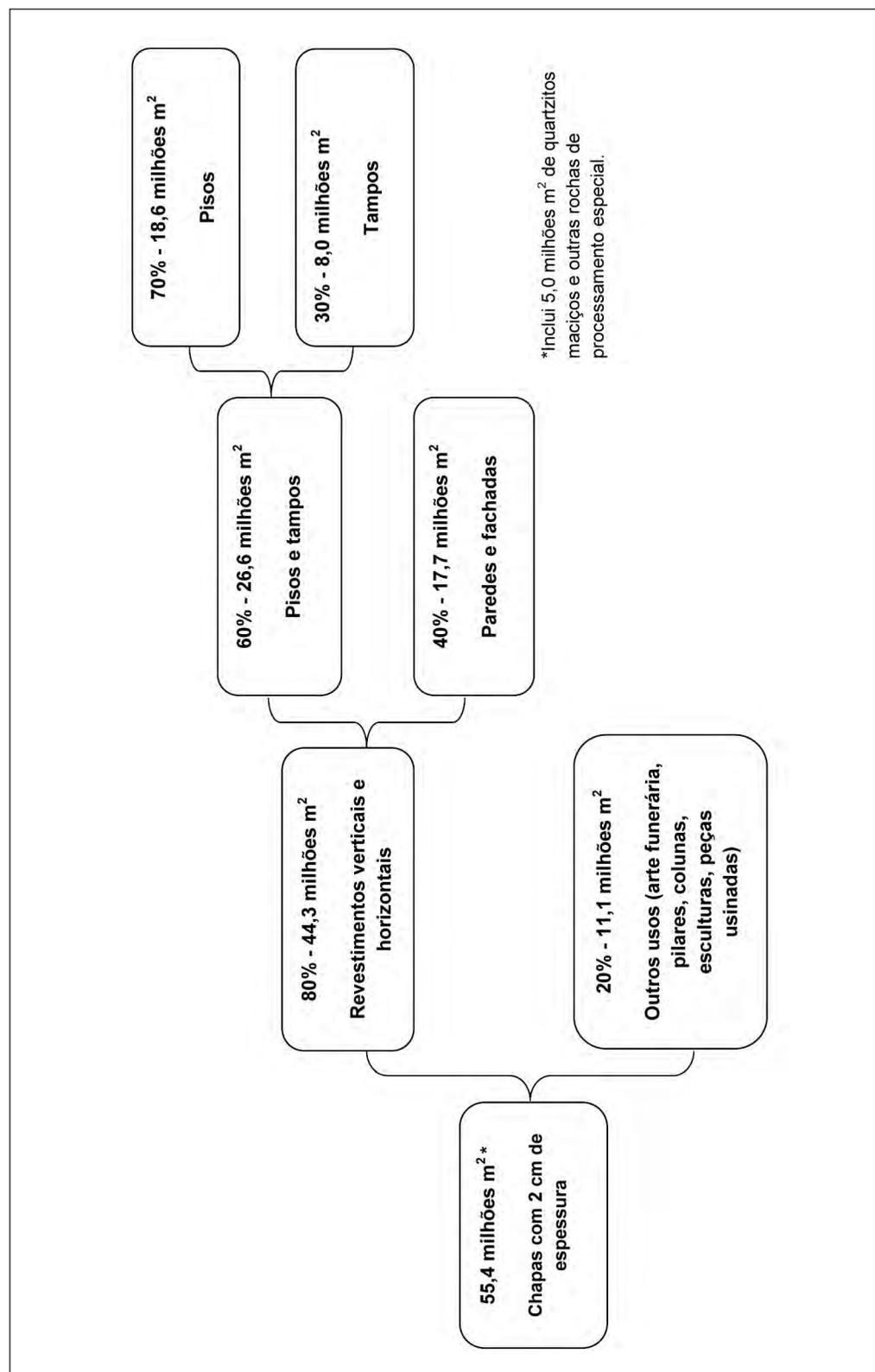


Figura 4 - Consumo interno brasileiro de rochas por material e tipo de utilização: mármore e granitos nacionais, 2013. Fonte: Chiodi Filho (2009), com atualizações.

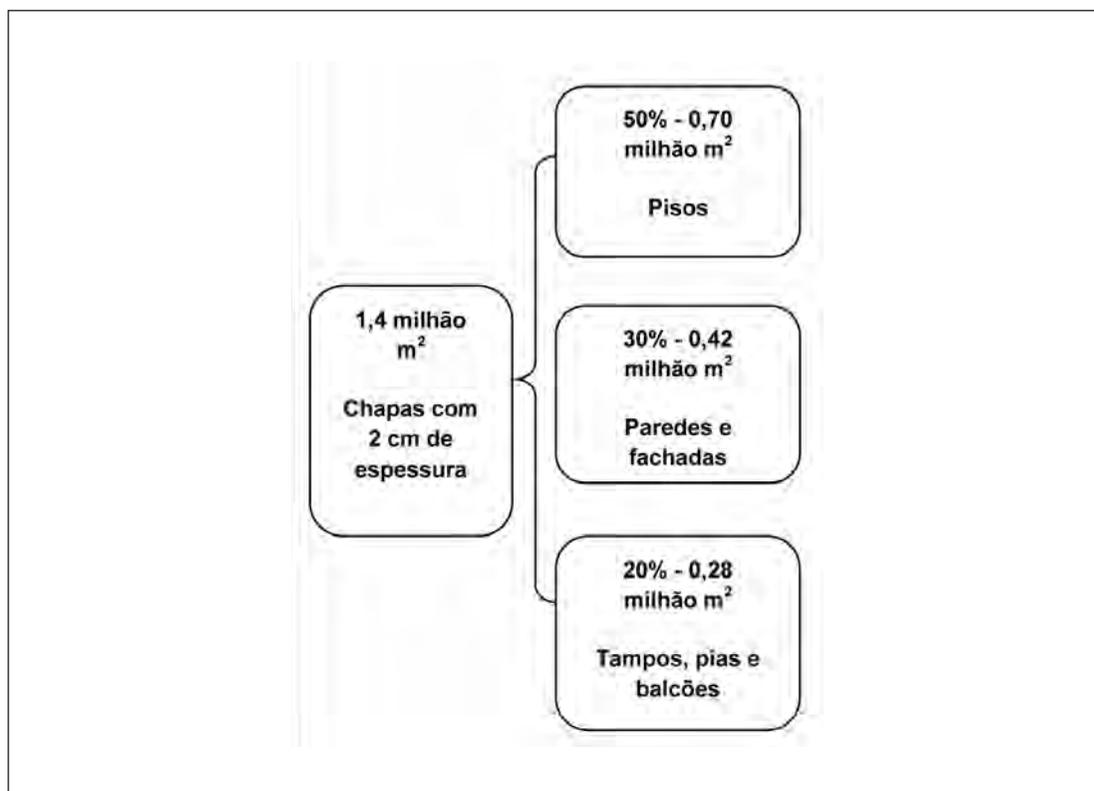


Figura 5 - Consumo interno brasileiro de rochas por material e tipo de utilização: mármore importado, 2013. Fonte: Chiodi Filho (2009), com atualizações.

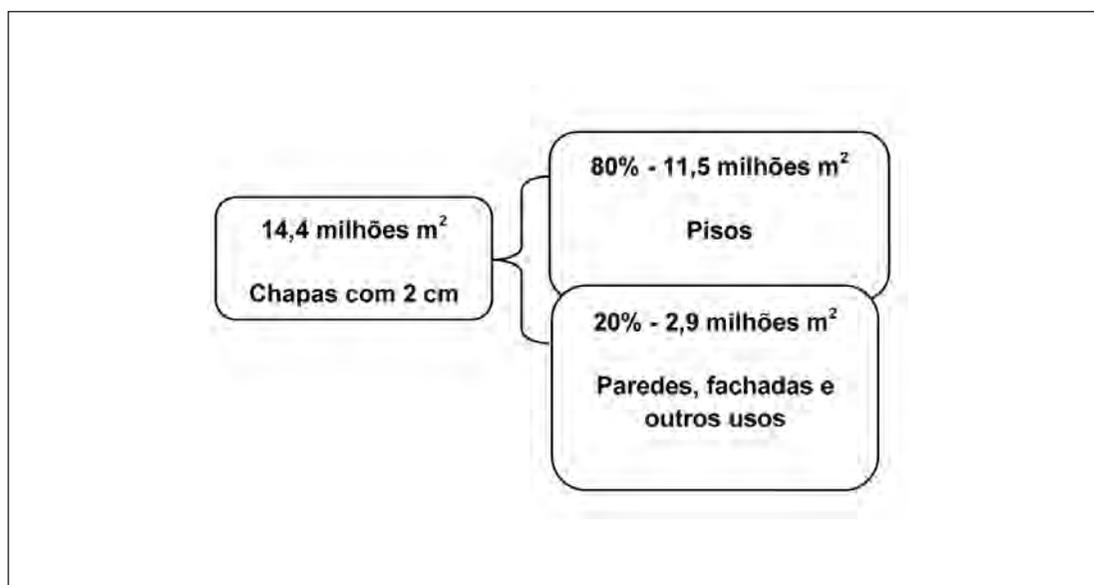


Figura 6 - Consumo interno brasileiro de rochas por material e tipo de utilização: ardósias, pedra São Tomé, pedra Paduana e outras rochas de processamento simples, 2013. Fonte: Chiodi Filho, 2009b, com atualizações.

A planilha de cálculo do consumo *per capita*, para o período 2008-2012, é mostrada na Tabela 16. Mesmo ainda pouco superior a 20 kg/ano, o consumo *per capita* brasileiro já é significativo frente ao dos países economicamente mais desenvolvidos.

Tabela 16 - Brasil: Repartição da Produção, Intercâmbio e Consumo Interno de Rochas Ornamentais, 2008-2012 (Valores em 1.000 t).

Parâmetros	2008	2009	2010	2011	2012
Produção de Rochas Brutas	7.800	7.600	8.900	9.000	9.300
Importação de Rochas Brutas	21,20	15,53	23,0	25,3	26,8
Disponibilidade de Rochas Brutas	7.821,20	7.615,53	8.923,0	9.025,3	9.326,8
Exportação de Rochas Brutas	912,55	809,60	1.196,9	1.197,6	1.157,4
Rochas Brutas para Processamento	6.908,65	6.805,93	7.703,1	7.827,7	8.169,4
Rejeito de Processamento (41%)	2.832,55	2.790,43	3.158,0	3.209,4	3.349,5
Produção de Rochas Processadas	4.076,10	4.015,50	4.544,8	4.618,3	4.819,9
Importação de Rochas Processadas	70,04	51,08	67,9	136,4	133,0
Disponibilidade de Rochas Processadas	4.146,14	4.066,58	4.612,7	4.757,7	4.952,9
Exportação de Rochas Processadas	1.077,22	863,03	1.042,8	991,3	1.070,0
Consumo Interno	3.068,92	3.203,55	3.569,9	3.763,4	3.882,9
Consumo em m ² equivalente x 1.000.000	56,83	59,33	66,11	69,70	71,89
Consumo per capita (m ² x 2 cm espessura)*	0,31	0,31	0,35	0,36	0,39
Consumo per capita (kg)**	16,58	16,86	18,69	19,50	21,06

*54 kg/m²; **195 milhões habitantes em 2012. Fonte: Chiodi Filho, 2013.

3.3. Estrutura de comercialização

A estrutura de comercialização das rochas de processamento especial, no mercado interno brasileiro, é mostrada na Figura 7. As serrarias de blocos e polimento de chapas, junto com as marmorarias, shoppings da construção e depósitos de chapas, são os principais integrantes da estrutura de oferta, discriminando-se as construtoras e os consumidores individuais como os principais integrantes da estrutura de demanda.

Pode-se observar na Figura 7 que as serrarias constituem atualmente os principais fornecedores das construtoras e suas obras maiores, enquanto as marmorarias permanecem como fornecedoras preferenciais dos pequenos consumidores (consumidores individuais). Pode-se, da mesma forma, observar que os denominados depósitos de chapas são os principais fornecedores dos materiais importados, apesar do crescimento das importações diretas efetuadas pelas grandes construtoras.

A estrutura de comercialização das ardósias, quartzitos foliados e outras rochas de processamento simples é, por sua vez, mostrada na Figura 8, na qual se pode observar que as empresas integradas de lavra e beneficiamento são as principais fornecedoras do mercado externo, tendo-se as pequenas serrarias como principais fornecedoras do mercado interno.

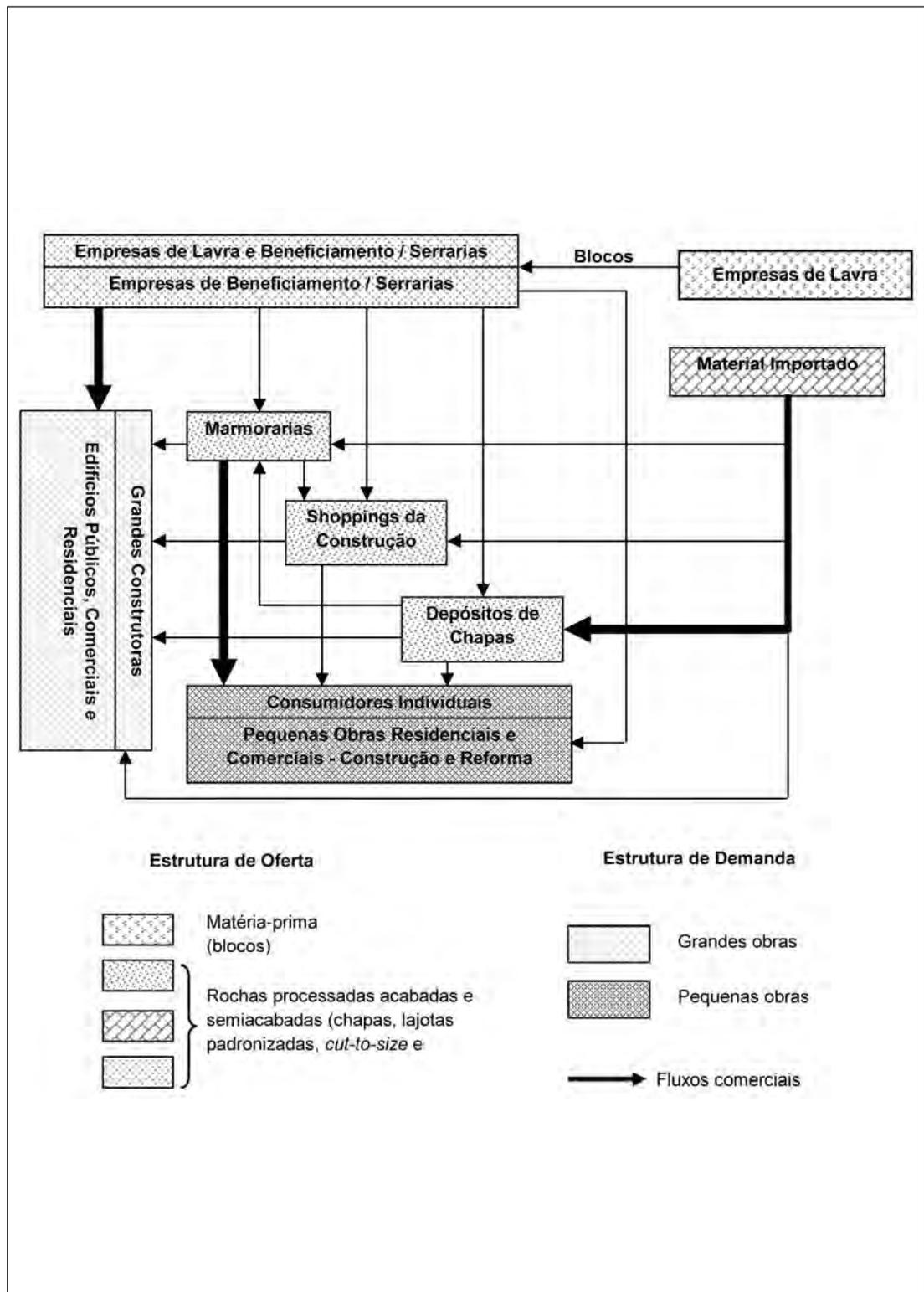


Figura 7 - Estrutura de comercialização de rochas de processamento especial no Brasil. Fonte: Chiodi Filho, 2004.

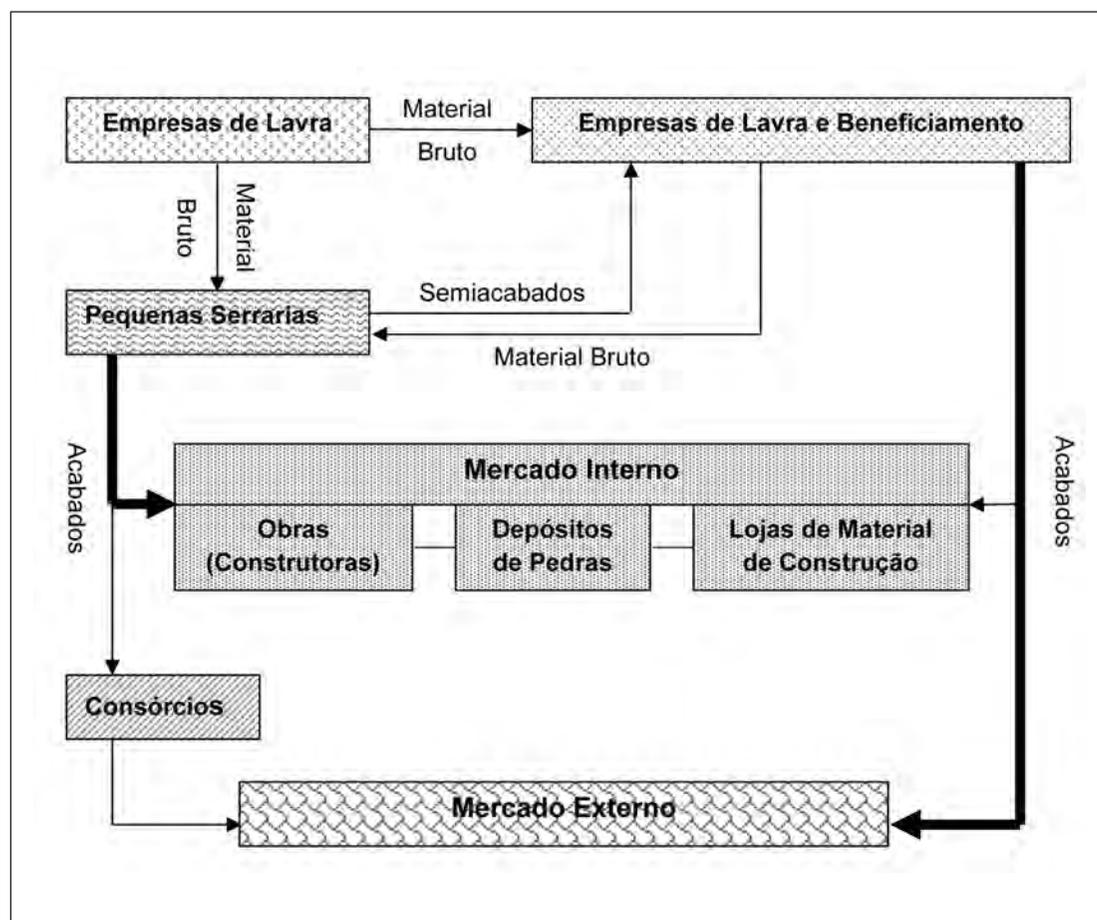


Figura 8 - Estrutura produtiva e comercial das ardósias e outras rochas de processamento simples. Fonte: Chiodi, 2004.

4. Exportações e importações brasileiras

4.1. Desempenho em 2011

No ano de 2011, as exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 999,65 milhões, correspondentes a um volume físico comercializado de 2.188.929,59 t, ou, em números redondos, US\$ 1 bilhão e 2,2 milhões de toneladas. As rochas processadas compuseram 74,6% do faturamento e 45,3% do volume físico dessas exportações, tendo-se as rochas brutas, respectivamente, com 25,4% e 54,7%.

Frente ao ano de 2010, registrou-se variação positiva de 4,22% no faturamento, com recuo de 2,26% no volume físico das exportações. A variação positiva do faturamento foi devida ao incremento do preço médio dos principais produtos exportados, destacando-se: +29,3% para blocos de mármore (posição 2515.12.10); +10,5% para ardósias (6803.00.00); +13,7% para quartzitos foliados (6801.00.00); e +4,2% para chapas polidas de granito (6802.93.90). Pode-se assim dizer que foram

mantidas, com preços mais elevados que os de 2010, as exportações brasileiras de rochas em 2011, o que já era esperado pelo quadro projetado da economia mundial. Ficaram também estabilizadas, em um patamar de 14 milhões de metros quadrados equivalentes, as exportações de chapas.

As exportações de 2011 continuaram muito polarizadas em chapas polidas de granito, para os EUA, e em blocos de granito, para a China, que conjuntamente responderam por mais de 60% do faturamento. Se somados os demais países da América do Norte (Canadá e México), além de Taiwan e Hong Kong, na Ásia, essa participação eleva-se a quase 75% do total do faturamento.

As importações brasileiras de rochas ornamentais tiveram variação mais expressiva que a das exportações em 2011. As compras de materiais rochosos naturais alcançaram US\$ 67,89 milhões e 105.777,64 t, enquanto as de materiais rochosos artificiais atingiram US\$ 30,15 milhões e 30.757,93 t, totalizando assim US\$ 98,4 milhões e 136.535,57 t. Itália, Espanha, Grécia, Turquia e China são os principais fornecedores de materiais rochosos naturais para o mercado brasileiro.

Frente ao ano de 2010, as importações de materiais rochosos artificiais mostraram variação positiva de 20,22% em valor e de 10,97% em peso, o que evidencia incremento de preço médio dos produtos adquiridos (+13,58% na posição 6810.99.00 e +1,64% na posição 6810.19.00). Os materiais rochosos naturais, por sua vez, registraram variação positiva de 31,99% em valor e de 16,32% em peso, indicando que o incremento de preço no mercado internacional não foi exclusivo dos produtos brasileiros.

O saldo da balança comercial do setor de rochas, considerando-se exportações de US\$ 999,65 milhões e importações de US\$ 67,89 milhões em materiais rochosos naturais, foi, portanto, de US\$ 931,76 milhões em 2011. A participação do saldo comercial de rochas no saldo das exportações totais brasileiras (US\$ 29,80 bilhões) foi de 3,13% em 2011. A participação do faturamento das exportações de rochas, no total das exportações brasileiras (US\$ 256,04 bilhões), foi de 0,39% em 2011.

4.2. Desempenho em 2012

As exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento somaram US\$ 1,06 bilhão e 2,24 milhões de toneladas em 2012, com variação positiva de respectivamente 6,1% e 2,3% frente a 2011 (Figura 9). As rochas processadas (Capítulo 68 da NCM) compuseram 76,8% do faturamento e 47,8% do volume físico dessas exportações, tendo-se as rochas brutas (Capítulo 25) respectivamente com 23,2% e 52,2% (Figura 10).

Os principais produtos exportados, em ordem de faturamento, incluíram chapas de granitos e rochas similares, blocos dessas mesmas rochas, ardósias, quartzitos foliados, pedra-sabão, chapas e blocos de mármore.

Foram registradas vendas para 114 países, de todos os continentes. Entre os principais destinos das exportações, o preço médio mais baixo de venda refere-se a China (US\$ 187,8/t) e o mais elevado ao Canadá (US\$ 1.061,0/t). O preço médio das vendas para os EUA, que responderam por 54,5% do faturamento das exportações brasileiras de rochas, e são de longe o nosso principal mercado, foi de US\$ 814,5/t. Essa diferença entre China e EUA/Canadá traduz a maior agregação de valor das chapas frente aos blocos.

Apenas para onze países foram registradas exportações superiores a US\$ 10 milhões em 2012 (contra doze em 2011), conforme mostrado na Tabela 17. Entre esses, três são da América do Norte (EUA, Canadá e México), quatro são europeus (Itália, Reino Unido, Alemanha e Espanha), dois são asiáticos (China e Taiwan) e dois são sul-americanos (Venezuela e Colômbia). Existe, no entanto, uma enorme diferença de valores (faturamento) entre os EUA e os demais integrantes da lista dos onze maiores.

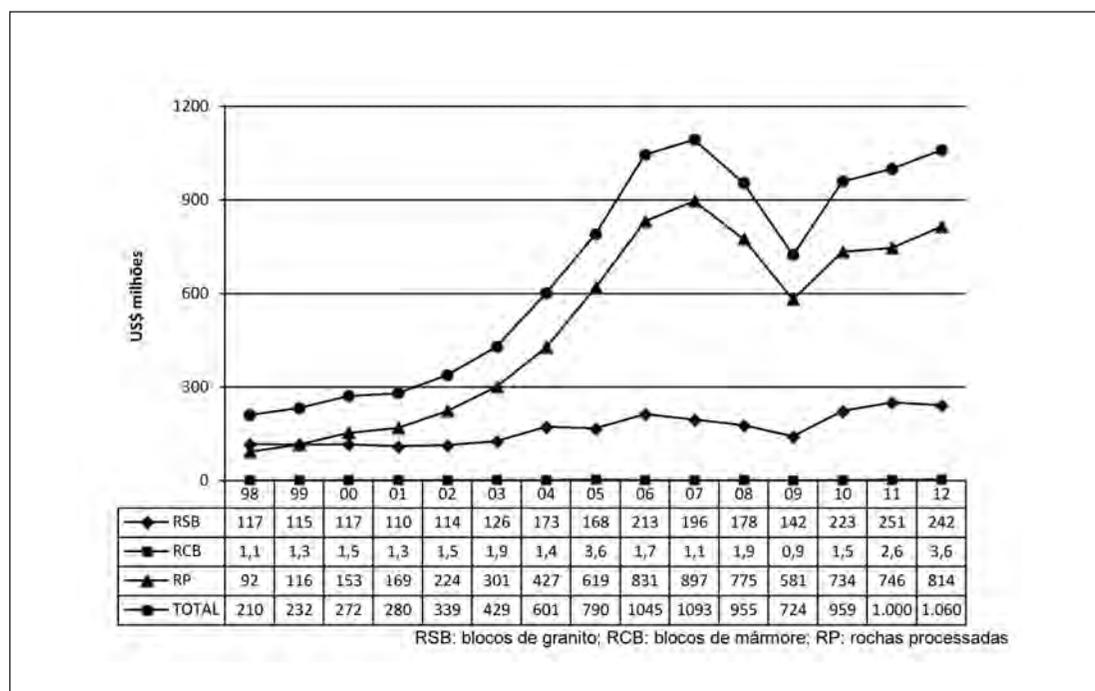


Figura 9 - Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais. Fonte: Chiodi, 2013a.

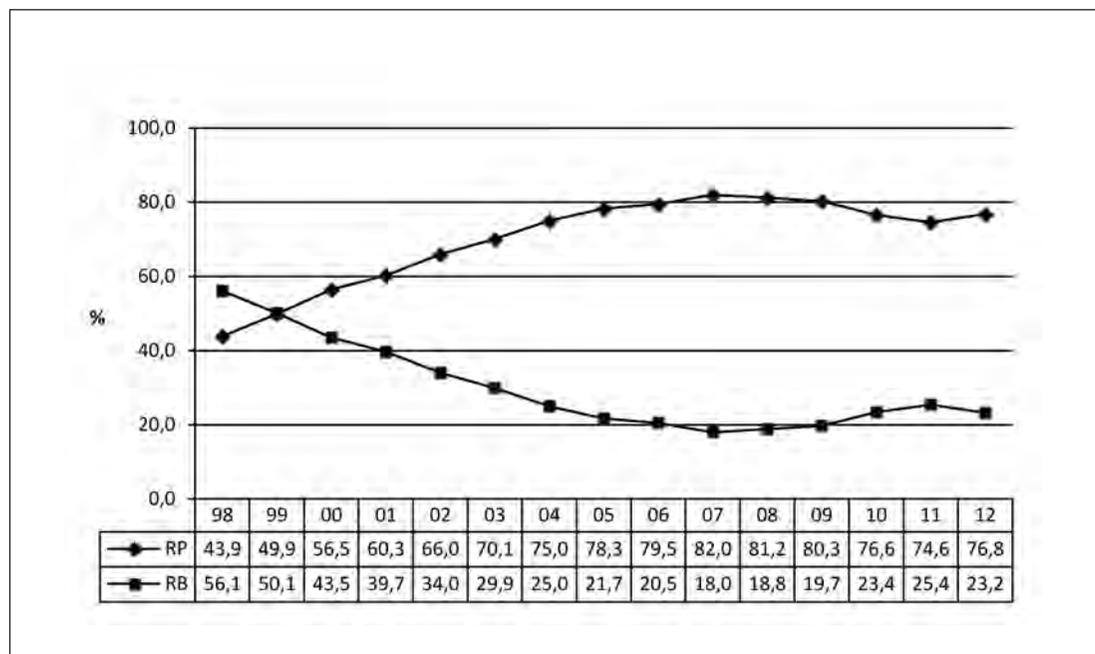


Figura 10 - Evolução das exportações brasileiras de rochas brutas e processadas - participação percentual no faturamento (RP - Rochas Processadas; RB - Rochas Brutas). Fonte: Chiodi, 2013a.

Tabela 17 - Principais Destinos das Exportações Brasileiras de Rochas (acima de US\$ 10 milhões).

2011			2012		
Doze Principais Países	Valor US\$ 1.000	Peso Toneladas	Onze Principais Países	Valor US\$ 1.000	Peso Toneladas
EUA	506.688,70	605.717,48	Eua	577.766,77	709.391,52
China	141.595,42	766.176,51	China	146.614,57	780.608,89
Itália	74.355,54	236.679,88	Itália	59.424,46	178.650,41
Canadá	40.104,27	38.541,48	Canadá	42.931,41	40.462,73
México	20.697,64	29.281,29	México	23.223,04	32.430,78
Taiwan	17.414,38	80.283,02	Taiwan	20.593,03	104.039,85
Alemanha	16.089,89	32.329,23	Venezuela	16.555,68	24.223,20
Reino Unido	15.026,42	34.711,49	Reino Unido	15.293,00	34.478,64
Hong Kong	14.244,09	58.934,80	Alemanha	14.525,88	28.504,92
Venezuela	13.601,02	20.724,51	Espanha	10.346,73	37.707,96
Espanha	12.203,90	34.856,29	Colômbia	10.167,99	16.060,27
Bélgica	10.547,78	31.805,96			
Subtotal dos Principais Países	882.569,05	1.970.041,94		937.442,56	1.986.559,17
Total das Exportações Brasileiras	999.803,96	2.190.055,45		1.060.415,86	2.237.150,44
Participação dos Principais Países no Total das Exportações	88,3%	89,9%		88,4%	88,8%

Fonte: Chiodi, 2013b.

Se observarmos a participação dos EUA (54,5%), Canadá (4,0%) e México (2,2%), verifica-se que a América do Norte representou 60,7% do total do faturamento das exportações de 2012. Os principais destinos na América do Sul (Venezuela – 1,6%, Colômbia – 1,0%, Argentina – 0,9%, Chile – 0,7%) representaram apenas 4,2% do faturamento. Os países da “Ásia chinesa” (China – 13,8%, Taiwan – 1,9%, Hong Kong – 0,9%) representaram, por sua vez, 16,6% do faturamento. Itália (5,6%), Reino Unido (1,4%), Alemanha (1,4%) e Espanha (1,0%), que são os países europeus incluídos entre os 11 principais destinos brasileiros das exportações, representaram 9,4% do total do faturamento.

Na relação dos 103 países para os quais foram exportados, individualmente, menos de US\$ 10 milhões, 32 tiveram valores entre US\$ 10 milhões e US\$ 1 milhão, e 39 entre US\$ 1 milhão e US\$ 100 mil. Os 32 restantes tiveram individualmente valores abaixo de US\$ 100 mil.

Pode-se assim verificar a expressiva concentração do faturamento brasileiro em um número restrito de mercados, com absoluto destaque para os EUA e depois para a China. Refere-se que os EUA, assim como Canadá e México, importam quase apenas chapas, enquanto o grupo da Ásia chinesa importa quase exclusivamente blocos. Tanto nas chapas quanto nos blocos, os materiais brasileiros preferidos são os granitos e outras rochas similares.

Os produtos comerciais classificados na NCM 6802.93.90 (chapas de granitos e rochas similares) foram comercializados, em 2012, para 85 países. Seguem, em termos de abrangência de mercado, os produtos de ardósia (posição 6803) para 65 países, e os produtos de quartzitos foliados (posição 6801), para 48 países. Se contabilizados os destinos das vendas efetuadas pelas posições 6802.29.00, 6802.23.00 e 6802.99.90, as chapas brasileiras estão sendo comercializadas para mais de 100 países.

Em 2012 a Itália foi nossa principal compradora de blocos de mármore (posição 2515) e blocos de quartzito maciço (posição 2506), bem à frente dos países da Ásia chinesa, que são nossos maiores compradores de blocos de granito e rochas similares (posição 2516). A Itália também adquire expressiva quantidade de blocos de granito e, pareando com a Alemanha, de produtos de quartzito foliado. Reino Unido, EUA, Chile, Alemanha e Holanda, nessa ordem, são os principais destinos das exportações brasileiras de produtos de ardósia. Além da Itália e Alemanha, também Japão, França e Áustria são mercados expressivos para produtos de quartzito foliado (pedra São Tomé). Os EUA são o principal mercado tanto para chapas de granitos e rochas similares, quanto para chapas de mármore.

Entre os principais destinos na Europa (Itália, Reino Unido, Alemanha, Espanha, Bélgica, França, Holanda, Rússia e Dinamarca), apenas para a Rússia cresceram significativamente as exportações de 2012 frente a 2011 (de US\$ 3,3 milhões para US\$ 5,0 milhões). Para Reino Unido e Dinamarca foram mantidos os valores de exportação de 2011. Para os demais países, houve queda nas exportações de 2012. O crescimento absoluto mais significativo de 2011 para 2012 foi dos EUA (US\$ 506,7 milhões para US\$ 577,8 milhões), registrando-se para a Itália a queda mais significativa (US\$ 74,4 milhões para US\$ 59,4 milhões).

As importações brasileiras de materiais rochosos naturais tiveram variação negativa de 10,28% em valor e de 6,42% em volume físico, no ano de 2012. Essas importações alcançaram US\$ 60,91 milhões e 98.983,70 t, enquanto as de materiais rochosos artificiais atingiram US\$ 47,48 milhões e 60.358,68 t, com variação positiva de respectivamente 57,48% e 96,24%. O conjunto das importações ultrapassou aquelas do ano de 2011.

A participação do faturamento das exportações de rochas, no total das exportações brasileiras (US\$ 242.579,78 milhões), foi de 0,44% em 2012. O saldo da balança comercial do setor de rochas, considerando-se as exportações de US\$ 1.060,42 milhões e importações de US\$ 60,91 milhões, em materiais rochosos naturais, foi de US\$ 999,50 milhões em 2012. A participação do saldo comercial de rochas no saldo das exportações totais brasileiras (US\$ 19.430,65 milhões) foi, portanto, de 5,14% em 2012.

Para cada US\$ 1,00 importado pelo Brasil, exportou-se apenas US\$ 1,09. No setor de rochas, para cada US\$ 1,00 importado, exportou-se US\$ 17,41. O preço médio das exportações gerais brasileiras foi de US\$ 440/tonelada, enquanto o das importações foi de US\$ 1.570/tonelada. O preço médio das exportações brasileiras de rochas foi de US\$ 470/tonelada, enquanto o das importações foi de US\$ 615/tonelada. Assim, o preço médio das importações gerais brasileiras é 3,57 vezes superior ao das exportações gerais, enquanto no setor de rochas o preço médio das importações é apenas 1,31 vezes superior ao das exportações.

4.3. Desempenho em 2013 (janeiro-setembro)

No período de janeiro a setembro de 2013 as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 979,24 milhões e 2.013.383,11 t, já quase igualando o total exportado em todo o ano de 2012 (US\$ 1,06 bilhão e 2,24 Mt).

O incremento registrado frente ao período janeiro-setembro/2012 foi de 21,60% em faturamento e de 18,38% em volume físico, constituindo a variação mais expressiva dos últimos três anos e configurando uma taxa de crescimento superior àquela esperada como o “novo normal” para as exportações do setor.

Pode-se assim, de fato, projetar exportações de rochas ornamentais que totalizarão pelo menos US\$ 1,3 bilhão e 2,7 Mt em 2013, o que ultrapassará os máximos atingidos antes da crise econômica internacional de 2008-2009 (US\$ 1,1 bilhão em 2007 e 2,59 Mt em 2006).

As vendas efetuadas especificamente em setembro (US\$ 111,56 milhões e 211,1 mil t) foram inferiores às dos meses precedentes do período abril-agosto, apesar do que mais expressivas que aquelas do mesmo mês em anos anteriores.

A participação de rochas processadas no total do faturamento (77,83%) e do volume físico exportado (48,25%) permanece, da mesma forma, em patamares superiores aos dos dois últimos anos e bastante expressivos nas atuais condições de mercado.

Destaca-se que o esforço empresarial de modernização do parque brasileiro de serragem de chapas está evidenciando efeitos muito positivos na produtividade e competitividade das empresas exportadoras do setor. Atualmente, somos, sem dúvida, um dos mais competitivos polos mundiais de processamento de chapas de grandes dimensões, devido à maciça incorporação de teares multifio diamantados. Isto é muito importante, na medida em que a agregação tecnológica impõe-se como uma das únicas alternativas para melhoria de performance de segmentos de atividade ainda intensivos em mão de obra. As exportações de chapas deverão assim atingir 20 Mm² equivalentes em 2013, com variação superior a 20% frente a 2012 (Figura 11).

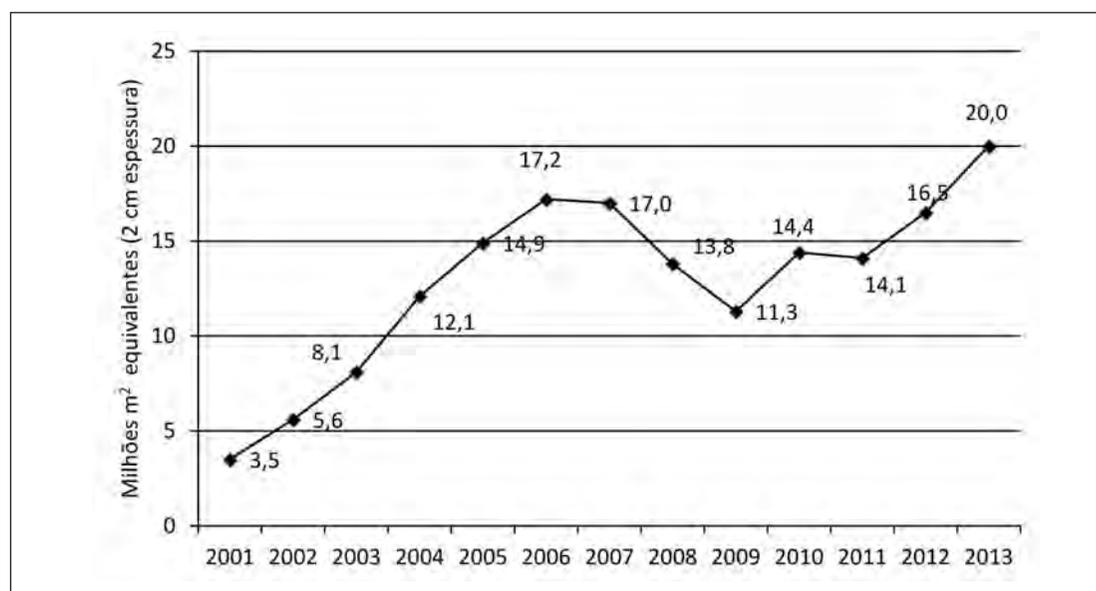


Figura 11 - Evolução anual das exportações brasileiras de chapas serradas, 2013 projetado. Fonte: Chiodi, 2013c.

As importações brasileiras de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, somaram US\$ 50,4 milhões e 79.357,55 t no período de janeiro a setembro, com variação positiva de respectivamente 12,5% e 7,9% frente ao mesmo período de 2012.

As importações de materiais rochosos artificiais/aglomerados, no mesmo período, somaram US\$ 36,5 milhões e 36,6 mil t, com variação positiva de 2,37% em valor e negativa de 24,13% em volume físico. Pela posição 6810.91.00, não contabilizada nessas importações, foram adquiridos US\$ 22,2 milhões e 106,12 mil t, no período de janeiro a setembro. É possível que essas importações pela posição 6810.91.00 também representem materiais rochosos artificiais/aglomerados de revestimento.

5. Principais desafios e demandas setoriais

Destaca-se, inicialmente, que os produtos comerciais do setor de rochas ornamentais, incluindo blocos, não devem ser entendidos e tratados como *commodities*, mas sim como *specialties* ou manufaturas. A garantia de mercado, que traduz a efetiva capacidade de comercialização dos produtos do setor, é assim tão importante quanto a garantia de produção e beneficiamento de suas matérias-primas.

O setor de rochas é fundamentalmente integrado por micro e pequenas empresas⁴ de lavra, beneficiamento (serrarias), acabamento (marmorarias) e serviços, cuja realidade é muito distinta das grandes empresas do setor mineral. As micro e pequenas empresas brasileiras ainda não têm suas necessidades bem atendidas e entendidas pelos programas governamentais de fomento, que são tradicionalmente mais focados e dirigidos para as grandes empresas e projetos mínero-industriais de *commodities*.

A estruturação de arranjos produtivos locais (APLs) é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento do setor de rochas no Brasil. Essa estruturação depende da verticalização da atividade produtiva, com lavra e beneficiamento das matérias-primas de interesse comercial. O fortalecimento dos APLs só é efetivado mediante concessão de incentivos fiscais e tributários, como base para atração de empreendimentos e desoneração da produção.

São tecnicamente conhecidas as diversas possibilidades de aproveitamento de resíduos como matéria-prima de uso industrial, não se tendo, contudo, promovido uma aproximação entre as indústrias potencialmente consumidoras e os seus possíveis fornecedores, em um trabalho conhecido como simbiose industrial. Os mármore são uma exceção a essa realidade e ao mesmo tempo um exemplo de possibilidades, pois quase todos os seus principais polos mineradores mundiais focados em revestimentos, inclusive no Brasil (p.ex. Cachoeiro de Itapemirim), tornaram-se hoje também grandes fornecedores de matérias-primas industriais (sobretudo cargas/*fillers*).

Considerando-se os três principais segmentos de atividade da cadeia produtiva do setor de rochas (lavra, beneficiamento e acabamento), o Brasil tem boa capacidade instalada e *know-how* adequado para lavra em maciços; deficiências qualitativas para o beneficiamento primário (serragem de blocos e polimento de chapas); e, deficiências qualitativas e quantitativas para trabalhos de acabamento, pelo ainda baixo nível de agregação tecnológica das máquinas e equipamentos utilizados.

⁴ Sob qualquer critério de classificação, são muito raras, no setor de rochas, as empresas de médio porte e quase inexistentes as de grande porte.

A modernização tecnológica do parque brasileiro de beneficiamento de rochas tem sido há mais de uma década obstaculizada por uma polêmica, relativa à concessão de ex-tarifários para importação de máquinas e equipamentos de interesse setorial. Esta polêmica embute uma distorção de foco, pois está exclusivamente centrada na avaliação de existência de máquinas nacionais similares às estrangeiras, sobretudo italianas, e mais recentemente às chinesas.

O exemplo chinês é, neste caso, emblemático para o Brasil. No período de 1994 a 2002, a China importou seis vezes e meia mais máquinas que o Brasil, absorvendo 10% ao ano, em média, de todas as transações registradas no mercado internacional, além de se notabilizar como a maior cliente da tecnologia italiana. Hoje, a China já produz a maior parte das máquinas e equipamentos necessários para o seu enorme parque de beneficiamento de rochas, a baixo custo e com engenharia reversa baseada na tecnologia importada.

Os códigos fiscais utilizados no setor de rochas são inespecíficos e não estão atendendo às necessidades das exportações brasileiras, dando margem a dúvidas e induzindo a erros de classificação. Um pequeno número de códigos, previstos na Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM, abriga uma grande variedade de produtos comerciais de diferentes tipos de rocha, o que dificulta o acompanhamento detalhado das exportações e o correto enquadramento dos produtos exportados. Essa situação acarretou, entre outros problemas, a perda dos benefícios do Sistema Geral de Preferências – SGP para as exportações de chapas de granito, pela posição 6802.93.90, aos EUA.

Em função da crise econômica internacional instalada em 2008, barreiras tarifárias e, sobretudo, não tarifárias têm sido cada vez mais utilizadas como mecanismo de proteção de mercados. Constituem exemplos as taxas de importação mantidas pela China, já antes de 2008, para produtos acabados e semiacabados, que inviabilizam a entrada de chapas polidas brasileiras em seu mercado; a tentativa de desqualificação das telhas de ardósia brasileira no mercado europeu e, particularmente, na marca CE, por iniciativa de entidades e produtores espanhóis; e, a campanha movida contra a utilização de bancadas de granito, em ambientes internos, no mercado dos EUA, sob a alegação de que elas emitiriam gás radônio.

As bases competitivas desejáveis para o setor de rochas são sistêmicas e muitas vezes dependentes de fatores externos ao próprio setor, vinculados a políticas públicas e mecanismos institucionais de fomento para a atividade produtiva. As bases competitivas existentes no Brasil não têm sido favoráveis para o setor de rochas ornamentais, frente àquelas proporcionadas por outros países produtores e exportadores.

Em base do exposto, as demandas que podem ser objetivamente colocadas, para o setor de rochas, são as seguintes:

- Adequação e modernização do parque brasileiro de beneficiamento e acabamento de rochas ornamentais, por meio da agregação tecnológica proporcionada pela importação de bens de capital e apoiada por ex-tarifários para máquinas e equipamentos, quando necessário. Para a serragem de blocos, demanda-se a incorporação de teares multifio diamantados. Especificamente para as marmorarias, demanda-se a incorporação de equipamentos de corte a úmido, visando ao atendimento da legislação trabalhista;
- melhoria da infraestrutura portuária, por exemplo pela adequação do complexo portuário de Vitória, para navios de maior porte que os atualmente admitidos;
- melhoria da oferta de transporte marítimo, para se evitar problemas de falta de navios e *containers*, como aqueles ocorridos nos portos do Espírito Santo e Rio de Janeiro em 2004;

- fortalecimento do mercado interno, mediante uma melhor articulação e cooperação entre os agentes da estrutura de oferta (marmorarias e serrarias), bem como de uma melhor divulgação sobre os materiais rochosos naturais de revestimento, suas propriedades e técnicas adequadas de aplicação, para especificadores, formadores de opinião e consumidores em geral;
- adequação, agilização e desoneração dos processos legais de licenciamento ambiental e concessão de direitos minerários, atualmente incompatíveis à dinâmica do setor de rochas e indutores de informalidade;
- melhoria nos índices de aproveitamento dos resíduos da lavra e do beneficiamento, sobretudo das rochas de processamento simples (ardósias, quartzitos foliados, calcários plaqueados etc.), destacando-se as possibilidades de sua utilização como matérias-primas de uso industrial e para elaboração de produtos aglomerados e prensados de revestimento;
- adequação da oferta de crédito para as micro e pequenas empresas, visando adensamento tecnológico, capital de giro e operações de comércio exterior (Seguro de Crédito, Adiantamento sobre Contrato de Câmbio, Adiantamento sobre Cambiais Entregues e outros dispositivos); e
- articulação de instituições governamentais, para fazer frente às barreiras tarifárias e não tarifárias hoje impostas aos exportadores brasileiros no mercado internacional.

Essas demandas, em grande parte já diagnosticadas por outros segmentos de atividade e parcialmente atendidas pelo governo federal, são julgadas de grande importância para o setor de rochas ornamentais no Brasil.

6. Bibliografia e referências

CHIODI FILHO, Cid. Consumo Interno, Perfil de Utilização e Estrutura de Comercialização das Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil. Belo Horizonte : Abirochas, 2004. Disponível em:

http://www.abirochas.com.br/info_mercado/Estrutura_de_Comercializacao_Mercado_Interno.pdf

CHIODI FILHO, Cid. A China no Mercado de Commodities Minerais: o Caso das Rochas Ornamentais. Palestra apresentada no V Simexmin – Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, em 22 de maio de 2012. 2012a. Disponível em:

http://www.adimb.com.br/simexmin2012/wp-content/themes/simexmin/palestras/05%20-%20Mercado%20Commodities/V_3_Chiodi.pdf

CHIODI FILHO, Cid. Perspectivas do Setor de Rochas Ornamentais no Estado de Minas Gerais. Palestra apresentada no II Seminário de Desenvolvimento do Setor de Rochas Ornamentais do Vale do Jequitinhonha, Almenara, em 17 de agosto de 2012. 2012b.

CHIODI FILHO, Cid. Balanço Sucinto das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2011. Informe Abirochas, São Paulo, n. 01, 2012c. http://www.ivololution.com.br/news/upload_pdf/10672/Informe_01_2012.pdf

CHIUDI FILHO, C. Dimension Stone Sector: Brazil in Numbers. Palestra apresentada no IV Global Stone Congress, Borba, Portugal, em 20 de julho de 2012. 2012d.

CHIUDI FILHO, Cid. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2012. Informe Abirochas, São Paulo, n. 01, 2013a.

http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/1161/Informe_01_2013.pdf

CHIUDI FILHO, Cid. Breve análise das exportações brasileiras de rochas ornamentais. Informe Abirochas, São Paulo, n. 08, 2013b.

http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/1236/Informe_08_2013.pdf

CHIUDI FILHO, Cid. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no Período de Janeiro a Setembro de 2013. Informe Abirochas, São Paulo, n. 15, 2013c.

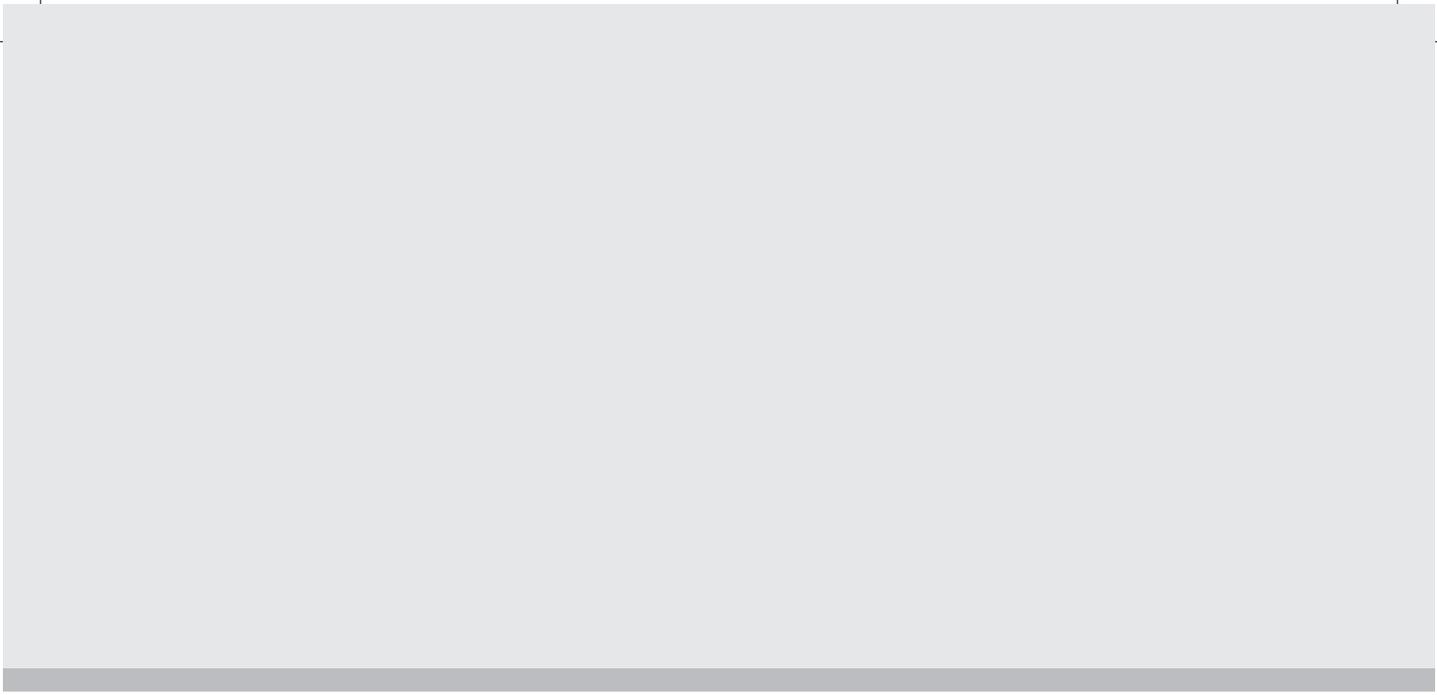
http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/1161/Informe_01_2013.pdf

CHIUDI FILHO, Cid; CHIUDI, Denize K. Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2009, Brasília. Relatório Técnico 33, Brasília: MME/Banco Mundial (Projeto Estal), julho de 2009. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf>

INSTITUTO METAS. Identificação, Caracterização e Classificação de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral Significativa no Brasil. Belo Horizonte: MCT/CGEE/CNPq/FIEMG. 01 CD-ROM. 2002.

MONTANI, Carlo. Stone – Repertorio Economico Mondiale. Milano: Faenza Editrice, edições de 1998 a 2009.



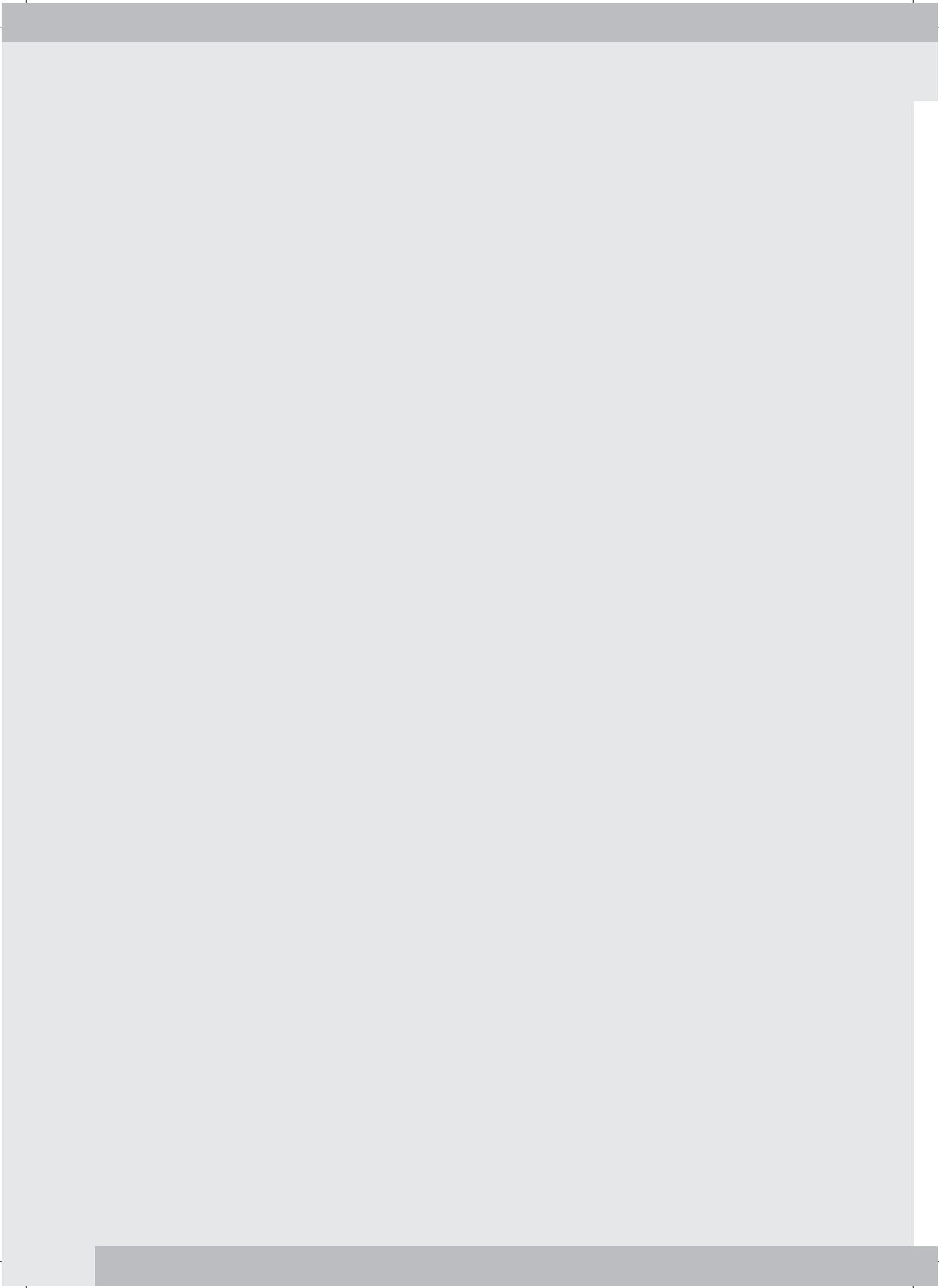
Capítulo 11

A busca da sustentabilidade na produção e uso das rochas ornamentais

Carlos César Peiter, Eng. Metalurgista, DSc., CETEM/MCTI

Luciana Marelli Mofati, Geógrafa, CETEM/MCTI

Roberto Cerrini Villas-Bôas, Eng. de Minas, DSc., CETEM/MCTI



1. Introdução

Na atividade extrativa mineral, de longe, as rochas ornamentais lavradas de pedreiras são as que menos impactam o meio ambiente, embora possam ter influência significativa na alteração da biodiversidade local, impactos visuais não agradáveis, além de, durante a operação da pedreira, serem pouco amigáveis para com a comunidade local, seja pelos ruídos causados, explosões, pós gerados, trânsito de caminhões etc. Entretanto, e ainda assim, são impactos perfeitamente gerenciáveis, minimizáveis, e que têm, ou podem ter, acordos comunitários satisfatórios para as partes envolvidas, soe dizer empresa, comunidade e governo ou para usar a expressão inglesa da moda *stakeholders*, bastando, para que isso ocorra, a condução de um transparente e inclusivo processo de “licenciamento social”, de um “acordo entre as partes”, hoje comumente empregado na mineração em grande e média escala. Alguns, mal informados sobre esse processo, argumentam que é caro, dispendioso e divergente. Pode ser, mas se assim o foi, é, mal conduzido, gerou, ou deixou de gerar expectativas realizáveis e concretas, obtidas na transparência de uma negociação, na qual os envolvidos tiveram a resposta ao “o que eu quero desse negócio?”, seja como empresa, comunidade ou governo. Essa “licença social” foi instituída, há uns 15 ou 20 anos, pelo Banco Mundial, como requisito àqueles projetos extrativos, fossem minerais ou agrícolas, por ele financiados, com o objetivo de ESCLARECER a população sobre os eventuais benefícios do empreendimento, além daqueles óbvios do empreendedor e do governo arrecadador de impostos, assim evitando, entre outras coisas, a corrupção de entes e organismos concedentes de licenças minerais, agrícolas e ambientais, locais ou regionais. Instalava-se a transparência e a participação cidadã na definição da condução, ou não, de um projeto mineiro ou agrícola, com o apoio da comunidade. Tal ação “pegou” e hoje é utilizada em todo e qualquer empreendimento mineral, onde haja, claro, pressão social, seja ele financiado, ou não, pelo Banco Mundial. As bases dessa “concertação” já foram estabelecidas de maneira lógico-formal (VILLAS-BÔAS, 2004) e constituem-se nos alicerces de qualquer indicador de sustentabilidade para a indústria mineral, seja mediante as diretrizes da *Global Reporting Initiative* (GRI), do Índice Dow Jones de Sustentabilidade (DJSI) ou outras ferramentas, das quais se trata neste capítulo e amplamente discutidas nos livros “A Indústria Extrativa Mineral e a Transição Para o Desenvolvimento Sustentável” (VILLAS-BÔAS, H.; 2011) e “Indicadores de Sustentabilidade Para a Indústria Extrativa Mineral” (VILLAS-BÔAS, R.C.; 2011). Claro, sem esse necessário acordo de convivência mútua, entre o empresário e a comunidade afetada, não há que se falar em sustentabilidade, salvo quando não haja comunidade afetada e as operações não agri-dam ao meio ambiente e nem o uso futuro do território.

2. Definições e conceitos

2.1. Desenvolvimento sustentável

O conceito de Desenvolvimento Sustentável foi disseminado a partir do documento da Organização das Nações Unidas intitulado “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundland¹ (BRUNTLAND, 1987), e define que:

¹ Em referência à Primeira Ministra da Noruega Gro Brundland que foi a líder do grupo que redigiu o documento *Our Common Future*, WECD 1987.

“O desenvolvimento sustentável é o que procura satisfazer às necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem às suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais.”

Uma das ideias centrais deste conceito é o uso dos recursos naturais com responsabilidade para que as futuras gerações da humanidade não sofram consequências negativas, imprevisíveis e irreversíveis decorrentes de erros do presente, o que comprometeria seus anseios e oportunidades, e, talvez, sua própria sobrevivência face a previsões sombrias decorrentes do mau uso do que nosso planeta ainda pode oferecer. O temor ao esgotamento dos recursos e a observação de eventos de impacto global, como o lançamento de bombas atômicas, o efeito dos CFCs na camada de ozônio e a chuva ácida foram criando essa nova consciência de que o desenvolvimento humano deve incluir o desenvolvimento ambiental e o social, além do econômico ou se tornará insustentável. Essa consciência culmina na definição de desenvolvimento sustentável do relatório Brundtland.

A busca do desenvolvimento sustentável baseia-se no diagnóstico e na ação sobre três componentes: o ambiental, o social e o econômico. “Sustentabilidade” passa a significar então, desenvolvimento econômico, social e ambiental simultaneamente. Todavia, alcançar níveis satisfatórios nos três componentes exige participação da sociedade como um todo, quer seja olhando a sustentabilidade de uma cidade, de um país ou mesmo de uma empresa, pois somente a integração organizada dos esforços de cidadãos e de grupos sociais em todas as comunidades permite alcançar as metas desejadas. É o princípio do “pense globalmente e aja localmente” (*Think globally, act locally*).

Em nível mundial, a discussão sobre sustentabilidade evoluiu muito na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Rio 92), tendo sido aprovada a denominada Agenda 21, que é um plano de ação sobre inúmeras questões, tanto ambientais, como a proteção à biodiversidade; como sociais, exemplificadas pela luta contra a pobreza e a inclusão social, que precisavam de entendimentos globais e propostas aceitas pelos 179 Chefes de Estado presentes. Além disso, nessa conferência foi iniciada a discussão sobre as mudanças climáticas globais que deu origem ao chamado Protocolo de Quioto, que propôs a redução das emissões de gases, como o dióxido de carbono, provocadas pelo uso de combustíveis fósseis, com o objetivo de diminuir ou controlar o chamado “efeito estufa” desses gases na atmosfera. Na sequência, ocorreram ainda as conferências Rio +10 (Johanesburgo, África do Sul, 2002) e Rio +20 (Rio de Janeiro, Brasil, 2012) que retomaram discussões sobre pontos que careciam de entendimento, bem como avaliaram a evolução ambiental global a partir das medidas acordadas entre os governos signatários dos vários protocolos e acordos.

2.2. Desenvolvimento sustentável e produção mineral

Após a conferência Rio 92, a mineração ficou no centro de uma grande polêmica porque se postulava que, como o recurso mineral tende a ser exaurido por não ser renovável tal como a flora e a fauna, então não poderia ser considerada uma atividade sustentável. O pensamento ambientalista levado a extremos deu margem a que vários países restringissem ao máximo a atividade mineira em seus territórios, como aconteceu nos Estados Unidos da América onde, durante a administração do Presidente Bill Clinton (1993-2001), colocaram-se muitas barreiras à abertura de novas minas utilizando regulamentos de cunho ambiental. Embora possa ser considerada algo exagerada, esta

postura dos EUA fez com que as grandes empresas internacionais de mineração reformulassem e buscassem alterar suas práticas que certamente eram, naquele momento, incompatíveis com a nova proposta mundial de Desenvolvimento Sustentável, especialmente em aspectos ambientais e sociais.

Surgem então iniciativas nunca acontecidas anteriormente, como a rodada nacional de negociações entre empresas, governos e comunidades do Canadá, sobre a mineração e sua sustentabilidade, conhecida como *Whitehorse Mining Initiative* (McALLISTER; ALEXANDER, 1997), o programa do PNUMA para conscientização e preparação de emergências ao nível local, APELL² e os seus derivativos, TransApell e PortApell, que somam esforços para a concepção de metodologias de redução de riscos, mitigação de impactos e prevenção coordenada entre a mina, autoridades e comunidade local, bem como a criação do *International Council for Mining and Metals* – ICMM com o objetivo de melhorar o desempenho da indústria mineral e de metais no desenvolvimento sustentável. Esta última iniciativa reuniu as principais empresas de mineração mundiais em torno da proposta de discutir e propor melhorias imediatas, atuar com transparência e assim tornar a mineração uma atividade que demonstra o desejo de se tornar sustentável (ICMM, 2013). Na conferência de Johannesburgo, em 2002, conhecida como Rio +10, a mineração mundial apresentou estas propostas e, a partir de então, muitas melhorias foram perseguidas e algumas alcançadas. Chegou-se à Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável 2012, a Rio + 20, com muitas discussões em pauta e alguns bons resultados práticos como, por exemplo, a transparência dos Relatórios de Sustentabilidade de grandes corporações mineiras internacionais (GRI, 2011).

Mas, afinal, por que o segmento da mineração produtor de rochas ornamentais deve se ligar com essas iniciativas? Seria possível pensar em sustentabilidade e transparência apesar de não haver grandes empresas neste negócio? Quais as consequências de não participar e quais seriam os benefícios de participar do movimento rumo à sustentabilidade? Quais ferramentas de gestão estão à disposição do segmento produtor de rochas ornamentais? Como a tecnologia pode apoiar a busca da sustentabilidade?

Este capítulo propõe-se oferecer algumas respostas a estas indagações, ficando a última pergunta a ser respondida pelos demais capítulos sobre tecnologias aplicadas à produção de rochas ornamentais.

2.3. Caminhos para a sustentabilidade na produção e uso de rochas ornamentais

Iniciativas rumo à sustentabilidade já podem ser observadas em várias partes do mundo envolvendo regiões produtoras minerais. Uma das ferramentas estratégicas que promove mudan-

² APELL (Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level) é uma metodologia desenvolvida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em parceria com governos e indústrias, com o propósito de minimizar as ocorrências e os efeitos prejudiciais de acidentes tecnológicos e emergências ambientais. Em 2001 a metodologia foi estendida à mineração (PNUMA, 2001). Outras derivações são o TransAPELL, programa que inclui os riscos oriundos da navegação, distribuição e transporte de cargas perigosas (PNUMA, 2000), e o PortAPELL, para riscos de acidentes químicos em áreas portuárias. As metodologias em conjunto representam um papel de alta relevância na sustentabilidade de um empreendimento mineral por: (a) promoverem instrumentos de comunicação real entre a comunidade e outros *stakeholders*; (b) permitirem gerar credibilidade e factibilidade sustentáveis de um empreendimento junto à comunidade; e auxiliarem o entendimento e a aplicação dos sistemas de gestão ambiental, em especial a ISO 14.000, sendo, inclusive, catalisadores de ações responsáveis para as mesmas. O portal transapell.net é uma ferramenta acessível às comunidades locais e aos *stakeholders* e permite o monitoramento on-line de pessoas e produtos nas rotas até a mina.

ças nessa direção é chamada de “Ordenamento Territorial” que vem a ser um plano promovido por gestores públicos, discutido amplamente com os interessados e intervenientes, que envolve a reorganização (ordenamento) do uso do espaço físico de interesse. Estes planos, quando encontram áreas industriais ou extrativas, como as de produção de rochas ornamentais, propõem várias intervenções que visam melhorar a convivência entre atividade econômica, meio ambiente e comunidades, atuando sobre seus impactos mais negativos e incômodos. O conceito de ordenamento territorial, utilizado desde os anos 1950 pelas políticas públicas, como ferramenta para a racionalização do uso dos recursos de um determinado território foi evoluindo ao longo dos anos junto com o conceito e o entendimento do “uso racional dos recursos”. Assim, hoje, envolve e é direcionado pelo conceito de desenvolvimento sustentável, sendo a Política de Ordenamento Territorial *per se* a principal ferramenta para se alcançar esse objetivo. No Brasil, a Política Nacional de Ordenamento Territorial conta com instrumentos para sua implementação, como os planos regionais e locais de ordenação do território, o zoneamento ecológico-econômico, a avaliação de impactos, a criação de espaços territoriais especialmente protegidos e os sistemas de informações (CASTRO, 2009).

A mineração pode ser considerada, desde o ponto de vista do ordenamento do território, como uma “utilização temporária” do solo. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, IPT, tem empregado uma metodologia específica voltada à mineração denominada Ordenamento Territorial Geomineiro – OTGM; em algumas situações visando a proposição de soluções que garantam a continuidade da atividade mineral e procurando minimizar eventuais prejuízos a outras atividades econômicas ou do bem-estar de comunidades locais (ANICER, n.74, 2011).

Um exemplo no ramo das rochas ornamentais é o ordenamento da Zona dos Mármoreos do anticlinal de Extremoz, na província do Alentejo, em Portugal. Sendo uma importante atividade econômica regional, foi implementado na região um Plano Regional de Ordenamento do Território (PROZOM) através do qual chegaram a se elaborar Cartas (Plantas) de Ordenamento, onde constavam as potencialidades e as vulnerabilidades ambientais e socioeconômicas da região produtora. Criaram-se Áreas de Deposição Comum (ACDs) para deposição dos resíduos produzidos e, ainda uma EDC – Empresa Gestora das Áreas de Deposição Comum dos Mármoreos, S.A., com os objetivos de gerir, depositar, tratar, valorizar, comercializar e transportar os materiais caracterizados como subprodutos ou resíduos gerados pela atividade extrativa e indústria transformadora de rochas ornamentais na zona dos mármoreos, que integra os municípios de Alandroal, Borba, Extremoz e Vila Viçosa. O ordenamento territorial ainda não é prática comum no Brasil, todavia há outros tipos de iniciativas de busca do caminho da sustentabilidade em várias áreas produtoras de rochas ornamentais país afora. Descreve-se, sucintamente, no quadro 1 a experiência do chamado Arranjo Produtivo de Rochas Ornamentais de Santo Antônio de Pádua, para ilustrar o comentário.

2.4. Ferramentas para implementação e melhoria da sustentabilidade na indústria mineral

Evolução da atenção com o meio ambiente

A transformação da atitude empresarial, de modo a atender os preceitos de um desenvolvimento sustentável, fez com que o setor produtivo buscasse nos últimos 30 anos, metodologias de produção mais limpa seguindo o conceito de ecoeficiência (economia de energia e matérias

primas, aproveitamento dos resíduos e geração de menos rejeitos e poluição). São incentivadas atitudes sustentáveis como a adoção de sistemas de gestão ambiental, a análise do ciclo de vida dos produtos, e mais recentemente, o engajamento nas questões sociais, a responsabilidade social corporativa. O quadro 2 sintetiza a evolução histórica da gestão ambiental nas empresas, desde o desenvolvimento de padrões de qualidade primários de emissão de poluentes até o recente processo de integração das responsabilidades ambiental e social na estrutura empresarial.

GNAISSES DO NOROESTE DO RIO DE JANEIRO – SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA

No município fluminense de Santo Antônio de Pádua, a ocorrência de rochas tipo gnaisses milonitizados permitiu o aparecimento e crescimento de um Arranjo Produtivo Local de rochas ornamentais, o APL de Pádua. Desde a década de 1980, pequenas pedreiras artesanais e serrarias produzem a conhecida Pedra Miracema, ou Paduana, e a Pedra Madeira. Com a disseminação de pedreiras nas duas pequenas serras que cortam o município, começaram os conflitos entre pequenos produtores rurais e o “pessoal da pedra” porque encostas de morros foram alteradas perdendo as drenagens originais, bem como o consumo de água e retorno da mesma poluída a córregos e rios locais interferia em outras atividades como a pecuária local. Foi a partir do acirramento deste conflito que órgãos estaduais (Departamento de Recursos Minerais – DRM RJ e FEEMA atual Instituto Estadual de Meio Ambiente – INEA), organizações de apoio (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e Serviço Nacional de Aprendizado Industrial – SENAI), centros de pesquisa federais (CETEM e Instituto Nacional de Tecnologia – INT), e a representação dos produtores da pedra (Sindignaisnes) e Prefeitura de Pádua começaram a atuar em conjunto para dar soluções aos problemas ambientais mais críticos. O Ministério Público Federal abriu processo legal exigindo a regularização das atividades nas pedreiras e serrarias e foi, então, firmado um Termo de Ajustamento de Conduta – TAC para permitir a implementação dos requisitos técnicos e legais que permitissem a continuação da operação das mesmas. Dentre os sérios problemas a serem solucionados, um deles era o alto consumo de água e sua poluição com material sólido ultra fino decorrente da serragem do gnaisse. CETEM e INT desenvolveram um processo simples e adaptável às pequenas serrarias locais em que se faz a separação do material sólido das lamas de serraria da água, promovendo seu reuso (retorno) às próprias máquinas de corte. Houve economia de mais de 90% da água antes desperdiçada. Por sua vez, os sólidos finos retirados da lama passaram a ser aproveitados como insumo para a fabricação de argamassa industrial na fábrica da empresa Argamil, construída no próprio Município de Santo Antônio de Pádua, eliminando este poluente do meio ambiente. O trabalho foi premiado e virou exemplo para outros APLs de rochas ornamentais. As serrarias começaram a conseguir suas licenças ambientais e os produtores, ainda, obtiveram a Indicação de Origem de seus materiais. As pedreiras também estão em processo de regularização ambiental, tendo algumas já conseguido o licenciamento.

Quadro 1 - A busca da sustentabilidade no Arranjo Produtivo Mineral de Santo Antônio de Pádua (RJ).

Séc. XX - Anos 1950/1960	Séc. XX - Anos 1970/1980
Desenvolvimento de padrões de qualidade ambiental e de emissão de poluentes. Diluição nas águas e no ar (chaminés). Meio ambiente "livre" ou "quase livre" (ênfase no aumento da produção). Inexistência de responsabilidade ambiental corporativa.	Sistemas de licenciamento de indústrias com avaliação de impacto ambiental. Legislação "comando e controle". Controle no final do processo (" <i>end of the pipe</i> "). Atitude reativa: apenas cumprimento das normas (quando obrigado). Responsabilidade ambiental corporativa isolada.
Séc. XX - Anos 1990	Séc. XXI - Anos 2000/2010
Instrumentos e incentivos econômicos (tipo poluidor-pagador). Códigos voluntários de conduta (ISO 14000). Produção Mais Limpa. Ecoeficiência. Sistemas de Gestão Ambiental. Auditorias Ambientais. Contabilidade Ambiental. Atitude proativa: além do cumprimento das normas ambientais. Integração total da responsabilidade ambiental na estrutura empresarial.	Responsabilidade pela cadeia produtiva. Ética nos negócios. Sistemas Integrados de Gestão Avaliação do Ciclo de Vida de produtos. Ecodesign. Economia de baixo teor de Carbono. Pegada Hídrica. Atitude proativa: inclusão das questões sociais. Territorialidade. Origem dos recursos minerais. Integração das responsabilidades ambiental e social na estrutura empresarial.

Quadro 2 - Evolução da Gestão Ambiental nas Empresas. Adaptado de Lemos, 2012.

Mas a evolução observada não ocorreu da mesma forma em todo o setor produtivo. A mineração é uma atividade potencialmente poluidora, e as etapas de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais, embora operem em escalas mais reduzidas que outros tipos de mineração, além de produzir impactos ambientais, frequentemente mudam a dinâmica social e econômica do seu entorno. Por isso, está sujeita a um arcabouço legal mais rigoroso, o que aumenta despesas de instalação e operação de minas, pedreiras e unidades beneficiadoras, especialmente para as micro e pequenas empresas por não estabelecerem, em muitos casos, critérios e exigências diferenciadas face às diferentes escalas de produção.

A figura 1 ilustra a complexidade dos dispositivos legais e regulamentos que governam a produção e uso de rochas ornamentais tais como normas técnicas, regulamentos e certificações de cunho técnico e ambiental, leis, diretrizes e políticas nacionais, entre outros.

Apesar da complexidade, deve se enfatizar que o caminho da sustentabilidade inicia pela legalização e manutenção da legalidade de qualquer tipo de empreendimento, especialmente no setor de mineração porque, embora possam existir lavras e pedreiras clandestinas ou informais, as leis e regulamentos que regem esta atividade especificam muitas elevadas ou penalidades duras e ainda conferem poderes extraordinários aos agentes legais, quer sejam de agências ambientais estaduais ou federal, quer sejam do órgão regulamentador da mineração (DNPM, 2012).

Aspectos obrigatórios e medidas voluntárias

É importante ressaltar que a sustentabilidade de atividades industriais, dentre estas as de mineração tem dois aspectos, um de caráter compulsório ou obrigatório e outro de caráter voluntário. Certas ferramentas do aspecto voluntário podem muito colaborar para o aspecto do obrigatório

como, por exemplo, ao buscar a certificação ISO 14000 (certificação ambiental) de uma unidade de produção, o interessado certamente se verá obrigado a ter as licenças ambientais cabíveis e necessárias, como as detalhadas no Capítulo 5 deste livro.

As certificações voluntárias, portanto, são voltadas a destacar aspectos mercadológicos ligados à qualidade, ao meio ambiente e à origem de produto, tais como as certificações ISO 9000, a ISO 14000 e a indicação geográfica, ou indicação de procedência, respectivamente, que representam formas de agregar valor e credibilidade a um produto ou serviço, conferindo-lhes um diferencial de mercado.

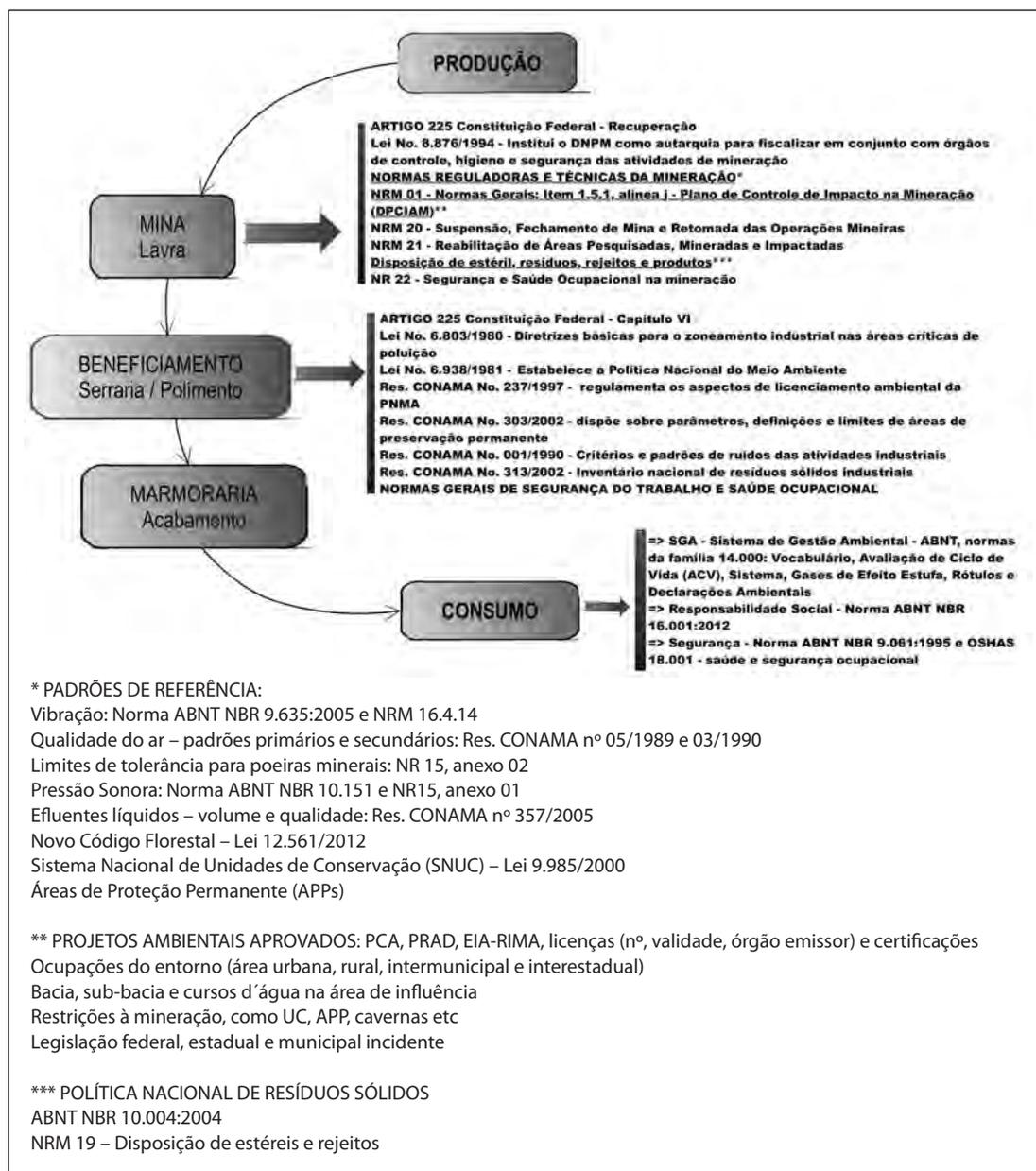


Figura 1 - O atendimento à legislação e à adoção de práticas responsáveis e práticas ambientais. Adaptado de: Mofati, et al. 2012.

Sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável

Para as empresas que querem buscar vantagens competitivas por meio de boas práticas, ou para aquelas que desejam assumir protagonismo na promoção do desenvolvimento sustentável, existem uma série de ferramentas para a medição da sustentabilidade. Para avaliar o grau de adequação de determinada atividade econômica aos preceitos da sustentabilidade, como a exploração e produção mineral, surgiram “Sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável” que objetivam medir e estabelecer padrões para a análise no âmbito ambiental, econômico e social como forma de proporcionar uma base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis.

As ferramentas existentes buscam medir aspectos mais representativos de um sistema (por exemplo; uma empresa e todas suas unidades) por meio de indicadores que permitam avaliá-lo em dado momento e orientar melhoramentos e correções necessários na busca de aprimoramentos contínuos. Dentre as principais metodologias consagradas, destacam-se o *Ecological Footprint Method* (Método da Pegada Ecológica) o Relatório de Sustentabilidade modelo *Global Reporting Initiative* – GRI, o Índice *Dow Jones* de Sustentabilidade (Dow Jones Sustainability Indexes – DJSI) e o Índice de Sustentabilidade Empresarial - ISE.

Como ferramentas de gestão destacam-se as normas da série ISO 14000 que têm como base um Sistema de Gestão Ambiental – SGA – e estabelecem as diretrizes para as auditorias ambientais, avaliação do desempenho ambiental, rotulagem ambiental e análise do ciclo de vida, entre outros que serão mais bem explicitados à frente. As normas objetivam a transparência da empresa e de seus produtos e processos com relação aos aspectos ambientais e servem de modelo para a implementação de programas na empresa que possibilitem harmonizar os procedimentos e as diretrizes aceitas internacionalmente com a experiência e a tradição locais.

A seguir são apresentados os fundamentos das metodologias que usam os referidos sistemas de indicadores ambientais.

- A rede GRI, *Global Reporting Initiative*, é uma organização não governamental sediada na Holanda e propõe uma metodologia de seleção de indicadores e de apresentação de resultados em relatórios de sustentabilidade que se tornaram os mais usados no mundo atualmente. O conjunto de princípios, protocolos e indicadores desenvolvido pela GRI torna possível gerir, comparar e comunicar o desempenho das organizações nas dimensões social, ambiental e econômica. A rede engloba mais de 30 países, e atualmente mais de 2.000 empresas no mundo adotam seu modelo. O processo de melhoria é voluntário e consensual, por meio dos participantes da rede e dos pontos focais. Os indicadores são separados por temas: econômicos, ambientais, relações trabalhistas, direitos humanos, sociedade e responsabilidade sobre produtos (GRI, 2011). As grandes corporações mundiais da indústria mineira, como a VALE, vêm utilizando esta metodologia há alguns anos. O quadro 3 apresenta um resumo dos principais índices e exemplos de indicadores normalmente utilizados pelo GRI.
- O *Ecological Footprint Method*, ou método da Pegada Ecológica, é uma ferramenta que transforma o consumo de matéria-prima e a assimilação de dejetos de um sistema econômico ou população humana, em área correspondente de terra produtiva ou água, fundamentando-se no conceito de capacidade de carga. Seria a medida das demandas da humanidade no ecossistema terrestre e funcionaria com uma lógica semelhante à da análise de ciclo de vida, na qual o consumo de energia, a biomassa (alimentos, fibras), os materiais de construção, a água e outros recursos são convertidos em uma medida normalizada de área da terra chamada de hectares globais (GHA). Vem sendo usado pelas empresas para melhorar sua visão de mercado, definir a direção estratégica, a gestão do desempenho e comunicar seus pontos fortes (Global Footprint Network, 2013).

ECONÔMICOS		SOCIEDADE		AMBIENTAIS	
Desempenho Econômico	Valor Econômico direto, incluindo custos de operação, compensação de empregados e doações	Comunidades Locais	Porcentagem de operações com engajamento das comunidades locais e programas de desenvolvimento	Energia	Gasto direto por fonte primária
	Cobertura do plano de benefícios		Operações com potencial ou real impacto negativo nas comunidades		Gasto indireto por fonte primária
	Assistência recebida pelo governo		Prevenção e mitigação de impactos em potencial ou reais nas comunidades		Gasto evitado devido melhorias de conservação ou eficiência
Presença de mercado	Políticas, práticas e proporção de gastos de fornecedores locais	Corrupção	Porcentagem e número total de unidades analisadas de risco de corrupção	Água	Gasto total
	Procedimentos para contratações locais		Porcentagem de empregados treinados em políticas e procedimentos anticorrupção		Porcentagem de água reutilizada e/ou reciclada
	Desenvolvimento e impactos de investimento em infraestrutura e serviços fornecidos para benefício público		Ações tomadas em resposta a incidentes de corrupção		Fontes afetadas
Impactos econômicos Indiretos	Entendimento e descrição dos impactos indiretos significantes	Políticas públicas	Posição da empresa pra criação de políticas públicas e lobbying	Biodiversidade	Descrição dos impactos significantes à biodiversidade em áreas não protegidas
			Valor total de financiamento a partidos políticos e instituições relacionadas		Habitats protegidos ou restaurados

Quadro 3 - Índices e exemplos de indicadores utilizados nos relatórios de GRI para mineração. Extraído de GRI, 2012.

- O Índice Dow Jones de Sustentabilidade é considerado no meio empresarial como o mais importante índice mundial de sustentabilidade que, na atualidade, avalia o desempenho de mais de 300 empresas, com base em critérios sociais, econômicos e ambientais de longo prazo. Sua metodologia de trabalho tem como base avaliações anuais de sustentabilidade corporativa, na qual os questionários cobrem riscos e oportunidades específicos da indústria para o setor estudado. Em seguida, são comparadas entre os pares para permitir identificar os líderes em sustentabilidade. Os resultados são ranqueados e divulgados anualmente, sendo uma importante vitrine para as empresas (Dow Jones Index, 2013).

No Brasil, a Bolsa de Valores de São Paulo e de Mercadorias & Futuros (BM&FBOVESPA), em conjunto com várias instituições – Associação Brasileira das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (ABRAPP), Associação Nacional dos Bancos de Investimentos (ANBID), Associação Nacional dos Analistas e Profissionais de Investimento de Mercado de Capitais (APIMEC), Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBGC), Instituto de Fiscalização e Controle (IFC), Instituto ETHOS e Ministério do Meio Ambiente (MMA) – decidiu criar um índice de ações que sirva como referencial para os investimentos socialmente responsáveis, o Índice de Sustentabilidade Empresarial, ISE.

A Bolsa é responsável pelo cálculo e pela gestão técnica do índice. O ISE é uma ferramenta para análise comparativa do desempenho das empresas listadas na BM&FBOVESPA sob o aspecto da sustentabilidade corporativa, baseada em eficiência econômica, equilíbrio ambiental, justiça social e governança corporativa (BM&FBOVESPA, 2012).

Sistemas de gestão ambiental: família ISO 14000

Devido ao movimento do comércio mundial na direção acelerada da globalização dos mercados e produtos, a necessidade de padronização de inúmeros procedimentos técnicos, comerciais e legais, bem como de garantia de qualidade de produtos e serviços, provocou a busca de uma linguagem comum aceita internacionalmente. A internacionalização de normas técnicas foi uma das respostas, repercutindo também na formulação de sistemas de gestão da qualidade e de meio ambiente, aceitos mundialmente.

A Organização Internacional de Normalização (ISO) foi criada em 1946, por 25 países, dentre eles o Brasil, com objetivo de facilitar a coordenação internacional e unificar os padrões industriais. Hoje, é o maior produtor de normas internacionais e desde sua fundação produziu mais de 19 mil normas que cobrem muitos aspectos relacionados à tecnologia e aos negócios (ISO, 2013). No Brasil, o organismo normalizador que possui assento na ISO e, portanto, representa o país na elaboração e revisão das normas internacionais é a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Esta não apenas transcreve as normas internacionais vigentes com também atua na elaboração de normas regionais e locais de interesse do Brasil.

Normas Técnicas são documentos não mandatários, elaborados por consenso entre as partes interessadas (produtores, consumidores e governo), que estabelecem requisitos mínimos que atividades e produtos devem cumprir, de modo a atingir os seguintes objetivos (LEMOS, 2012):

- Padronização: simplificar e reduzir procedimentos para elaboração de produtos e realização de serviços.
- Economia: reduzir a crescente variedade de produtos e procedimentos, bem como os seus custos, proporcionando ao consumidor a ao fabricante melhores condições de mercado.
- Comunicação: proporcionar informações mais eficientes para o fabricante e o consumidor, melhorando a confiabilidade das relações comerciais e de serviços.

- **Segurança e Saúde:** proteger a vida humana e a saúde.
- **Proteção ao Consumidor:** disponibilizar à sociedade meios eficientes para mensurar a qualidade de produtos e serviços.
- **Eliminação de Obstáculos Técnicos e Comerciais:** a norma deve facilitar o intercâmbio comercial e só deve ser restritiva quando os governos a utilizarem de forma compulsória (incluindo na legislação), com o objetivo de: atender a requisitos de segurança nacional, prevenir práticas enganosas, proteger a saúde humana ou a segurança e proteger a saúde animal e vegetal ou do meio ambiente (WTO, 2003). O Brasil é signatário do Acordo sobre Barreiras Técnicas da Organização Mundial do Comércio, assim como mais de 160 países, com o objetivo de garantir que os produtos brasileiros que atendam às especificações técnicas, possam ser comercializados sem restrições em terceiros mercados. Por outro lado, as normas internacionais podem também ser usadas para criar barreiras técnicas a produtos ou serviços, como já aconteceu com as rochas ornamentais brasileiras (Quadro 4).

BARREIRAS TÉCNICAS

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais e sua competitividade depende, entre outras coisas, da adequação dos produtos às exigências dos clientes de outros países o que pode ser atingido com programas de avaliação da conformidade e normativas harmonizadas com aquelas dos países consumidores. Nos últimos anos houve alguns episódios de tentativas de criar barreiras à entrada das rochas ornamentais brasileiras em alguns países, com base em requisitos técnicos que prejudicaram, mesmo momentaneamente, a exportação desses produtos.

Como exemplo, um estudo contratado pela Fundación Centro Tecnológico de la Pizarra, da Espanha, propôs a não conformidade das ardósias de Minas Gerais à definição comercial de ardósia da proposta de revisão da norma EN12326. Essa proposta baseou-se em um detalhe de caráter teórico, segundo o qual as ardósias de Minas Gerais teriam sido formadas por compressão litostática, enquanto a norma estabelece que os planos de clivagem ardosiana devam ser resultantes de compressão tectônica (CHIODI FILHO, 2011). A mobilização de diversas instituições brasileiras (ABIROCHAS, AMAR-MG, MME E MRE) acabou resultando em parecer favorável ao Brasil.

Outro caso, também no início deste século, foi a tentativa de desqualificar os granitos brasileiros nos Estados Unidos, alegando que seriam emissores de gas radônio e, portanto, perigosos para a saúde. O caso foi totalmente esclarecido e a própria agência ambiental americana (EPA) publicou um estudo demonstrando a segurança dos granitos brasileiros.

Quadro 4 - Barreiras técnicas às exportações de rochas brasileiras.

Em março de 1993, a ISO estabeleceu o Comitê Técnico de Gestão Ambiental, ISO/TC207, para desenvolver uma série de normas internacionais de gestão ambiental, A série, que recebeu o nome de ISO 14000, refere-se a vários aspectos, como sistemas de gestão ambiental, auditorias ambientais, rotulagem ambiental, avaliação do desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida e terminologia. Hoje o TC 207 possui seis subcomitês tratando dos seguintes assuntos:

- SC 1 Sistemas de Gestão Ambiental
- SC 2 Auditorias Ambientais e Investigações Ambientais relacionadas
- SC 3 Rotulagem Ambiental
- SC 4 Avaliação de Desempenho Ambiental
- SC 5 Avaliação de Ciclo de Vida
- SC 7 Gestão de gases de efeito estufa e atividades correlatas

Cada assunto é sintetizado em normas relacionadas. No Brasil, a ABNT criou o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) para participar do desenvolvimento das normas ISO 14000 a nível internacional e para traduzir e publicar as normas brasileiras correspondentes.

As normas da série ISO 14000 foram concebidas para aumentar a transparência da empresa e de seus produtos com relação aos aspectos ambientais, no escopo de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). No final deste capítulo encontra-se a tabela adaptada do comitê técnico 207 da ISO, que classifica e descreve, minimamente, as normas da família ISO 14000, traduzidas pela ABNT, de acordo com a sua localização no ciclo PDCA. O ciclo PDCA, ou ciclo de Deming, tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, como, por exemplo, na gestão ambiental, dividindo-a em quatro principais passos: Planejar (Plan), executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act).

As normas da família 14000 podem ser categorizadas em:

- Implementação de sistema de gestão ambiental – SGA;
- análises de ciclo de vida e gestão de aspectos ambientais;
- auditorias e avaliação do desempenho ambiental;
- comunicação e utilização de declarações ambientais e reivindicações;
- inserção de aspectos ambientais em produtos e em normas de produtos;
- avaliação de desempenho de gases de efeito estufa; e
- gestão de gases de efeito estufa – GEE.

Na implementação do SGA, a ISO 14001 define a estrutura mais reconhecida no mundo. A norma, que em sua versão brasileira é denominada NBR ISO 14.001:2004, ajuda as organizações a gerenciar melhor, tanto o impacto de suas atividades no meio ambiente, quanto a demonstrar a boa gestão ambiental. A ISO 14001 foi adotada como um padrão nacional em mais de metade dos 160 membros nacionais da ISO e seu uso é incentivado por governos ao redor do mundo.

A Norma ISO 14001 é, por enquanto, a única da Série ISO 14000 que pode ser certificada por uma terceira parte, isto é, uma entidade especializada e independente, reconhecida em um organismo autorizado de acreditação, que no Brasil é o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro.

Com relação a dados sobre empresas do setor de rochas ornamentais e a sua adequação às ferramentas de gestão ambiental, o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Espírito Santo (SEBRAE-ES, 2004), em parceria com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – Cebdes e com o Centro Tecnológico do Mármore e Granito – Cetemag, efetuou em 2004 um diagnóstico da situação da gestão ambiental nas indústrias do setor de mármore e granito do Estado. A experiência, fruto da implementação do programa de Produção mais Limpa no núcleo de negócios do Sebrae-ES, foi efetuada por meio da aplicação de questionários direcionados a um universo de 361 empresas. Desses, 241 foram respondidos, gerando dados relacionados à percepção das empresas nos seguintes temas:

- Situação ambiental das empresas;
- informações de caráter econômico;
- recursos humanos na área ambiental;

- relação com órgãos do governo e fatores que influenciam a gestão ambiental;
- preocupação com as questões ambientais e ações de responsabilidade social; e
- conhecimento de temas ambientais.

Com relação aos aspectos ambientais³, 90% das empresas indicaram os efluentes líquidos como aspecto mais relevante resultante de suas atividades, seguido dos resíduos sólidos não perigosos (59%) e das emissões atmosféricas (36%). Apenas 2% dos entrevistados apontaram desconhecer ou não possuir problemas ambientais em suas empresas, o que indica o grau de conscientização do setor.

Em termos de ação de controle e prevenção ambiental, as principais ações (59% e 52% respectivamente) estavam voltadas para a redução do consumo de água e de energia. A preocupação com a disposição adequada de resíduo sólido aparecia em terceiro lugar (48%), seguida pela reciclagem (44%). O estudo do Sebrae-ES apontava outras ações, como a construção de estações de tratamento de efluentes (36%) e investimentos para a introdução de equipamentos de proteção individual e coletiva (26%). Também indicava que 24% das empresas apresentavam iniciativas voltadas para a mudança dos processos de redução de desperdícios e resíduos, o que significa que essas empresas apresentariam um potencial para adoção de práticas de ecoeficiência. Por fim, o questionário apontou que 6% das empresas não efetuaram quaisquer ações ambientais, o que demonstra que a maioria das empresas, na ocasião, atuava de algum modo buscando solução para os seus problemas ambientais.

Com respeito às dificuldades para melhoria ambiental, os maiores obstáculos considerados pelas empresas seriam, respectivamente, o custo elevado para aquisição de equipamentos ambientais (56%), a falta de orientação e de informação dos órgãos ambientais (46%), a falta de informações técnicas (35%), a mudança frequente da regulamentação ambiental (33%) e os altos custos trabalhistas da mão de obra (32%).

Os registros sistemáticos aparecem com os piores indicadores, sendo que 41% das empresas não mantinham qualquer registro na área ambiental. Os registros existentes relacionam-se a descarga de efluentes líquidos (41%) e geração de resíduos sólidos (30%). O estudo aponta que estes dados reforçam a tese de que o gerenciamento dos aspectos ambientais é mais difícil nas pequenas e médias empresas. Especialmente quando apenas 11% das empresas apresentaram preocupação com treinamento de pessoal na área ambiental e 10% com procedimentos de gestão ambiental e realização de auditorias ambientais.

Como ações futuras na área ambiental, o estudo indicou a renovação de licença ambiental (36%) e a melhoria da imagem ambiental da empresa (35%) como principais indicadores, muito embora um grupo de empresas voltadas para o mercado externo tenha percebido a relevância da contratação de consultoria especializada (13%) e a necessidade de implantar procedimentos de gestão (12%), ainda exigir a melhoria ambiental de seus fornecedores (21%).

O estudo aborda outros indicadores, mas os principais, descritos aqui, resumem a percepção de que o setor produtivo de rochas ornamentais percebia, dez anos atrás, o recrudescimento da legislação ambiental e começava a entender a necessidade de adequação às questões ambientais, como forma de melhorar a sua imagem perante a sociedade e como forma de economizar recursos financeiros. Mas as barreiras para a execução de mecanismos gerenciais mais sustentáveis estariam na falta de informação, na burocracia legal e na carência de incentivo e crédito para o micro e pequeno produtor.

³ Aspectos ambientais são elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente, causando ou podendo causar impactos ambientais, positivos ou negativos. Em outras palavras, o aspecto ambiental seria a causa, enquanto o impacto ambiental seria o efeito. Por exemplo, o aspecto ambiental é o descarte de efluentes líquidos sem tratamento, enquanto o impacto ambiental é a contaminação do rio.

Dez anos depois, a situação no que se refere à gestão ambiental entre as empresas produtoras de rochas ornamentais no Espírito Santo mudou apreciavelmente. Após passar por uma crise internacional que modificou bastante a mentalidade e forma de atuação de muitos empresários que perceberam que aqueles com adequados sistemas de gestão, principalmente ambiental, foram os que superaram a crise e com o auxílio de forte pressão do DNPM, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama – e do Instituto Estadual de Meio Ambiente – IEMA, verifica-se hoje que todas as empresas implantaram algum tipo de sistema de gestão ambiental, com maior ou menor empenho e algumas buscam a certificação. Hoje, não há nenhuma certificada, de acordo com consulta ao Inmetro. Em verdade, a obtenção do certificado e sua manutenção são processos trabalhosos e dispendiosos ao ponto de muitas empresas desistirem. Por outro lado, essa dificuldade é a que garante aos consumidores que o compromisso com o desenvolvimento sustentável de determinada empresa é real. De acordo com a consulta realizada, apenas 209 unidades empresariais no Brasil tem certificado ISO 14001 válido em março de 2013. Entre elas há oito mineradoras de carvão e mais nenhuma do setor mineral.

Embora continuem com registros deficientes, especialmente no que se refere ao consumo de água, as empresas produtoras e beneficiadoras de rochas ornamentais, de forma geral, tem resolvido ou minimizado problemas ambientais que dez anos atrás assumiam como importantes. As melhorias, visíveis em qualquer visita, são, principalmente: a melhor organização do trabalho, otimizando os espaços e mantendo ordem e limpeza nas empresas, a implementação de programas de proteção à saúde e segurança dos trabalhadores e obrigatoriedade do uso de Equipamentos de Proteção Individual – EPIs, recirculação de mais de 90% da água do beneficiamento e depósito do resíduo fino gerado, após tratamento no local, em aterros licenciados pelo IEMA, e utilização de tecnologias mais limpas como os teares multifio que começam a ser instalados nas pedreiras e espera-se substituam os teares convencionais.

Atitudes que mostra claramente a mudança empresarial foram a obtenção da Indicação Geográfica para os Mármore de Cachoeiro de Itapemirim, que vem a ser um controle de qualidade desse produto, e a busca, junto ao governo federal, de inclusão das rochas ornamentais nos programas piloto de realização de Inventários de Ciclo de Vida, dentro do Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida – PBACV, que foi iniciativa do setor produtivo (Quadro 5).

Toda essa mudança tem se observado em empresas pequenas, médias e até grandes, principalmente nas empresas de beneficiamento de blocos (serrarias) que são a maioria no estado do Espírito Santo. No entanto, a produção de rochas ornamentais também se dá em Arranjos Produtivos Locais – APLs, de microempresas, principalmente na produção de pedras naturais ou rochas que são aplicadas em sua forma natural sem serem submetidas a polimento e, por suas características geológicas são produzidas em lajotas de forma semimecanizada, como é o caso dos gnaisses de Santo Antônio de Pádua (RJ), os quartzitos de Pirenópolis (GO) e os de Santo Tomé das Letras (MG), o Calcário de Cariri (CE) e as Ardósias de Papagaios (MG). Nesses casos, em que a pedra é extraída em muitas pequenas pedreiras e cortada em pequenas serrarias, a implantação de um sistema de gestão ambiental é ainda quase utópica. Graças à política governamental de apoio aos Arranjos Produtivos Locais, devido à sua importância social na interiorização do país, os produtores desses APLs tiveram que se organizar por meio de cooperativas para se formalizarem. As cooperativas, sim, poderiam elaborar e implementar um SGA só que ainda não há maturidade para isso e, quando se observam as atitudes ambientais nas empresas de forma individual percebe-se que ainda há um longo caminho para percorrer. Um grupo de pesquisadores da Universidade Católica de Brasília – UCB (OLIVEIRA *et*

al., 2009) fez um exercício para tentar avaliar o desempenho ambiental das pedreiras e serrarias de ardósia de Papagaios, de acordo com a norma NBR ISO 14031:2004, que estabelece as diretrizes para uma avaliação de desempenho ambiental. Os resultados mostraram um fraquíssimo desempenho e o estudo categorizou 75% das mineradoras e 63% das serrarias como vulneráveis ou frágeis, ou seja, com gestão ambiental desequilibrada. Na análise do cluster, apesar da heterogeneidade da amostra, o mesmo estudo identificou dois grupos de empresas com desempenho ambiental bem diferente. O ideal seria que o grupo com melhor desempenho servisse de exemplo para os integrantes do outro grupo, mas mesmo o que apresentou melhores resultados ainda tem um longo caminho a percorrer até seu Sistema de Gestão Ambiental possa ser considerado sólido e estável.

INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: ICV – ROCHAS

Por iniciativa dos representantes dos produtores do Espírito Santo, o Cetemag e o Sindirochas, foi elaborado o Inventário de Ciclo de Vida das Rochas Ornamentais, de acordo à metodologia estabelecida na norma NBR ISSO 14.040. Os dados foram coletados e modelados pelo CETEM, em empresas representativas do estado e o inventário está na fase de validação pelo Cetemag, com apoio do Instituto Euvaldo Lodi – IEL-ES, através da Federação das Indústrias do Estado do Espírito Santo – FINDES e do Programa de Apoio a Iniciativas de Competitividade Local – Projeto CNI/BID/FOMIN de Desenvolvimento Territorial. O Inventário abrangeu o estudo da carga ambiental (consumo e emissões de matéria e energia) da produção de um metro quadrado de chapa polida de granito em dois sistemas produtivos: o sistema principal do beneficiamento e o sistema auxiliar da produção de blocos nas pedreiras. Os dados abastecerão a base de dados de inventários de ciclo de vida brasileira, o SISCV-Brasil, do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT – e, além de servirem para realizar a Análise de Ciclo de Vida, objetivo inicial do estudo, poderiam vir a ser utilizados para se obter algum tipo de certificação ambiental, do tipo das Declarações Ambientais de Produto. A elaboração do inventário foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e o Cetem contou com a parceria do Cetemag, do IFES, do Sindirochas, do Inmetro, do Ibict e da Associação Ambiental Monte Líbano – AAMOL, na realização deste trabalho.

Quadro 5 - O ICV-Rochas, um passo no caminho da sustentabilidade.

Ferramentas de gestão voltadas à sustentabilidade

1. Auditoria ambiental: uma das ferramentas preventivas da gestão ambiental, que leva ao aprimoramento dos processos de produção, tornando-os mais limpos e reduzindo seus impactos negativos sobre o meio ambiente externo. Permite às empresas localizar falhas e procedimentos inadequados, vazamentos, ineficiência e desperdícios, apontando as formas de neutraliza-los e tomando as medidas necessárias para corrigi-las. Trata-se de um processo sistemático e documentado de verificação, que tem sido apropriado por alguns estados como ferramenta obrigatória (fiscalização compulsória) em suas legislações.

Os principais objetivos de uma auditoria ambiental são de verificar:

- O cumprimento da legislação ambiental;
- o cumprimento da política ambiental adotada pela organização;
- o funcionamento do sistema de gestão ambiental adotado; e
- os impactos causados pela organização.

Podem se distinguir em auditoria ambiental e auditoria de desempenho ambiental. Esta última sendo uma atividade de medição que verifica a conformidade em relação à legislação ambiental ou em relação às metas e aos objetivos definidos na política ambiental da empresa.

2. Análise do Ciclo de Vida – ACV: segundo Lemos e Barros (2006), é um instrumento da gestão ambiental aplicável a bens e serviços. Para os autores, o ciclo de vida que interessa à gestão ambiental refere-se aos aspectos ambientais de um bem ou serviço em todos os seus estágios, desde a origem dos recursos no meio ambiente, até a disposição final dos resíduos de materiais e energia após o uso, passando por todas as etapas intermediárias, como beneficiamento, transportes, estocagens e outras. A expressão do "berço ao túmulo" descreveria o processo, sendo "berço" o nascedouro dos insumos primários, mediante a extração de recursos naturais, e "túmulo" o destino final dos resíduos que não serão reusados ou reciclados. Ela é operacionalizada por meio das etapas:

- Inventário – consiste em um processo de base de dados que armazena informações quantitativas de energia e matérias primas necessárias, emissões gasosas, efluentes líquidos, sólidos e outros lançamentos no ambiente de qualquer parte do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade;
- Análise de impacto – representa uma técnica quantitativa e/ou processo qualitativo para caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas no inventário. A avaliação deve considerar os efeitos sobre a saúde humana e ecológica, assim como outros efeitos e modificações no meio ambiente;
- Análise de melhoria – constitui uma avaliação sistemática das necessidades e oportunidades para reduzir a carga ambiental associada à energia e à matéria-prima utilizadas e às emissões de resíduos em todo ciclo de vida de um produto, processo ou atividade.

A Análise de Ciclo de Vida é uma ferramenta que está sendo utilizada para obter certificações criadas para incentivar a "construção verde" (*green building*) e em vários países estão se realizando essas Análises para Rochas Ornamentais, incluindo o Brasil, em que uma equipe do CETEM está finalizando o Primeiro Inventário de Ciclo de Vida das Rochas Ornamentais, como mostra o quadro 5.

3. O conceito de Produção mais Limpa – P+L – foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA em 1988. A produção mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, aplicada a processos, produtos e serviços. Incorpora o uso mais eficiente dos recursos naturais e, conseqüentemente, minimiza a geração de resíduos e poluição, bem como os riscos à saúde humana. Para os processos a P+L inclui a conversão de matérias primas e energia, eliminando o uso de materiais tóxicos e reduzindo a quantidade de toxicidade de todas as possíveis emissões e resíduos. Para produtos, a P+L inclui a redução dos efeitos negativos do produto ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até a disposição final do produto. As técnicas de produção mais limpa consistem em eliminar todo e qualquer desperdício, pois o desperdício é tudo aquilo que não agrega valor ao produto ou serviço. O êxito do programa é associar os aspectos e impactos ambientais

de uma atividade a um custo calculado sobre preços reais de compra de matérias primas e insumos, destinação e venda de resíduos. Os resultados são calculados em termos de benefícios ambientais, econômicos, de produtividade e outros, tais como saúde ocupacional, qualidade e segurança. Trata-se de uma metodologia mais simples que a ACV, que também traz resultados de proteção ambiental definitivos, com vantagens técnicas e econômicas, na qual a prioridade de sua implantação está baseada na origem da geração de resíduos, buscando soluções nos processos produtivos da empresa.

4. Rotulagem Ambiental: a rotulagem ambiental ou selo verde é praticada em vários países com formas de abordagem e objetivos diferentes. A conscientização dos consumidores, sobre as questões ambientais, propiciou o surgimento de sistemas de rotulagem ambiental, destinados a identificar benefícios ambientais em processos e produtos. Mas a proliferação de rótulos ambientais gerou a necessidade de serem estabelecidos padrões e regras para o seu uso adequado, por isso a ISO desenvolveu normas para a rotulagem ambiental, sendo que os princípios gerais para todos os tipos de rótulos e declarações se encontram na norma ISO 14.020 (LEMONS; BARROS, 2006). Embora a rotulagem ambiental de produtos não seja obrigatória no comércio mundial, já ocasiona uma diferenciação na competitividade dos produtos, em um mercado que é cada vez mais exigente em termos dos impactos ambientais. Os rótulos ambientais podem ser de três tipos.
 - O rótulo tipo I, dado pela norma NBR ISO 14024, estabelece requisitos para auditoria de terceira parte, ou seja, efetuada por um órgão independente, com base em critérios ambientais e características funcionais relevantes e nas fases do ciclo de vida do produto. Também estabelece os procedimentos de certificação para a concessão do rótulo.
 - O rótulo tipo II, dado pela norma NBR ISO 14021, refere-se a autodeclarações ambientais, efetuadas sem certificação independente ou certificada por produtores, comerciantes, distribuidores e outros que se beneficiem do reconhecimento. A autodeclaração é uma afirmação de qualidade ambiental do produto ou serviço, com um texto ou símbolo informando o aspecto ambiental contemplado.
 - O rótulo tipo III é especificado pela norma ISO 14025 (ainda não traduzida pela ABNT) e traz informações a respeito de dados ambientais de produtos, com base em sua análise de ciclo de vida. São rótulos concedidos e licenciados por entidades de terceira parte. Lemos e Barros (2006) apontam que sua concepção se baseia nos atributos dos produtos que devem ser comunicados aos consumidores, de modo que estes possam compará-los com outros similares. O rótulo tipo III certifica somente produtos que necessitem de melhoria ambiental e que tenham realizado ganho ambiental em relação aos demais produtos de sua categoria.
5. GHG Protocol: é a ferramenta mais utilizada no mundo por governos e líderes de mercado para entender, quantificar e gerir as emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE. No Brasil, a organização reúne 60 grandes empresas e, até junho de 2010, havia publicado oficialmente 23 inventários de emissão de GEE. A metodologia do GHG Protocol é compatível com as normas ISO e as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, com o trabalho promovido pelo Programa Brasileiro. As informações geradas podem ser aplicadas aos relatórios e questionários de iniciativas como Carbon Disclosure Project, ISE e GRI. A norma aplicada para validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa, no

escopo do Programa Brasileiro GHG Protocol, é a ABNT NBR ISO 14.064-3:2007. Gases de Efeito Estufa – Parte 3: Especificações e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa. Os demais conceitos relacionados às normas ISO para a verificação de inventários de GEE constam em um anexo no final deste capítulo. Durante o evento de avaliação dos dois anos do Programa Brasileiro GHG Protocol foi lançada a plataforma on-line de Registro Público de Emissões de GEE. O programa brasileiro lançou a plataforma para elaboração e divulgação dos inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa – GEE – das empresas participantes de forma transparente, rápida e simples, sendo o primeiro deste tipo no país. A iniciativa significa um primeiro passo na preparação das companhias para os futuros marcos regulatórios que orientarão as ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. A divulgação das emissões setoriais também evidenciará as empresas entre os consumidores, cada vez mais atentos à responsabilidade socioambiental corporativa (Programa Brasileiro GHG Protocol, 2013).

6. Responsabilidade social: para o Instituto Ethos (2012), adotar uma gestão socialmente responsável implica, necessariamente, atuar buscando trazer benefícios para a sociedade, propiciar a realização profissional dos empregados e promover benefícios para os parceiros e para o meio ambiente, sem deixar de lado o retorno para os investidores. No início dos anos 1990 a iniciativa privada teve o seu papel social questionado. Não bastava a geração de empregos e a produção de bens e serviços, era necessário que as empresas assumissem um papel mais amplo na sociedade. Neste momento surge o conceito de Responsabilidade Social Corporativa (RSC), que passa a ser conhecido como Responsabilidade Social Empresarial. Diferente de ações filantrópicas pontuais, o conceito visa à devolução dos benefícios para as comunidades onde as empresas estão instaladas e de onde recebem trabalhadores e recursos, como uma forma de agregar valor às suas atividades e fortalecer sua imagem. Na atualidade, a estratégia da responsabilidade social vem se tornando uma forma de gestão empresarial capaz de gerar um diferencial competitivo para os negócios. Para demonstrar aos seus clientes seu comprometimento com a responsabilidade social, algumas empresas têm procurado certificação de terceira parte nesta área. Duas normas que tratam de aspectos setoriais da responsabilidade social, a SA 8.000 e a OHSAS 18.001, têm sido as mais usadas até agora. A ABNT publicou em 2004 uma norma brasileira que cobre todos os aspectos da Responsabilidade Social, a NBR 16001 e a ISO elaborou uma norma internacional sobre a responsabilidade social, a ISO 26.000:2010, que não será usada para fins de certificação. A ISO 26000, Guia sobre Responsabilidade Social, promove o cumprimento de princípios universais aprovados nas convenções e declarações das Nações Unidas, inclui os princípios do Pacto Global, da Declaração Universal dos Direitos Humanos, das declarações da Organização Internacional do Trabalho sobre os princípios e direitos fundamentais no trabalho, da Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e da Convenção das Nações Unidas Contra a Corrupção.
7. Licenciamento ambiental: embora seja uma ferramenta compulsória, exigida por lei para todas as atividades potencialmente poluidoras, caso da extração, beneficiamento e acabamento, não deixa de ser uma ferramenta de desenvolvimento sustentável, pois visa a manutenção e até melhoria da qualidade dos recursos ambientais onde um determinado empreendimento se localiza. O licenciamento ambiental para o setor de rochas ornamentais é tratado com maior detalhamento no capítulo 5. Historicamente, a produção de rochas ornamentais

desenvolveu-se fora do arcabouço legal (tanto ambiental como minerário), situação essa, que com muito esforço de conscientização, a ajuda da tecnologia (Sistemas de Informação Geográfica – SIG e imagens de satélites) e fiscalização, está sendo sanada.

Certificação LEED e outros requisitos para construções sustentáveis (green building)

O documento síntese do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUMA, 2011) intitulado, “Economia Verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação de pobreza”, reforça o papel chave da construção civil como parte do esforço de conceber cidades verdes, ou seja, cidades nas quais a alta densidade populacional, habitacional, de emprego, comércio e locais de lazer, não serão impeditivos para transportes públicos eficientes, maior produtividade de trabalho e economia de custos relacionados à infraestrutura urbana, por meio de sinergias e capacidades potenciais que permitam integrar abordagens sustentáveis aos processos de planejamento urbano.

No referido estudo do PNUMA, o setor da construção civil é o que mais contribui para as emissões globais de gases de efeito estufa (8,6 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente⁴), uma vez que um terço do total da energia mundial é consumido em construções. Também é o responsável por mais de um terço do consumo mundial de recursos, incluindo 12% de toda a água doce, ainda contribuindo de maneira significativa para a geração de resíduos sólidos (estimados em 40%).

A construção de novos edifícios verdes, bem como o reequipamento dos edifícios já existentes pode representar uma significativa economia de energia para as cidades do futuro, também pode resultar na economia de um terço de energia nos setores de construção civil no mundo inteiro, em comparação com as projeções para as construções realizadas da maneira tradicional (IPCC, 2007). Mas significará uma nova articulação dos atores que respondem pela cadeia produtiva da construção civil, especialmente os fornecedores de matéria-prima.

Isto porque os edifícios verdes e o setor da construção civil como um todo exigirão mais de seus fornecedores garantias de que o seu produto, durante o seu ciclo de vida:

- Contribua menos para o aquecimento global;
- produza menos impacto ambiental;
- apresente responsabilidade social; e
- utilize menos água e menos transporte.

As certificações ambientais de edifícios consistem em sistemas de certificação nos quais geralmente é avaliado o grau de sustentabilidade de um projeto ou edifício, de acordo com o atendimento às legislações vigentes e a determinados critérios de desempenho estabelecidos pelas organizações. Atualmente o Brasil possui sistemas nacionais de certificação como: o Processo AQUA – Alta Qualidade Ambiental; o selo PROCEL EDIFICA introduzido pela Eletrobrás; o selo Casa Azul de Construção Sustentável, lançado pela Caixa Econômica Federal e o sistema norte-americano *Leadership in Energy and Environmental Design*, LEED, lançado em 1996 pela entidade não governamental *United States Green Building Council* – USGBC.

⁴ É uma medida métrica utilizada para comparar as emissões de vários Gases de Efeito Estufa (GEE) com base no potencial de aquecimento global de cada um. O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de GEE pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Então, dizemos que o CO₂ equivalente do metano é igual a 21.

Com uma interface simples, o LEED baseia-se em especificações de desempenho e toma, como referência, normas, recomendações e requisitos técnicos da ISO e de outros organismos regionais como o *International technical society organized to advance the arts and sciences of heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration* – ASHRAE, a *American Society for Testing and Materials* – ASTM, US Environmental Protection Agency – EPA e o *U.S. Department of Energy* – DOE (GBCBrasil, 2013).

A avaliação consiste na análise da eficiência ambiental potencial do edifício, por meio do atendimento a itens obrigatórios e classificatórios. O método de pontuação está dividido em categorias, com pré-requisitos e créditos para a construção sustentável. Essas categorias são:

- (SS) Espaço Sustentável
- (MR) Materiais e Recursos
- (RP) Prioridades Regionais
- (WE) Uso Racional da Água
- (IEQ) Qualidade Ambiental Interna
- (EA) Energia e Atmosfera
- (ID) Inovação e Processos de Design

O objetivo do selo é orientar os projetistas, construtores e investidores nas decisões sobre a implantação do empreendimento, uso da água e energia, materiais e ambiente interno, quando se há a preocupação com o uso racional e eficiente dos recursos naturais no momento da construção ou reforma (caso de prédios já em operação) de um edifício.

A certificação varia com o tipo de empreendimento e suas finalidades. Por exemplo, para a certificação de novas construções utiliza-se o LEED®NC – *New Construction*. A atual versão LEED® NC distribui o total de créditos em sete áreas de atuação: espaço sustentável; eficiência do uso da água; energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade ambiental interna; inovação no design e prioridade regional.

O sistema apresenta parâmetros específicos para contemplar diferentes edificações além das construções comerciais, com requisitos para outros cinco tipos de edificação: LEED MB, para múltiplas edificações em um mesmo sítio, tais como condomínios corporativos, campi e instalações governamentais; LEED EB, para maximização da operação e da manutenção de edifícios existentes; LEED H, para projeto e construção de edifícios residenciais; LEED ND, para desenvolvimento de loteamentos, urbanismo e equipamentos comunitários; e LEED LS, para projetos escolares.

Uma das dificuldades de aplicação da ferramenta LEED™ no Brasil é o fato do sistema de avaliação considerar as práticas construtivas, de projeto e aspectos climáticos dos Estados Unidos, que são diferenciados aos do Brasil. Mas os criadores e os defensores do LEED argumentam que se trata de uma ferramenta de certificação internacional que estimula posturas globais e sustentáveis em edificações. Que esta certificação apresenta grande potencial para disseminar conceitos e boas práticas, alto potencial de influenciar o mercado internacional, valorizar o processo de projeto e ainda tem efeito educativo e de disseminação de ideias e valores de desempenho ambiental sobre os agentes da cadeia da indústria da construção, incluindo os clientes e usuários finais.

Além disso, o sistema LEED foi desenvolvido para impulsionar uma transformação na indústria da construção civil ao definir uma métrica para a construção sustentável. Que o sistema LEED tem mantido e continua a manter a discussão da construção sustentável viva e provoca uma transformação de mercado a favor das questões ambientais.

No que diz respeito ao uso de materiais, a eficiente gestão do desperdício na escolha dos materiais a serem utilizados é considerado todo seu ciclo de vida. Assim, os materiais regionais têm prioridade, desde que sejam ambiental e socialmente sustentáveis.

Para fins de certificação de uma edificação, geralmente são exigidas Declarações Ambientais dos materiais utilizados na construção sustentável. As declarações ambientais podem ser formalizadas por meio dos rótulos ambientais (tipos I, II e III, dependendo do escopo pretendido). Geralmente as declarações devem conter a composição básica do produto final e, no que diz respeito a matérias-primas, se o material foi produzido com conteúdo reciclado e a especificação, em massa, desse conteúdo incorporado ao produto no pré e no pós-consumo; o local de extração das matérias-primas da natureza e, principalmente, a distância até o empreendimento. Assim, além da certificação do produto, para atestar se este segue requisitos sustentáveis, também é fundamental hoje declarar a origem do mesmo. Como exemplo, a certificação LEED pontua positivamente as obras que utilizam produtos explorados ou fabricados em um raio de até 500 milhas (cerca de 800 km).

Diversos trabalhos acadêmicos apontam a eficiência térmica da rocha ornamental na construção de fachadas, contudo, a dificuldade de rastreabilidade do processo de extração ao beneficiamento, somado a falta de declarações ambientais, têm levado às edificações sustentáveis a adotarem outros materiais, como aço e vidro.

Indicação geográfica ou denominação de origem

O registro de indicações geográficas foi estabelecido pela Lei 9279/96 – LPI/96, e leva em consideração a Indicação Geográfica, a Indicação de Procedência e a Denominação de Origem segundo a cartilha eletrônica do Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI (2012), a Indicação Geográfica delimita uma área de produção, restringindo seu uso aos produtores da região (em geral, reunidos em entidades representativas), desde que a qualidade e/ou tradição de determinado produto ou serviço possam ter a sua origem atribuída. Em tese, a Indicação Geográfica impede que outras pessoas utilizem o nome da região em produtos ou serviços indevidamente, e vem apresentando cada vez mais interesse nacional por não possuir prazo de validade.

A Indicação de Procedência refere-se ao nome do local que se tornou conhecido por produzir, extrair ou fabricar determinado produto ou prestar determinado serviço. A Denominação de Origem refere-se ao nome do local que passou a designar produtos ou serviços, cujas qualidades ou características podem ser atribuídas a sua origem geográfica. No Brasil, competência para estabelecer as condições de registro das indicações geográficas é do INPI e os requisitos estão estabelecidos na Resolução INPI de 2000.

As rochas ornamentais já possuíam duas indicações geográficas registradas:

1. Denominação de Origem Controlada – DOC para as pedras Carijó, Madeira e Cinza, três rochas ornamentais extraídas no Noroeste fluminense, na região de Santo Antônio de Pádua. Esta indicação foi a primeira, deste tipo DOC, obtida pelo Estado do Rio de Janeiro e a primeira concedida a um produto mineral pelo INPI. Com este selo, as rochas passam a ter suas próprias marcas de procedência e, com essa garantia comprovada, o valor do produto agregado pode aumentar até 70%. A conceituação foi resultado do trabalho conjunto do Departamento de Recursos Minerais – DRM, vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado, com o Sebrae-RJ, o Sindicato de Extração e Aparelhamento de Gnaisses no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro – Sindgnaisses – e a Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro.
2. Indicação de Procedência – IP para os Mármore de Cachoeiro de Itapemirim. Também a primeira do país deste tipo, resultado do trabalho, principalmente, do Cetemag.

3. Bibliografia e referências

BM&FBOVESPA – Bolsa de Valores de São Paulo e de Mercadorias & Futuros. Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). Disponível em: <www.bmfbovespa.com.br/indices>. Acesso em: outubro de 2012.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

CASTRO, N. F. Planejamento e ordenamento das atividades de mineração de calcários no Arranjo Produtivo Local do Cariri – CE. Orientadores: Edson Farias Mello e Francisco Wilson Hollanda Vidal. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ IGEO/ Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2009- Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2009. xvi, 158f.:il; 31 cm.

CHIODI FILHO, C. As ardósias Bambuí na marcação CE. Informe 04/11 da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. São Paulo: ABIROCHAS; 2011. 19p.

Constituição da República Federativa do Brasil, art. 225, § 2º. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>

Dow Jones Index. Dow Jones Sustainability World Index. Disponível em: <www.sustainability-indexes.com>. Acesso em 04/04/2013.

ESCOVAR, Carolina, *et al.* Eficiência Energética. Trabalho final de disciplina. Universidade Federal de Santa Catarina Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <www.arq.ufsc.br/...2/eficiencia_energetica/eficiencia_energetica.pdf>. Acesso em: 22/01/2012.

FALÉ, P.; HENRIQUES, P.; MIDÕES, C.; CARVALHO, J. O reordenamento da actividade extractiva como instrumento para o planeamento regional: Vila Viçosa, Portugal. In: Boletín Geológico y Minero, 117 (2): Madrid,: 2006. p. 277-288 - ISSN: 0366-0176

Global Footprint Network. Footprint Basics. Disponível em: <www.footprintnetwork.org>. Acesso em: 04/04/2013.

GBCBrasil – Green Building Council Brasil. Certificação LEED. Disponível em: <www.gbcbrazil.org.br>. Acesso em: 04/04/2013.

GRI – Global Reporting Initiative. Sustainability Reporting Guidelines & Mining and Metals Sector Supplement. 2011. 183p. Disponível em <https://www.globalreporting.org/resource/library/MMSS-Complete.pdf>. Acesso em: 02/04/2013.

ICMM – Internacional Council on Mining and Metals – Our work: sustainable development framework. Disponível em <http://www.icmm.com/our-work/sustainable-development-framework>. Acesso em: 28/01/2013.

Instituto ETHOS. Valores, Transparência e Governança. Disponível em: <www3.ethos.org.br/conteudo/gestao-socialmente-responsavel/valores-transparencia-e-governanca/#.UPIlNK6AObp>. Acesso em: outubro de 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. Guia Básico - Indicação Geográfica. Acesso em: <www.inpi.gov.br/portal/artigo/guia_basico_indicacao_geografica>. Acesso em 27 de novembro de 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC, 2007, 59p.

International Organization for Standardization. Environmental management: The ISO 14000 family of International Standards. ISO, 2009. Disponível em: <www.iso.org>.

LEMOS, H.M. As normas ISO 14000. Material didático. Curso de Pós Graduação em Gestão Ambiental, UFRJ, 2012.

LEMOS, H.M. e BARROS, R.L.P. Ciclo de Vida dos Produtos, Certificação e Rotulagem Ambiental nas pequenas e médias empresas. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro das Nações Unidas para o Meio ambiente, 2006.

Lei nº 6.938/1981. Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, art. 3º, V. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>

Lei no 7.805/1989. Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, art. 16. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7805.htm

OLIVEIRA, J.M; CHAVES. F.V; DIAS. G. F; BITTENCOURT, J. A: Aplicação da norma ISO 14000 em mineração de pedra ardósia no município de Papagaio, Minas Gerais, Brasil. VI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 21 de outubro de 2009. Associação Educacional Dom Bosco. Resende – RJ, 2009. Disp.: http://www.aedb.br/seget/artigos09/277_APLICACAO_DA_NORMA_ISO_14000_EM_MINERACAO_SEGET_2009.pdf. Acesso em: 03/04 – 2013.

PORTUGAL. Presidência do Conselho de Ministros . Centro Jurídico. Zona de Exploração dos Mármore e Ordenamento do Território. In: Declaração de Rectificação n.º 30-A/2010. Diário da República, 1.ª série – N.º 192 – 1 de Outubro de 2010. (62) 4372p.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA. APELL for Mining: Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level (Technical Report 41 – ISBN: 92-807-2035), First edition 2001. Disponível em: <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/WEBx0055xPA-APELLminingEN.pdf>>. Acesso em: 12/12/2013.

_____. PNUMA. TransAPELL Guidance for Dangerous Goods Transport Emergency Planning in a Local Community (ISBN 92-807-1907-6), First edition 2000. Disponível em: <<http://www.transapell.net/transesp/espindex.html>>. Acesso em: 12/12/2013.

_____. PNUMA, 2011, Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza – Síntese para Tomadores de Decisão. Disponível em: <www.unep.org/greeneconomy>. Acesso em: 04/04/2013.

Programa Brasileiro GHG Protocol. Metodologia. Disponível em: <www.ghgprotocolbrasil.com.br>. Acesso em: 04/04/2013.

_____. O Registro Público de Emissões de GEE. Disponível em: <www.registropublicodeemissoes.com.br>. Acesso em: 04/04/2013.

Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Estado do Espírito Santo –SEBRAE/ES. Diagnóstico da situação da Gestão Ambiental nas Indústrias do setor de Mármore & Granitos. Cachoeiro de Itapemirim/ES, dezembro de 2004. Disponível em: <www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/.../ATTPN2GL.pdf>. Acesso em: outubro de 2012.

VILLAS-BÔAS, R. C. Some (necessary) formalization on sustainable mining and indicators of sustainability for the minerals extraction industries. In: Centre for Energy, Petroleum, and Mineral Law

Policy, CEPMLP Online - Research Network. Volume 16. Article 12. Adicionado em 9 de dezembro de 2005. Disponível em: http://www.dundee.ac.uk/cepmlp/journal/html/Vol16/article16_12.php. Acesso em: 25 set. 2012.

VILLAS BÔAS, H. C. A indústria extrativa mineral e a transição para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / 2011. 108p.: il. ISBN 978-85-61121-76-1. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/livros/industria-extrativa-transicao-sustentavel.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

VILLAS BÔAS, R. C. Indicadores de sustentabilidade para a indústria extrativa mineral: estudos de casos. Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / 2011. 56p.: il. ISBN 978-85-61121-75-4. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/livros/indicadores-studos-casos-rev08.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

WTO - World Trade Organization. The Legal Texts: The Results of the Uruguay Round of Multilateral Trade Negotiations. London: Cambridge University Press, 3rd edition, 2003.

ANEXO

Normas da família ISO 14000 distribuídas segundo sua função no ciclo PDCA

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
Implementação de sistema de gestão ambiental	Condução de análises de ciclo de vida e gestão de aspectos ambientais	Condução de auditorias e avaliação do desempenho ambiental	Comunicação e utilização de declarações ambientais e reivindicações
<p>NBR ISO 14050:2009</p> <p>Gestão Ambiental – Vocabulário</p> <p>Define os termos de conceitos fundamentais relacionados à gestão ambiental, publicados na série de normas ISO 14000.</p>	<p>NBR ISO 14040:2009</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura</p> <p>Descreve os princípios e a estrutura de uma avaliação de ciclo de vida (ACV).</p>	<p>NBR ISO 14015:2003</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação ambiental de locais e organizações (AALO)</p> <p>Fornecer orientação de como conduzir uma avaliação ambiental locais e organizações (AALO) por meio de um processo sistemático de identificação de aspectos e questões ambientais, e como determinar, se apropriado, suas consequências nos negócios.</p>	<p>NBR ISO 14020:2000</p> <p>Rótulos e declarações ambientais – Princípios Gerais</p> <p>Estabelece princípios orientadores para o desenvolvimento e uso de rótulos e declarações ambientais.</p>

<p>PLANEJAR <i>Plan</i></p>	<p>EXECUTAR <i>Do</i></p>	<p>VERIFICAR <i>Check</i></p>	<p>FAZER <i>Act</i></p>
<p>NBR ISO 14001:2004</p> <p>Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso</p> <p>Especifica os requisitos relativos a um sistema de gestão ambiental, permitindo a uma organização desenvolver e implementar uma política e objetivos que levem em conta os requisitos legais e outros requisitos por ela subscritos e informações referentes aos aspectos ambientais significativos (aqueles que a organização possa controlar e/ou influenciar). Em si, esta Norma não estabelece critérios específicos de desempenho ambiental.</p>	<p>NBR ISO 14044:2009</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações</p> <p>Especifica os requisitos e provê orientações para a avaliação do ciclo de vida (ACV).</p>	<p>NBR ISO 14031:2004</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes</p> <p>Fornece orientação para o projeto e uso da avaliação do desempenho ambiental em uma organização. Ela é aplicável a todas as organizações, independentemente do tipo, tamanho, localização e complexidade.</p>	<p>NBR ISO 14021:2004</p> <p>Rótulos e declarações ambientais – Autodeclarações ambientais (Rotulagem do tipo II)</p> <p>Especifica os requisitos para autodeclarações ambientais, incluindo textos, símbolos e gráficos, no que se refere aos produtos. Descreve ainda termos selecionados usados comumente em declarações ambientais e fornece qualificações para seu uso. Também descreve uma metodologia de avaliação e verificação geral para autodeclarações ambientais e métodos específicos de avaliação e verificação para as declarações selecionadas nesta Norma.</p>

<p>PLANEJAR <i>Plan</i></p>	<p>EXECUTAR <i>Do</i></p>	<p>VERIFICAR <i>Check</i></p>	<p>FAZER <i>Act</i></p>
<p>NBR ISO 14004:2005</p> <p>Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio</p> <p>Provê orientação para o estabelecimento, implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão ambiental e sua coordenação com outros sistemas de gestão.</p>	<p>ISO/TR 14047:2012</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Exemplos ilustrativos de aplicação da ISO 14044</p> <p>Provê exemplos para ilustrar as práticas correntes de avaliação de impacto de ciclo de vida em acordo com a ISO 14044:2006.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>	<p>NBR ISO 19011:2012</p> <p>Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão</p> <p>Fornecer orientação sobre auditoria de sistemas de gestão, incluindo os princípios de auditoria, a gestão de um programa de auditoria e a realização de auditorias de sistema de gestão, como também orientação sobre a avaliação da competência de pessoas envolvidas no processo de auditoria, incluindo a pessoa que gerencia o programa de auditoria, os auditores e a equipe de auditoria.</p>	<p>NBR ISO 14024:2004</p> <p>Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem ambiental do tipo I – Princípios e procedimentos</p> <p>Estabelece os princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas de rotulagem ambiental do tipo I, incluindo a seleção de categorias de produtos, critérios ambientais dos produtos e características funcionais dos produtos, para avaliar e demonstrar sua conformidade.</p> <p>Também estabelece os procedimentos de certificação para a concessão do rótulo.</p>

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
Implementação de sistema de gestão ambiental	Condução de análises de ciclo de vida e gestão de aspectos ambientais	Condução de auditorias e avaliação do desempenho ambiental	Comunicação e utilização de declarações ambientais e reivindicações
<p>NBR ISO 14005:2012</p> <p>Sistemas de gestão ambiental — Diretrizes para a implementação em fases de um sistema de gestão ambiental, incluindo o uso de avaliação de desempenho ambiental</p> <p>Fornece orientação para todas as organizações, mas particularmente para pequenas e médias empresas (PME), no desenvolvimento, implementação, manutenção e melhoria em fases de um sistema de gestão ambiental. Inclui também conselhos sobre integração e o uso de técnicas da avaliação de desempenho ambiental.</p>	<p>ISO/TS 14048:2002</p> <p>Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – formatação de dados para documentação</p> <p>Provê os requisitos e a estrutura para formatação de dados de documentação, a serem usados para concepção de documentação transparente, consistente e não ambígua além de trocas de dados de ACV e ICV.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>		<p>ISO 14025:2006</p> <p>Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem ambiental do tipo III – Princípios e procedimentos</p> <p>Estabelece os princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas e declarações de rotulagem ambiental do tipo III.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
			<p>ISO/TS 14033:2012</p> <p>Gestão Ambiental – Informação ambiental quantitativa – Guias e exemplos</p> <p>Apoia a aplicação de normas e informes sobre gestão ambiental, fornecendo guias sobre como adquirir informação ambiental quantitativa e dados, além de implementar metodologias.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
<p>Inserir aspectos ambientais em produtos e em normas de produtos</p>		<p>Avaliação de desempenho de gases de efeito estufa</p>	
<p>ABNT ISO GUIA 64:2010</p> <p>Guia para consideração de questões ambientais em normas de produtos</p> <p>Fornecer orientação sobre como considerar questões ambientais em normas de produtos.</p>	<p>ISO/TR 14049:2012</p> <p>Gestão Ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de aplicação da ISO 14041 para definição de metas e objetivos e análises de inventário.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>	<p>NBR ISO 14064-3:2006</p> <p>Gases de efeito estufa – Parte 3: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa</p> <p>Esta parte especifica princípios e requisitos, fornece orientação para aqueles que estão conduzindo ou administrando a validação e/ou verificação de declarações de gases de efeito estufa (GEE). Ela pode ser aplicada na quantificação organizacional ou de projeto de GEE, incluindo quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios de GEE realizados de acordo com a NBR ISO 14064-1 ou a 14064-2.</p>	<p>NBR ISO 14063:2009</p> <p>Gestão ambiental – Comunicação ambiental – Diretrizes e exemplos</p> <p>Fornecer a uma organização as diretrizes sobre princípios gerais, política, estratégia e atividades relacionadas com a comunicação ambiental, tanto interna quanto externa. Usa abordagens comprovadas e reconhecidas para a comunicação, adaptadas às condições específicas existentes na comunicação ambiental. Ela se aplica a todas as organizações que, independentemente de seu porte, tipo, localização, estrutura, atividades, produtos e serviços, tenham ou não um sistema de gestão ambiental implementado.</p>

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
<p>Inserir aspectos ambientais em produtos e em normas de produtos</p> <p>ISO 14006/2011</p> <p>Environmental management systems – Guidelines on ecodesign</p> <p>Provê guias para auxiliar a organização a estabelecer, documentar, implementar, manter e melhorar continuamente sua gestão de ecodesign como parte de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Entende-se que a adoção da norma ocorra em organizações que possuam um SGA em acordo com a ISO 14001, mas ela pode auxiliar a integrar o ecodesign em outros sistemas de gestão. A norma não estabelece sozinho critérios de desempenho ambiental específicos e não se aplica em questões de certificação.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>	<p>ISO 14051:2011</p> <p>Gestão ambiental – MFCA – Quadro geral</p> <p>Provê um quadro geral para Material Flow Cost Accounting (MFCA). Sob o MFCA, o fluxo de materiais e de estoques da organização é rastreado e quantificado em unidades físicas (massa, volume). Também são avaliados os custos associados aos materiais. A informação resultante pode motivar a organização e seus gestores a buscar oportunidades para simultaneamente gerar benefícios financeiros e reduzir impactos ambientais adversos. A norma não se aplica ao propósito de certificação de 3ª parte.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>	<p>Avaliação de desempenho de gases de efeito estufa</p> <p>NBR ISO 14065:2012</p> <p>Gases do efeito estufa — Requisitos para organismos de validação e verificação de gases de efeito estufa para uso em acreditação e outras formas de reconhecimento</p> <p>Especifica princípios e requisitos para organismos que realizam validações ou verificações de declarações de gases do efeito estufa (GEE).</p>	

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
	<p>ISO 14045:2012</p> <p>Gestão Ambiental – ecoeficiência para avaliação de sistemas de produção – Princípios, exigências e diretrizes</p> <p>Descreve as principais exigências e diretrizes para a avaliação de sistemas de produção segundo os critérios de ecoeficiência:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Objetivo e definição do escopo da avaliação; 2. Avaliação ambiental; 3. Avaliação do produto-sistema-valor; 4. Quantificação da eco-eficiência; 5. Interpretação (incluindo garantia da qualidade); 6. Relatórios; 7. Revisão crítica da avaliação de ecoeficiência. <p>Não estão incluídas exigências, recomendações e diretrizes para escolhas específicas de categorias de impacto ambiental e valores.</p> <p>[Não traduzida pela ABNT]</p>		

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
<p>NBR ISO 14062:2004</p> <p>Gestão ambiental - Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto.</p> <p>Este Relatório Técnico descreve conceitos e práticas usuais correntes relativas ao projeto do produto e seu desenvolvimento, no qual "produto" é entendido como bens e serviços.</p>	<p>Gestão de Gases de Efeito Estufa – GEE</p> <p>NBR ISO 14064-1:2007</p> <p>Gases de efeito estufa – Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa</p> <p>Esta parte especifica princípios e requisitos no âmbito da organização para a quantificação e para a elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE). Inclui determinações para o projeto, o desenvolvimento, o gerenciamento, a elaboração de relatórios e a verificação de um inventário de GEE da organização.</p>	<p>NBR ISO 14066:2012</p> <p>Gases de efeito estufa — Requisitos de competência para equipes de validação e equipes de verificação</p> <p>Especifica os requisitos de competência para as equipes de validação e equipes de verificação. Complementa a implementação da NBR ISO 14065.</p>	

PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
	<p>NBR ISO 14064-2:2007</p> <p>Gases de efeito estufa – Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa</p> <p>Esta parte especifica princípios e requisitos, e oferece orientação para a elaboração de projetos para quantificação, monitoramento e relato de atividades de redução de emissões ou melhoria da remoção de gases de efeito estufa. Inclui requisitos para o planejamento de um projeto de gases de efeito estufa, identificando e selecionando fontes, sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa relevantes para o projeto e o cenário de referência (linha de base), monitorando, qualificando, documentando e relatando o desempenho de projetos de GEE e administrando a qualidade dos dados.</p>		

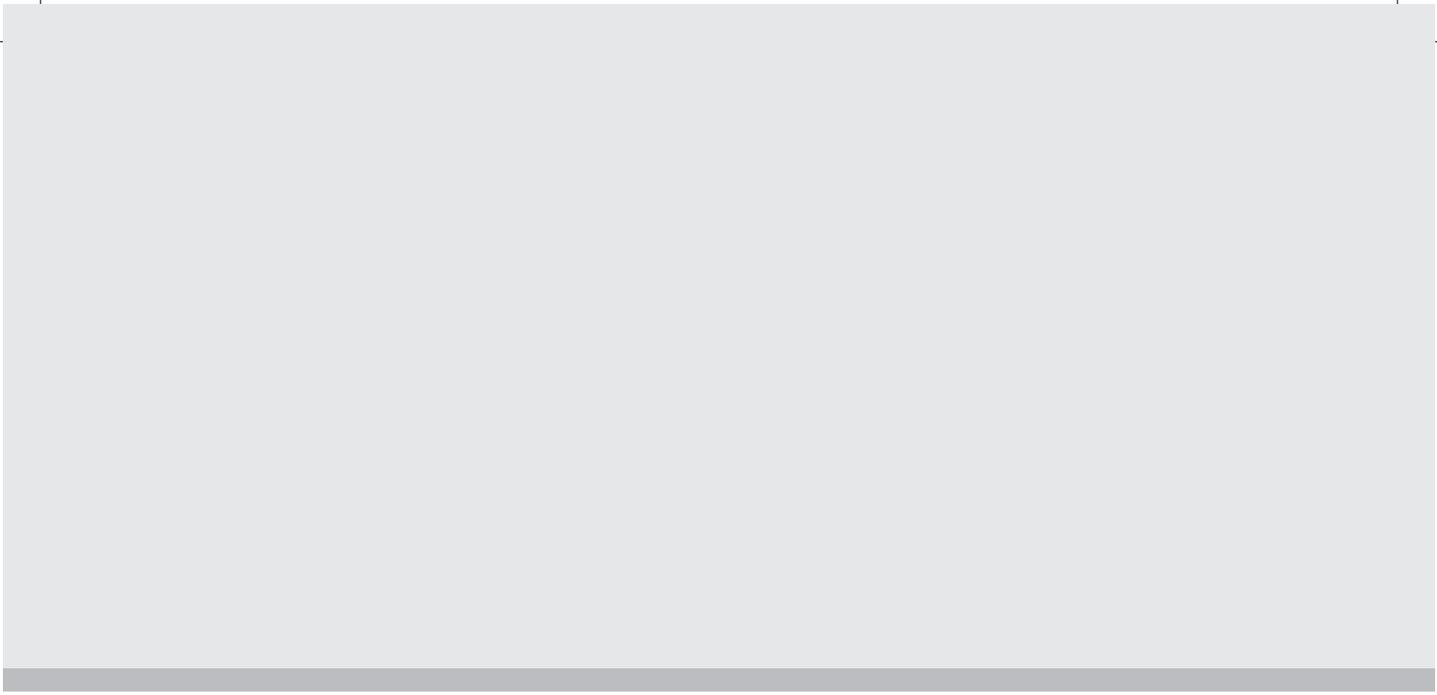
PLANEJAR <i>Plan</i>	EXECUTAR <i>Do</i>	VERIFICAR <i>Check</i>	FAZER <i>Act</i>
	<p>ISO/WD 14067-1* Pegada de carbono de produtos – Parte 1: Quantificação [Não traduzida pela ABNT]</p> <p>ISO/WD 14067-2 Carbon* Pegada de produtos – Parte 2: Comunicação [Não traduzida pela ABNT]</p>		
	<p>ISO/AWI 14069* GHG – Quantificação e relatório de emissões GHG para organizações (Pegada de carbon de uma organização) – Guia para a aplicação da ISO 14064-1 [Não traduzida pela ABNT]</p>		

* Documentos de trabalho do Comitê 207 da ISO ainda não finalizados.

Fonte: Adaptado do documento "A família 14000 da ISO":

Nota 1: Como todos os sistemas de gestão da ISO, O SGA tem como base o ciclo de gestão PDCA. O ciclo PDCA, ou ciclo de Deming, tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, como por exemplo na gestão da qualidade, dividindo-a em quatro principais passos: Planejar (*Plan*), executar (*Do*), Verificar (*Check*) e Agir (*Act*).

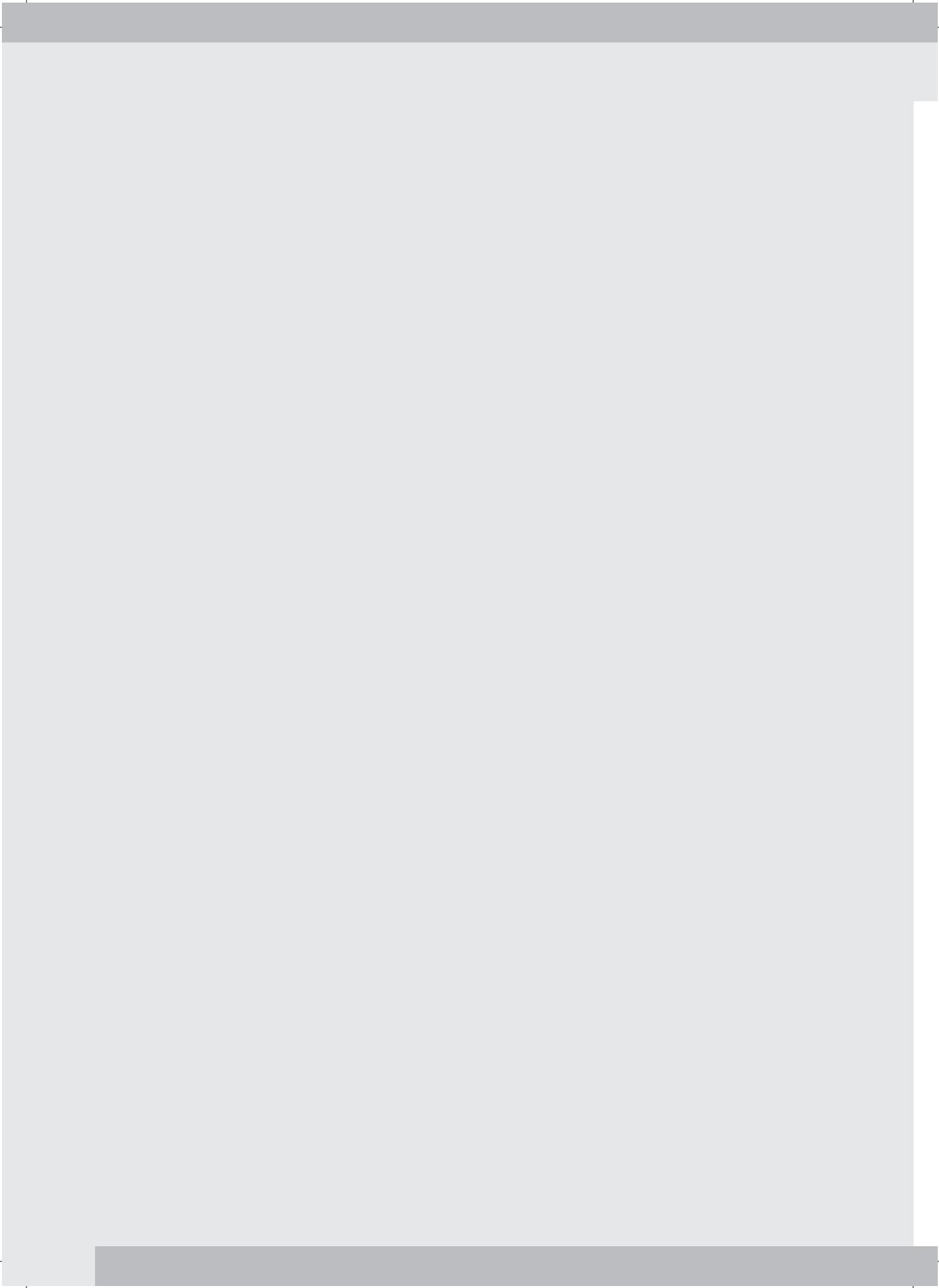
Nota 2: A tabela foi atualizada em 2012 com base no banco de normas brasileiras da ABNT.



Anexo

A classificação das rochas Levantamento de dados e informações técnicas

Ronaldo Simões Lopes de Azambuja †, Geólogo, CETEM/MCTI



CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS

Ronaldo Simões Lopes de Azambuja, Rio de Janeiro, maio de 2003

A principal finalidade deste texto é, por um lado, explicar os mecanismos de formação dos diferentes grupos de rochas, e por outro, apresentar de forma simplificada as classificações e características mais importantes dos diferentes tipos de rocha que constituem a crosta terrestre, que após sua extração e beneficiamento estarão prontas para serem comercializadas e utilizadas como rochas ornamentais.

O conjunto dos diferentes tipos de rochas pode ser geneticamente classificados em três grupos: ígneas, metamórficas e sedimentares.

Rochas ígneas

As rochas ígneas, geradas por consolidação de magmas, classificam-se em função do seu ambiente de formação, podendo consolidar-se no interior da crosta e zonas profundas, as rochas plutônicas, ou na superfície terrestre e/ou zonas próximas, que são as rochas vulcânicas.

Para entender a origem dos magmas, é necessário conhecer a estrutura interna da Terra. Com exceção do núcleo, que se encontra semifundido, a crosta terrestre assim como o manto está essencialmente em estado sólido.

A excessiva profundidade que se encontra a parte externa do núcleo (2.500-5.200 km) torna impossível que esses materiais semifundidos cheguem à superfície terrestre. Portanto, é necessário uma série de fenômenos que levem à fusão, tanto os materiais da crosta como do manto, produzindo-se, assim, magmas, a partir dos quais originaram-se as rochas ígneas.

Fundamentalmente, são três os processos envolvidos:

- Variação no gradiente geotérmico – Em zonas profundas da crosta terrestre, a temperatura deve variar entre 600-800°C, sendo que a maior parte das rochas fundem-se em temperaturas superiores a 1000°C. Os processos mais comuns que elevam a temperatura até estes valores são a indução de massas quentes e fenômenos de movimentação crustais. Neste caso, durante a orogenia ocorre uma transformação da energia mecânica em calor, provocando um efetivo aumento de temperatura na zona, permitindo alcançar o ponto de fusão dos materiais.
- Ascensão de materiais para zonas mais superficiais sem perda de energia – A diferença de pressão produzida durante a ascensão pode chegar a fundir a rocha, se não existirem variações significativas de temperatura.
- Hidratação do sistema e aumento de quantidade de voláteis – A pressão e a presença de água e voláteis podem baixar o ponto de fusão da rocha. Em zonas da crosta oceânica, ocorre o metamorfismo dos minerais hidratados, provocando a liberação de água e voláteis, podendo fundir zonas do manto e da crosta.

Características físico-químicas dos magmas

Do ponto de vista físico-químico, um magma pode ser considerado como um sistema composto, constituído por uma fase líquida, uma fase pastosa e em certo número de fases sólidas, como cristais em suspensão de piroxênio, olivina, plagioclásio etc. Em certas ocasiões, também

está presente fase composta, principalmente, por gás carbônico, ácido clorídrico, ácido fluorídrico, sulfatos etc.

Geralmente, os magmas evoluem com o tempo, diminuindo sua temperatura, mudando de posição e modificando seu volume, pressão e características químicas.

Classificação de Rochas Ígneas

Classificação Física

- a) Com base no tamanho dos cristais contidos na rocha, ela pode ser:
- Fanerítica – os cristais são reconhecidos a simples vista;
 - afanítica – os cristais não são reconhecidos pelo seu pequeno tamanho; e
 - vítrea – os cristais não visíveis a olho nu.
- b) Com base na coloração (índice de coloração $M = \% \text{ de minerais máficos}$) as rochas ígneas podem ser:
- 0 – 35% Leucocráticas
 - 35 a 65% Mesocráticas
 - 65 a 90% Melanocráticas
 - 90 – 100% Ultramáficas
- c) Com base na textura e estrutura das rochas ígneas, elas podem ser:
- Rochas plutônicas – apresentam textura cristalina;
 - rochas filonianas – apresentam textura porfirítica; e
 - rochas vulcânicas – apresentam textura vítrea.

Classificação Química

- a) Com base na % de sílica (SiO_2), em peso, as rochas podem ser:
- 0 – 45% rocha ultrabásica, de coloração muito escura (ex. peridotito);
 - 45 – 52% rocha básica, de coloração escura (ex. basalto);
 - 52 – 66% rocha intermediária, pouco densa (ex. diorito); e
 - > 66% rocha ácida, de coloração clara e pouco densa (ex. granito).

Classificação Modal

A classificação modal baseia-se nas proporções volumétricas de distintas fases minerais das rochas, podendo a rocha ser plutônica ou vulcânica. Elas poderão ser ricas em quartzo (45-60%), quartzíticas (5-20%) ou isentas de quartzo.

Classificação de Rochas Ígneas (Graníticas)

A denominação comercial de granito inclui quase todas as rochas de aspecto ígneo, mas, como já observado, não possuem na maioria dos casos, relação com as classificações tanto genéticas como químicas das rochas ígneas. As rochas ígneas negras de granulação fina, como diabásio ou basalto são conhecidas comumente como “granito negro”. Os gnaisses, que são rochas metamórficas com textura planar ou linear, são considerados como “granitos”.

Em função da proporção de minerais máficos, podemos dividir os “granitos comerciais” em dois grandes grupos:

- Granitos Claros: englobam espécies de granodioritos, sienitos, granitos no stricto sensu e rochas metamórficas.
- Granitos Escuros: gabros, dioritos, diabásios, pórfiros e inclusive rochas vulcânicas.

Rochas metamórficas (metamorfismo)

Introdução

O termo metamorfismo etimologicamente significa “sucessão de formas”, fazendo referência às numerosas transformações que sofrem as rochas submetidas a uma alteração das condições físico-químicas existentes no momento de sua formação.

Como resultado de alterações de pressão e temperatura ocorridas no seu entorno, minerais que eram estáveis sob as condições iniciais, tornam-se instáveis e desaparecem para dar lugar à formação de outras fases minerais.

Podemos dizer que o metamorfismo caracteriza-se pelo desaparecimento de um mineral ou conjunto de minerais formados em condições superficiais, se a rocha que sofreu o metamorfismo era um sedimento; ou em condições de cristalização de um magma, se a rocha era ígnea ou se já era metamórfica.

A substituição dos minerais originais pelas novas fases metamórficas representa o resultado de diferentes reações químicas, embora as mudanças texturais (aparecimento de lineações, foliações etc.) sejam provenientes de um processo de cristalização-recristalização de minerais, típico das rochas metamórficas. Estas mudanças podem ocorrer de forma conjunta, ou em separado, porém em qualquer caso, serão sempre em função do tipo de metamorfismo sofrido, sua intensidade e o tipo de rocha envolvida no processo.

Tipos de Metamorfismo

Inicialmente podemos distinguir dois tipos de metamorfismo, um de caráter local e outro com extensão muito maior, que afeta regiões de milhares de quilômetros.

Como está controlado pela pressão e temperatura que predominam durante o processo metamórfico, ele poderá ser:

- Dinâmico térmico ou regional – condicionado por pressão e temperatura;
- térmico ou de contato – a temperatura é o fator principal e a pressão é secundária; e
- dinâmico ou de pressão – neste caso a pressão é o fator dominante.

Metamorfismo Local

O metamorfismo local pode ser de diferentes tipos:

- a) Metamorfismo de contato ou térmico – a intrusão de corpos ígneos quentes em rochas já preexistentes provoca um aumento de temperatura na zona de ocorrência do processo. Esta variação de temperatura aumenta ao aproximar-se da superfície de contato, entre o magma e a rocha.

Está criada, então, uma sequência metamórfica progressiva desde a rocha não metamorfizada até a rocha que tenha sofrido o processo mais intensamente, ou seja, encontra-se em contato imediato com a intrusão.

O resultado é o aparecimento de uma aureola de contato, que está sempre presente neste tipo de metamorfismo. Em sendo um processo fundamentalmente térmico, as rochas não

aparecem deformadas por pressões excessivas e as alterações texturais que ocorrem são produto exclusivo da recristalização, não gerando foliações, bandeamento, xistosidade etc.

Eventualmente podem aparecer estruturas planares provocadas pela cristalização de minerais alongados ao lado de estruturas preexistentes, que não devem ser consideradas xistosidade, foliações etc.

- b) Metamorfismo dinâmico ou cataclástico – neste tipo de metamorfismo, a amplitude é, em muitos casos, inferior a do metamorfismo de contato e ocorre em planos de falha ou zonas de cisalhamento, como resultado de uma intensa deformação. As pressões a que as rochas são submetidas são muito maiores que no metamorfismo de contato e as rochas resultantes podem apresentar uma estrutura plano-linear, pela orientação dos minerais, acompanhada por processos de recristalização.

Geralmente, o fraturamento mecânico está acompanhado por recristalização ou crescimento de minerais hidratados, provenientes da movimentação de fluidos na zona de deformação.

- c) Metamorfismo hidrotermal local – este tipo de metamorfismo implica em alterações químicas na rocha (metasomatismo) e é resultado da circulação de soluções quentes através das rochas, em zona de fissuras e/ou fraturas. Este tipo de metamorfismo encontra-se frequentemente associado com intrusões ígneas, sendo responsável pela formação de numerosas jazidas minerais de interesse econômico.

Existe outro tipo de metamorfismo de extensão local, que não guarda relação genética com os outros tipos e é produzido por impactos meteoríticos com a superfície da Terra. É o metamorfismo de impacto, e caracteriza-se por pressões extremamente altas, produzidas pelo impacto, e que atuam sobre as rochas durante unicamente frações de segundos.

Metamorfismo Regional

Este tipo de metamorfismo dá origem a grandes áreas de rochas metamórficas e está ligado às movimentações crustais. Também aparecem junto a falhas e nos limites das placas litosféricas. Neste tipo de metamorfismo, os aumentos das pressões e temperaturas estão condicionados ao aumento que estes parâmetros sofrem em profundidade. Sem dúvida, ocasionalmente, o aparecimento de corpos intrusivos, pode contribuir para elevar a temperatura da região.

O metamorfismo regional ocorre, geralmente, acompanhado por uma série de deformações e dobramentos que produzem uma orientação preferencial dos minerais, originando estruturas características de xistosidade, originada por recrescimento de cristais, segundo uma determinada orientação e concentrando-se em determinados planos.

Estas deformações e orientações que sofrem os minerais, junto com o fenômeno da recristalização, são os responsáveis para que rochas como xistos e gnaisses apresentem um aspecto característico, e por consequência do tipo de metamorfismo sofrido, que é controlado pelos fatores termodinâmicos que os regem.

Fatores Controladores do Metamorfismo

Como já apresentado, o metamorfismo ocorre quando a rocha está sujeita a um novo meio físico ou químico, em que a associação de minerais existentes deixa de ser estável. O novo meio

químico pode ser originado simplesmente por uma infiltração de um fluido, que reage com a rocha, enquanto que as mudanças no meio físico, podem ser produzidas tanto pela variação de pressão e temperatura a que é submetida a rocha, como pela aplicação de um *stress* diferencial que provoque a deformação da rocha.

Temperatura

Este parâmetro, condicionado pela dinâmica interna da Terra, sofre um aumento médio de 15°C a 30°C por cada quilômetro de profundidade da crosta, conhecido como gradiente geotérmico, cujos valores extremos podem variar de 5°C/km a 100°C/km.

Além das variações já explicadas, existe uma série de situações que contribuem para elevar a temperatura até alcançar o limite metamórfico de 200°C a 800°C. São elas:

- Intrusão de magmas em fusão.
- Calor radiogênico por desintegração de isótopos radioativos como U^{238} , K^{40} e Th^{232} .

Pressão

A pressão é função da profundidade e da densidade das rochas. Esta pressão conhecida como pressão litostática, é a força que as rochas em profundidade suportam, devido ao peso dos materiais subjacentes e caracteriza-se por ser igual em todas as direções.

Quando as pressões atuantes são de valores diferentes e incidem sobre a rocha em diferentes pontos, ocorre o fenômeno conhecido como *stress* diferencial.

O resultado é a ocorrência de determinadas texturas metamórficas originadas pela deformação e orientação dos minerais. Outro fator importante é a pressão que exercem os fluidos presentes nos poros e junto à superfície dos grãos, que se conhece como pressão de fase fluída. Existindo fluidos, a poro-pressão atua no sentido contrário à litosfera, reduzindo a pressão efetiva que atua sobre a superfície dos grãos, tornando seu fraturamento mais fácil.

Sendo a pressão da fase fluída similar à pressão total, como ocorre em zonas com certa profundidade, a fase fluída atua favoravelmente à recristalização e às reações metamórficas (metamorfismo em condições hidratadas). Em contrapartida, para níveis muito mais profundos, a fase fluída se consome praticamente e o metamorfismo ocorre em condições anidras.

Terminologia das Rochas Metamórficas

Dependendo do ponto de vista que aplicarmos em sua descrição ou classificação, podemos obter diferentes nomes para uma mesma rocha. Para as rochas metamórficas, existem quatro critérios distintos em sua nomenclatura:

- Natureza pré-metamórfica.
- Composição mineralógica.
- Textura da rocha.
- Termos especiais.

Utiliza-se a natureza pré-metamórfica quando a partir da composição da rocha metamórfica, se deduz sua composição original. Em termos gerais, utiliza-se os seguintes prefixos:

- Orto – indica uma origem ígnea, sem determinar exatamente sua composição original (um orto-gnaiss indica uma origem ígnea plutônica ou vulcânica).
- Para – indica uma origem sedimentar (paraanfíbrito).

- Meta – utiliza-se quando pode-se precisar com exatidão a composição original da rocha metamórfica (metadiorito).

Com base na composição mineralógica, os nomes de alguns minerais são usados como qualificadores das rochas metamórficas. Normalmente, quando uma rocha aparece acompanhada por um nome dos minerais tem-se algumas das situações a seguir:

- Os minerais citados indicam determinadas condições de temperatura e pressão; e
- diante de uma mineralogia modal, o primeiro mineral citado é o mais abundante.

A textura da rocha metamórfica é um conjunto de características macroscópicas e microscópicas e apresentam estruturas minerais que a caracterizam globalmente.

Metamorfismo de Rochas Pelíticas

As ardósias, filitos, xistos e alguns tipos de gnaiss (biotíticos) são provenientes de materiais pelítico-argilosos e constituem o grupo das rochas metamórficas conhecidas como metapelitos. Caracterizam-se por conter um teor relativamente alto de óxido de alumínio e óxido de potássio, que durante o processo metamórfico dão lugar a uma abundante geração de micas.

Em metapelitos de baixa temperatura é comum a ocorrência de mica muscovita, que desaparece a uma maior temperatura, quando é mais característica a formação de mica biotita. Neste tipo de rocha é muito comum a orientação preferencial das micas, formando o que se conhece como micaxisto.

A ocorrência de determinadas fácies metamórficas, caracterizadas por minerais específicos (micas, cloritas, andaluzitas etc.) junto com o tipo de metamorfismo sofrido e o grau de intensidade alcançado, vão ser responsáveis tanto no aspecto como nas propriedades que finalmente apresentam as rochas, e são os pontos mais importantes na utilização das rochas como material ornamental.

Metamorfismo de Rochas Carbonáticas

O metamorfismo de calcários, dolomitos, margas ou arenitos com cimento carbonático, dá lugar à formação de uma série de rochas metamórficas caracterizadas pela presença de carbonatos recristalizados e/ou silicatos de cálcio e magnésio em variadas proporções. Quando predominam os carbonatos recristalizados, as rochas denominam-se mármore. Com a predominância dos silicatos, a rocha será conhecida como rocha de silicatos cálcicos ou cálciosilicáticas.

A presença de minerais acessórios é a principal causa da coloração dos mármore, sendo que a formação de clorita ou serpentina dará a rocha, tonalidade esverdeada, a formação de grafite dará coloração cinza, a hematita dará coloração rosa e os compostos de manganês darão tonalidades violetas.

Metamorfismo de Rochas Básicas

Uma rocha ígnea básica, como o basalto ou o gabro, caracteriza-se por apresentar um teor de sílica de aproximadamente 50%.

Quando o metamorfismo afeta este tipo de rochas, dá origem ao metabasito, que se caracteriza por teores altos de óxido de magnésio, óxido de ferro, óxido de cálcio e óxido de alumínio. Os minerais mais frequentes, além do quartzo e plagioclásio, são anfibólios e piroxênios.

As rochas típicas que se formam são os metabasaltos, anfibolitos e xistos verdes, em regime de pressões baixas e médias. Para condições de alto grau metamórfico, e devido às altas temperaturas, as paragêneses que se apresentam, são fundamentalmente anidras, dando lugar aos granulitos.

Rochas sedimentares

Introdução

A formação de uma rocha sedimentar é resultado, na maior parte dos casos, da transformação de uma rocha preexistente, seja ígnea, metamórfica ou mesmo sedimentar em detrito, como consequência dos processos hipergenéticos (meteorização ou alteração química da rocha) e continua com seu transporte e sedimentação em uma bacia sedimentar, formando o sedimento. Finalmente, mediante a atuação dos processos diagenéticos (compactação do sedimento, redução da porosidade, cimentação etc.), o sedimento transforma-se em rocha sedimentar.

Existem outros tipos de rochas sedimentares cuja gênese não necessita da formação de um detrito, nem de seu transporte e diagênese, sendo umas rochas originadas por precipitação química e outras de origem orgânica.

Rochas Detríticas

São rochas originadas pela compactação e cimentação de materiais procedentes da desagregação física de rochas ígneas e/ou metamórficas.

As condições de sedimentação, continuidade, turbulência e ambiente de formação, condicionam grande parte das características da rocha. Posteriormente, os processos diagenéticos atuam, transformando os sedimentos em rochas sedimentares.

As rochas detríticas não são geralmente consideradas passíveis de serem utilizadas como rochas ornamentais, porém, eventualmente certos tipos de arenitos podem ser utilizados como revestimento.

As rochas detríticas podem ser classificadas:

- Conglomerados e Brechas.
- Arenitos, Arcóseos e Grauvacas.
- Siltitos.
- Argilitos.

Rochas de Precipitação Química

São rochas formadas por precipitação físico-química de compostos como carbonatos, cloretos e sulfatos, a partir de soluções supersaturadas de um determinado elemento.

As características deste tipo de rocha são determinadas pelas condições em que ocorre a sua precipitação química e posterior diagênese. As águas têm um poder de dissolução condicionado por numerosas variáveis como pH, temperatura, pressão etc.

As rochas de precipitação química podem ser classificadas:

- Carbonáticas: calcários, dolomitos etc.
- Evaporitos: gipsitas, anidritas, alabastros etc.
- Sílicas inorgânicas: sílex.
- Fosfáticas inorgânicas.
- Depósitos de ferro e manganês sedimentar.

Texturas Cristalinas em Rochas Carbonáticas

É frequente observar-se este tipo de textura em rochas dolomíticas, onde podem aparecer cristais idiomorfos, limitados por superfície cristalina de dolomita.

Se ocorrerem em rochas calcíticas, podem apresentar-se com textura biológica ou clástica, que normalmente se produzem por fenômenos de recristalização das mesmas.

Além de aparecer por recristalização diagenética, a textura cristalina é muito comum em rochas carbonáticas, seja qual for sua composição e textura.

Texturas Cristalinas em Rochas Silicosas

As rochas silicosas de origem inorgânica apresentam uma série de texturas muito particulares, que permitem diferenciar a presença de quartzo e opala, utilizando microscópio petrográfico. O quartzo apresenta texturas cristalinas formando mosaicos, com tamanhos e formas variadas, sendo mais comum os cristais com um micrometro ou menos (quartzo criptocristalino). A opala é isótropa sob polarizadores cruzados, ao microscópio petrográfico, podendo ser homogênea sob polarizadores paralelos ou apresentar diferentes texturas, recebendo distintas denominações, brechoide, perlítica, globular etc.

Rochas de Origem Orgânica

São rochas formadas por acumulação de restos orgânicos (conchas, algas, corais, briozoários, foraminíferos etc.) e posterior compactação e cimentação.

Dentro deste tipo de rochas, as carbonáticas são as mais frequentes e geralmente para classificá-las, utiliza-se como referência, as espécies biológicas que predominam nelas.

Em muitos casos, devido à facilidade em que a diagênese atua, ocorrem rochas carbonáticas guardando as formas e texturas típicas dos organismos microscópicos formadores.

Todos os tipos de rochas fossilíferas são muito utilizadas como rocha ornamental em arquitetura, para revestimento de prédios.

Exemplos de rochas ornamentais

Aqui estão apresentados exemplos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, utilizadas no Brasil como rochas ornamentais.

Em nossa relação, dividimos as rochas em:

- Rochas ígneas plutônicas;
- rochas ígneas vulcânicas;
- rochas metamórficas;
- rochas sedimentares detríticas; e
- rochas sedimentares de precipitação química.

Esclarecemos que todas as rochas granitoides e gnáissicas são geralmente classificadas comercialmente como granito. Ainda, em nossa relação foi considerada a característica petrográfica dominante, sem considerar as especificações litológicas e mineralógicas secundárias.

Rochas ígneas plutônicas

Granitos

- Granito Branco Bahia – BA
- Granito Branco Cacatua – BA
- Granito Branco Ceará – CE

- Granito Branco Cotton – CE
- Granito Branco Imaculada – PB
- Granito Brown Colonial – BA
- Granito Dourado Sobral – PE
- Granito Marrom Castor – RO
- Granito Beija-flor – BA
- Granito Flamingo – BA
- Granito Grampôla – RN
- Granito Juparaná Naska – BA
- Granito Macauba – BA
- Granito Red Symphony – CE
- Granito Iracema – CE
- Granito Meruoca Clássico – CE
- Granito Rain Forest – CE
- Granito Ceará – CE
- Granito Monte Santo – BA
- Granito Red Symphony – CE
- Granito Red Dragon – CE
- Granito Red Vitória – BA
- Granito Vermelho Filomena – CE
- Granito Vermelho Ventura – PE
- Granito Vino Bahia – BA
- Granito Massapê – CE
- Granito Quati – BA
- Granito Creme Azul Bahia – BA
- Granito Violeta – MG
- Granito Yellow Symphony – CE

Sienitos

- Granito Amarelo Cabeças – PB
- Granito Amazon Flower – RO
- Granito Amazon Star – RO
- Granito Azul Bahia – BA
- Granito Cobalto Blue – BA
- Granito Vermelho Jandaia – PB
- Granito Vermelho Capão Bonito – SP
- Granito Florença – PB
- Granito Juparaíba – PB
- Granito Verde Eucalipto – ES
- Granito Itaera – BA
- Granito Prata da Amazônia – MT
- Granito Amarelo Cabaças – PB
- Granito Café Bahia – BA
- Granito Café Brasil – BA

- Granito Marrom Fantasia – ES
- Granito Marrom Graphite – ES
- Granito Marrom Imperial – PE
- Granito Áz de Goiás – GO

Monzonito

- Granito Amarelo Capri – MG
- Granito Amêndoa Chocolate – PR
- Granito Amêndoa Jaciguá – ES
- Granito Biancastro – CE
- Granito Branco Fugi – RN
- Granito Branco Pernambuco – PE
- Granito Cinza Andorinha – ES
- Granito Cinza Bressan – ES
- Granito Cinza Castelo – ES
- Granito Cinza Corumbá – ES
- Granito Cinza Mauá – SP
- Granito Cinza Guará – PB
- Granito Prata Imperial – ES
- Granito Prata Interlagos – SP
- Granito Café Amazônia – MT
- Granito Marrom Itú – SP
- Granito Golden Sea Light – MG
- Granito Bege Dunas – PR
- Granito Havana – AC
- Granito Vermelho Medina – MS
- Granito Verde Butterfly – ES
- Granito Verde Ecologia – ES
- Granito Marrom São Paulo – SP
- Granito Amarelo Capri – MG

Diorito

- Granito Amarelo Florença – MG
- Granito Azul Fantástico – SP
- Granito Cinza Prata – CE
- Granito Cinza Pratinha – BA
- Granito Água Branca – ES
- Granito Preto São Gabriel – ES
- Granito Preto São Marcos – PB
- Granito Maracanã – BA

Gabro

- Granito Negro da Tijuca – RJ
- Granito Preto Café de Minas – MS

Rochas ígneas vulcânicas

Riolito

- Granito Paramirim – BA

Diabásio

- Granito Preto Absoluto – BA

Rochas metamórficas

Gnaisses

- Gnaisse Floral Pádua Prata – RJ
- Gnaisse Pedra Madeira – RJ
- Gnaisse Pedra Paduana – PR
- Granito Amarelo Golden Ki – ES
- Granito Amarelo Ouro Brasil – ES
- Granito Amarelo Santa Cecília – ES
- Granito Amarelo Veneziano – ES
- Granito Arabesco – ES
- Granito Azul Sigma – ES
- Granito Branco Desireé – ES
- Granito Branco Gaivota – ES
- Granito Branco Marfim – ES
- Granito Branco Moon Light – ES
- Granito Branco Primata – ES
- Granito Branco Romano – ES
- Granito Branco Saara – ES
- Granito Bege Ipanema – ES
- Granito Cinza Índigo – ES
- Granito Carnaval – PE
- Granito Casablanca – CE
- Granito Colibri – BA
- Granito Giallo Falésia – CE
- Granito Green Coliseum – CE
- Granito Guariba – BA
- Granito Kinawa Bahia – BA
- Granito Juparaná Clássico – ES
- Granito Juparaná Coral – RJ
- Granito Juparaná Delicato – CE
- Granito Juparaná Rosado – ES
- Granito Juparaná Salmão – RJ
- Granito Rosa Imperial – PE
- Granito Rosa Tupim – BA

- Granito Verde Barroco – RJ
- Granito Verde Candeias – MG
- Granito Multicolor Rosa – BA
- Granito Tropical Bahia – BA
- Granito Preto Itapiúna – CE
- Granito Lilás Gerais – MG
- Granito tropical Guarany – MG

Charnockito

- Granito Blue Star – RO
- Granito Verde Dourato – BA
- Granito Verde Fontein – BA
- Granito Multicolor – BA

Migmatito

- Granito Rosa Goitis – PB

Milonito

- Granito Green Galaxy – CE

Metaconglomerado

- Granito Verde Álaque – GO

Quartzito

- Azul Boquira – BA
- Azul Imperial – BA
- Azul Macaúbas – BA
- Branco Santa Maria – BA
- Branco São Tomé – MG

Mármore

- Bege Bahia – BA
- Bege San Marino – CE
- Branco Clássico – ES
- Branco Italva – RJ
- Branco Paraná – PR
- Candelária White – ES
- Crema Porto Fino – CE
- Imperial Pink – BA
- Roca Patamuté – BA

Rochas sedimentares

Arenito

- Pink Brasil – BA
- Rosa Bahia – BA
- Verde Piranhas – GO

Calcário

- Pedra Cariri – CE

Conglomerado

- Bordeaux Santana – CE
- Caravaggio – CE
- Chocolate Brasil – CE
- Cocktail Brown – CE
- Paladium – CE
- Tropical Gauguin – RN
- Verde Marinace – BA
- Verde Rey Imperial – PB
- Vesúvio – BA

LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES TÉCNICAS

1. Introdução

Visando um planejamento operacional dos estudos de prospecção geológico-geotécnica em projetos de exploração de jazidas de rochas ornamentais, pretende-se apresentar o desenvolvimento de uma metodologia adequada das atividades técnicas durante os trabalhos.

Inicialmente, realiza-se uma coleta de dados iniciais sobre a área em estudo, com a finalidade de obtenção de subsídios básicos para o desenvolvimento do projeto. Posteriormente, as condições gerais e específicas para a implantação do projeto, são abordadas detalhadamente.

Concluídas as etapas de obtenção de dados e análise detalhada dos aspectos gerais e específicos, inicia-se o desenvolvimento técnico propriamente dito, compreendendo os trabalhos de reconhecimento de campo e trabalhos detalhados de campo, envolvendo investigações superficiais e de subsuperfície. Paralelamente, são desenvolvidos trabalhos de amostragem de rochas.

Com as amostras coletadas, são efetuados em laboratório, os estudos petrográficos, estudos de alterabilidade de rochas, ensaios tecnológicos de rochas e ensaios de mecânica das rochas.

Concluídas todas as etapas, deverá ser emitido um relatório sobre a viabilidade técnico-econômica do empreendimento.

2. Coleta de dados iniciais

2.1. Pesquisa Bibliográfica da Região

Sempre que for viável, com auxílio da INTERNET e em visitas aos próprios órgãos, procurar dados sobre a geologia regional, da região em estudo, principalmente nas seguintes fontes:

- DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral;
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil;
- CNEN – Comissão de Energia Nuclear; e
- PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S/A.

Também é indispensável a consulta em Boletins Técnicos das instituições de ensino e/ou pesquisa e Anais de Congressos e Simpósios Nacionais e Internacionais.

2.2. Mapas Existentes

Para obtenção de mapas geológicos da região em estudo, as fontes são as mesmas citadas em 2.1.

Para mapas topográficos, As principais fontes são:

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- SGE – Serviço Geográfico do Exército.
- Secretarias Estaduais de Transportes.
- Prefeituras.

2.3. Fotos Aéreas

No que refere-se a possibilidade de existência de fotos aéreas, as principais fontes são:

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- SGE – Serviço Geográfico do Exército.
- DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.
- SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia.
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S/A.

2.4. Contato com Técnicos

Contato com técnicos que já tiveram oportunidade de desenvolver trabalhos na área em estudo, revela-se como de inestimável importância. Portanto, trocas de informações com técnicos do DNPM, CPRM, DNER, DER estaduais etc., é extremamente importante.

3. Condições gerais

3.1. Meios de Acesso

Levando-se em consideração que no desenvolvimento do projeto, um número consideravelmente de pessoas deverão deslocar-se para a área em estudo, além de equipamentos pesados (sondas mecânicas à percussão e rotativas etc.) na fase de prospecção e na fase de exploração (equipamento à ar comprimido etc.), assim como na fase de beneficiamento do produto (teares da serraria etc.) e veículos de transporte do produto, é de suma importância o levantamento dos meios de acesso para a área em estudo, como rodovias pavimentadas, estradas vicinais de terra etc.

3.2. Aspectos Urbanos

3.2.1. Mão de obra local

Admitindo-se que durante o desenvolvimento do projeto, na fase de exploração e beneficiamento do produto, será necessário mão de obra local para os serviços de beneficiamento do produto, assim como, braços para trabalhos de extração na jazida, torna-se bastante importante o levantamento das facilidades de obtenção de pessoal local para trabalhar no projeto. No que tange ao pessoal braçal, é muito importante a análise das atividades econômicas da região. Em zona de atividade agrícola desenvolvida, seja em pequenas propriedades ou em empresas agropecuárias de porte, embora com a mecanização crescente das lavouras, ainda o uso da mão de obra local é muito utilizado na época do plantio e colheita, causando problemas no recrutamento de pessoal para trabalhar no projeto. Outro grande problema encontrado é a preferência por parte do pessoal local em trabalhar em atividades agrícolas em detrimento de atividades de extração mineral, em função das facilidades do FUNRURAL, no que tange a previdência social.

3.2.2. Alimentação

Tendo em vista ao considerável número de pessoas envolvidas na exploração e beneficiamento do produto, a verificação das facilidades de alimentação (supermercados, armazéns, quitandas etc.) devem ser analisadas.

3.2.3. Condições médicas

Baseados no tipo de trabalho desenvolvido durante a exploração, transporte e beneficiamento do produto, por medidas de prevenção, as condições médicas locais devem avaliadas. A existência de médicos, hospitais e postos de saúde é extremamente importante.

3.2.4. Materiais de apoio

Considerando que durante a exploração e beneficiamento do produto, possivelmente algumas obras civis poderão ser necessárias (construção da serraria, paiol para explosivos, refeitório etc.), a verificação da existência de estabelecimentos locais de materiais de construção, torna-se importante.

3.2.5. Comunicações

As facilidades locais telefônicas, computacionais, de rádio transmissor etc., devem ser avaliadas.

3.2.6. Comércio em geral

As facilidades de aquisição de bens para o perfeito desenvolvimento das fases de exploração e beneficiamento do produto, como ferramentas para os trabalhos de exploração, assim como, para a serraria, devem ser verificadas.

3.3. Aspectos legais

3.3.1. Propriedades

Um perfeito levantamento das propriedades na região do projeto é de vital importância, tendo em vista que o projeto provavelmente irá resultar em trabalhos em área de propriedades particulares. Em regiões de minifúndios, o problema é bem maior que em regiões de latifúndios.

3.3.2. Pesquisa em cartórios

Visando uma futura negociação de áreas de interesse do projeto, a pesquisa no Cartório de Registro de Propriedades é indispensável para definir os reais proprietários das referidas áreas.

3.4. Abastecimento de água

3.4.1. Água superficial

Tendo em vista a considerável quantidade de água necessária durante as fases de exploração, assim como, no beneficiamento do produto, além dos cursos de água, devem ser feitos mapas com localização, capacidade e profundidades das “nascentes” na área de interesse do projeto.

3.4.2. *Água subterrânea*

Um levantamento preliminar visando a possibilidade de utilização de água subterrânea é também muito importante.

3.4.3. *Análise da água*

Devem ser feitas análises das águas superficiais e subterrâneas, visando sua potabilidade e utilização durante o projeto.

3.4.4. *Possibilidades de fontes adicionais*

Conforme os resultados das análises das águas, distância etc., devem ser analisadas possibilidades de fontes alternativas (carro-pipa etc.) para utilização durante os trabalhos do projeto.

3.5. Energia

3.5.1. *Tipo de eletricidade*

Levando-se em consideração que durante a exploração, assim como, na fase de beneficiamento do produto, a demanda de eletricidade será considerável, é de suma importância a verificação do tipo de eletricidade da área de interesse do projeto (gerador à diesel, linha de transmissão etc.).

3.5.2. *Distância da linha de transmissão*

No caso de linha de transmissão, verificar a distância da linha de transmissão e o respectivo preço para trazer energia para o canteiro da obra.

3.5.3. *Características elétricas*

No caso de utilização da linha de transmissão, verificar capacidade, voltagem, frequência e/ou necessidades de transformadores.

4. Condições específicas

4.1. Detalhes preliminares

4.1.1. *Base topográfica*

Análise da base topográfica existente e sua adequação ao desenvolvimento do projeto, assim como, possibilidade de restituição de fotos aéreas.

4.1.2. *Facilidades existentes*

Previsão de facilidades existentes e/ou necessidade de construção, com a verificação de acessos à área do projeto e construções civis existentes e/ou necessidade de construção e/ou facilidades existentes.

4.1.3. Problemas legais de propriedades

Com base no levantamento do cadastro de propriedades, as providências relativas ao processo de negociação da área de interesse do projeto.

4.2. Detalhes técnicos

Com base nos dados preliminares obtidos nos mapas geológicos e pedológicos da área do projeto, desenvolver uma análise preliminar das condições do maciço rochoso e da cobertura de solo da jazida do projeto.

4.3. Dados hidrológicos

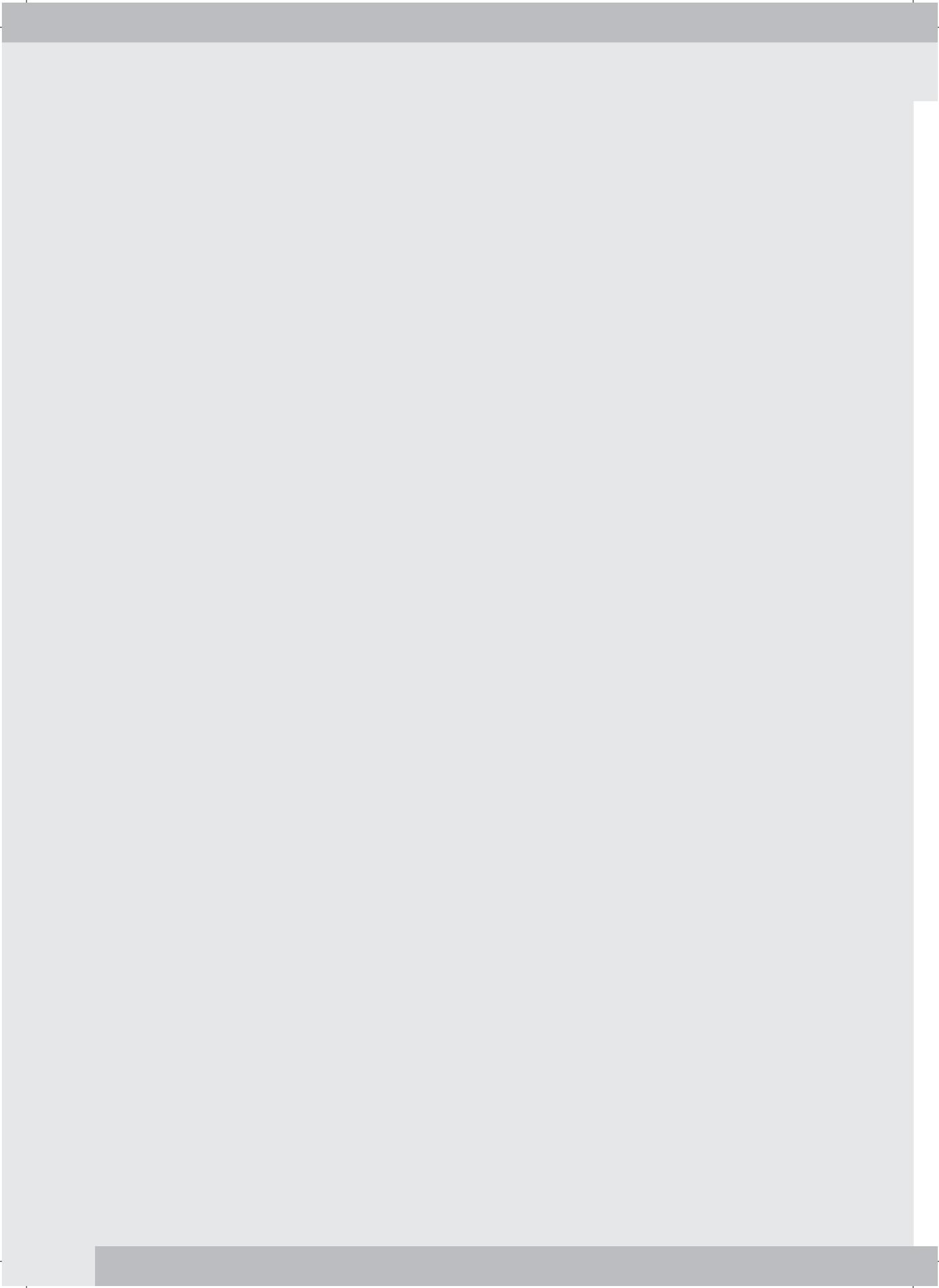
Levantamento da drenagem no maciço rochoso, visando a determinação de eventuais falhas e/ou fraturas, assim como, a existência de “nascentes” no maciço rochoso.

4.4. Dados climáticos

Consulta às publicações do Serviço de Meteorologia, para análise do índice pluviométrico mensal e anual e distribuição durante as estações do ano, para determinação das atividades de exploração da jazida.

Glossário e dicionário

Nuria Fernández Castro, Enga. de Minas, MSc., CETEM/MCTI
Eunice Freitas Lima, Tecnóloga em Rochas Ornamentais, CETEM/MCTI
Ilson Sandrini, Consultor



Português	Español	English	Italiano	Definição
Abóbada	Bóveda	Vault	Volta	Tudo que se assemelha a uma cobertura côncava.
Abrasividade	Abrasividad	Abrasiveness	Abrasività	Que permite arrancar, por atrito, partículas de outros corpos.
Abrasivo	Abrasivo	Abrasive	Abrasivo	Insumo utilizado no processo de beneficiamento secundário (levigamento e polimento) de chapas de rochas ornamentais. Pode ser do tipo magnésiano, resinoide e diamantado.
Abrasivo diamantado	Abrasivo diamantado	Diamond studded abrasive	Abrasivo diamantato	Tipo de abrasivo para polimento, constituído de uma matriz metálica com diamantes como elemento abrasivo.
Abrilhantador	Abrillantador	Brightener	Lucidante	Produto usado em chapas ou produtos finais de rochas ornamentais para conferir maior brilho.
Absorção	Absorción	Absorption	Assorbimento	É a propriedade pela qual certa quantidade de líquido é capaz de ocupar os espaços vazios das rochas sendo expressa pela relação entre o volume de água absorvida e pelo volume de poros intercomunicantes.
Acabamento	Acabado	Finish	Rifinitura	Processo final de transformação durante o beneficiamento secundário de chapas de rochas ornamentais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Acabamento jateado	Acabado arenado	Sanded finish	Sabbiato	Tipo de acabamento elaborado a partir de aplicação de jatos de areia na superfície das chapas de rochas ornamentais, criando um aspecto opaco. O mesmo que jateado com areia.
Acabamento superficial	Acabado superficial	Surface finish	Rifinitura superficiale	Tratamento aplicado à superfície das rochas para lhes dar texturas e aspectos diversos.
Aço inoxidável	Acero inoxidable	Stainless steel	Acciaio inox	É uma liga de ferro e cromo podendo conter níquel, molibdênio e outros elementos que proporcionam propriedades físicas e químicas superiores às dos aços comuns sendo de alta resistência à oxidação atmosférica.
Acordo	Acuerdo	Agreement	Accordo	Aprovação mútua em que ambas as partes manifestam seus interesses.
Argamassa colante	Adhesivo para colocación	Adhesive for laying	Adesivo per posa	Argamassa colante é a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, para aplicação de revestimentos.
Afastamento de furos	Espaciamiento	Spacing of the holes	Distanza tra fori di mina	Distância entre furos para detonação.
Afloramento	Afloramiento	Outcrop	Affioramento	Exposição superficial de rochas.
Aglomerante	Aglomerante	Binding agent	Legante	É o que aglomera.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Agressivo	Agresivo	Aggressive	Aggressivo	Algo que é prejudica o bloco ou chapa de rocha ornamental. Que agride, que pode alterar.
Águas subterrâneas	Aguas subterráneas	Ground water	Acque sotteranee	Água que se encontra no solo abaixo da superfície.
Ajuste fino	Ajuste preciso	Fine tuning	Aggiustamento fino	Processo de fazer pequenas modificações para se obter o melhor desempenho possível.
Alabastro	Alabastro	Alabaster	Alabastro	Rocha sedimentar translúcida de cor clara. Variedade de gipsita.
Alavanca	Palanca	Lever	Leva	Qualquer barra usada para levantar ou mover volumes pesados.
Albita	Albita	Albite	Albite	Silicato de sódio e alumínio, do grupo dos plagioclásios, podendo ser incolor ou leitoso, esverdeado, amarelado ou vermelho-carne, geralmente com forma tabular. Ocorre em rochas ígneas e metamórficas.
Albitização	Albitización	Albitization	Albitizzazione	Transformação parcial ou total de minerais de uma rocha, geralmente feldspatos, em albita, pela ação de gases e/ou fluidos durante processos tardi e/ou pós-magmáticos.
Alfândega	Aduana	Customs	Dogana	Órgão público que fiscaliza a entrada e saída de mercadoria do país e cobra as taxas de importação e exportação.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Alterabilidade	Alterabilidad	Alterability	Alterabilità	Aptidão de uma rocha em se alterar, em função do tempo. É baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características inatas, em uso, que dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (por exemplo, em exteriores ou interiores).
Alteração	Alteración	Change	Alterazione	Qualquer mudança na composição química e mineralógica de uma rocha ocorrida por meios físicos e químicos, especialmente pela ação hidrotermal, mas também pela ação intempérica.
Alteração deutérica	Alteración deutérica	Deuteric alteration	Alterazione Deuterica	Alteração da mineralogia original de rochas magmáticas causada por soluções e/ou gases atuantes nos estágios finais de consolidação de um magma.
Alteração hidrotermal	Alteración hidrotermal	Hydrothermal alteration	Alterazione idrotermale	Mudança na composição química das rochas produzida por soluções aquecidas, ascendentes do magma.
Altura	Altura	Height	Altezza	Dimensão vertical de um corpo ou objeto.
Altura da bancada	Altura de banco	Height of the bench	Altezza del banco di lavoro	Distância na vertical entre a base e o topo da bancada.
Altura de trabalho	Altura de trabajo	Working height	Altezza di lavoro	É a altura ideal para trabalho.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Alvenaria	Mampostería	Masonry	Muratura	Conjunto de pedras, de tijolos ou de blocos - com argamassa ou não - que forma paredes, muros e alicerces. Quando esse conjunto sustenta a casa, ele chama-se alvenaria estrutural. O próprio trabalho do pedreiro.
Amarelado	Amarillento	Yellowish	Giallognolo	Diz-se quando o material é de cor amarelo.
Amarelo	Amarillo	Yellow	Giallo	Cor primária ou pura comum em rochas ornamentais.
Amígdala	Amígdala	Amygdala	Amigdala	Vesícula que foi preenchida posteriormente com minerais precipitados a partir de soluções aquosas ou gasosas.
Amoladora	Afiladora	Sharpener	Affilacoltelli	Equipamento utilizado para afiar e amolar ferramentas.
Amorfo	Amorfo	Amorphous	Amorfo	Material com agrupamento molecular desordenado, sem apresentar estrutura cristalina.
Andaimes	Andamiaje	Scaffolding	Impalcatura	São estruturas necessárias à execução de trabalhos em lugares elevados.
Andesina	Andesita	Andesite	Andesite	Silicato de sódio, cálcio e alumínio, do grupo dos plagioclásios, podendo ser brancos ou acinzentados, geralmente com forma tabular.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Anfibólio	Anfibol	Amphibole	Anfibolo	Grupo de silicatos de composição variável, podendo conter sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, titânio, manganês e alumínio. São minerais comuns em rochas ígneas e metamórficas, podendo estar presentes como mineral essencial. Entre eles pode-se citar: hornblenda, antofilita, cummingtonita, tremolita, actinolita, riebeckita, glaucofânio e arfvedsonita.
Anfibolito	Anfibolita	Amphibolite	Anfibolite	Rocha metamórfica de granulação fina a grossa, com discreta xistosidade, composta principalmente de hornblenda e plagioclásio.
Anfo	Anfo	Anfo	Anfo	Tipo de explosivo, de baixo custo, produzido pela mistura de óleo diesel, por vezes querosene, com nitrato de amônia (NH ₄ NO ₃).
Anticato	Envejecido	Anticato	Anticato	Material elaborado com rejeitos de rochas que após transformado apresenta aparência envelhecida, textura fosca suave e cantos arredondados.
Antifiltrante	Antifiltrante	Anti-filtering	Antifiltrante	Produto para impedir a filtração de algum líquido.
Antimanchas	Antimanchas	Non staining	Antimacchia	Produto utilizado para evitar manchas.
Antioxidante	Antioxidante	Antioxidant	Antiossidante	Produto utilizado para evitar oxidação.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Antipichação	Antipintadas	Anti-graffiti	Anti-graffiti	Produto utilizado para evitar a absorção de tintas ou sprays utilizados para pichar .
Aparelho	Aparato	Device	Attrezzo	Conjunto de peças necessárias à execução de um trabalho.
Apatita	Apatito	Apatite	Apatite	Fosfato de cálcio com flúor de cores variáveis e sob a forma de cristais prismáticos longos ou tabulares. Ocorre em diversos tipos de rochas, sendo relativamente comum como acessórios em rochas ígneas (granitos, sienitos e outros) e metamórficas.
Apicoado	Abujardado	Bush hammered	Bocciardato	Aspecto poroso e uniforme das chapas de rochas ornamentais após o processo de acabamento na qual há aplicação direta de ferramenta metálica com impacto, de forma a desagregar os grãos por esmagamento.
Apicoadora	Abujardadora	Bush-hammer	Bocciardatrice	Equipamento para fazer apicoado.
Aplicador	Colocador	Applicator	Applicatore	Profissional especializado na aplicação de rochas ornamentais em revestimentos internos e externos
Apropriado	Apropiado	Appropriate	Adatto	Próprio, apto, adequado, conveniente.
Aquisição/ compra	Adquisición	Purchase	Acquisto	Ato ou efeito de adquirir ou comprar algo.
Arame	Alambre	Wire	Filo metallico	Fio flexível de metal.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Arcada	Arcada	Arcade	Arcata	Sucessão de arcos.
Arco	Arco	Arch	Arco	Estrutura de alvenaria de traçado curvilíneo, destinado a reunir dois pontos de apoio.
Ardósia	Pizarra	Slate	Ardesia	Rocha metamórfica de granulação fina, com orientação planar muito intensa frequentemente usada para telhados.
Arenito	Arenisca	Sandstone	Arenaria	Rocha sedimentar proveniente da consolidação e cimentação natural de partículas minerais arenosas (com diâmetro entre 0,06 mm e 2,0 mm), principalmente grãos de quartzo. O material cimentante pode ser silicoso, carbonático, ferruginoso ou argiloso.
Argamassa	Mortero	Mortar	Malta	Material industrializado utilizado para assentamento de pisos, porcelanatos, mármore, granitos e mosaicos.
Argamassa expansiva	Cemento expansivo	Expansive mortar	Malta expansiva	Produto químico sob a forma de pó, que atua como agente expansivo quando misturado à água levando a ruptura da rocha na linha de corte.
Argilominerais	Minerales arcillosos	Clay minerals	Minerali argillosi	Minerais constituintes característicos das argilas (partículas < 0,002 mm), geralmente cristalinos. Quimicamente são silicatos de alumínio hidratados, contendo outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio etc.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Arquiteto	Arquitecto	Architect	Architetto	Profissional responsável pelo projeto, supervisão e execução de obras de arquitetura. Planeja o uso de espaços para fins residenciais, industriais e comerciais.
Arquitetura	Arquitectura	Architecture	Architettura	Arte de compor e construir edifícios para qualquer finalidade, tendo em vista o conforto humano, a realidade social e o sentido plástico da época em que se vive. Uma das artes mais antigas.
Arquitrave	Arquitrabe	Architrave	Architrave	Faixa ou outra moldura ornamental ao redor de uma porta ou outra abertura retangular.
Arruela	Arandela	Washer	Rondella	Peça cilíndrica de pouca espessura com um furo no centro pelo qual passa o corpo do parafuso. Tem a finalidade de elemento de trava evitando que a porca e o parafuso venham a se desatarraxar.
Arruela dentada	Arandela dentada	Jagged teeth washer	Rondella zigrinata	Tipo de arruela que apresenta dentes na parte externa.
Arte funerária	Arte funerario	Funerary art	Arte funeraria	Campo de aplicação da rocha ornamental que inclui todas as obras de âmbito funerário como capelas, túmulos, pilares, santuários etc.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Artesanato	Artesanía	Craft	Artigianato	É tudo aquilo que é feito manualmente ou com auxílio de maquinário e que vem da matéria-prima local como madeira, rochas ornamentais, argila, fibras etc.
Artesão	Artesano	Craftsman	Artigiano	Profissional que faz trabalhos artesanais.
Atenção ao cliente	Servicio al cliente	Customer service	Assistenza clienti	Atendimento ao cliente para esclarecer dúvidas ou solucionar problemas com os produtos ou serviços oferecidos por uma empresa.
Átomo	Átomo	Atom	Atomo	Unidade fundamental da matéria.
Augita	Augita	Augite	Augite	Variedade mais comum de piroxênio, composta por silicatos de cálcio, sódio, ferro, magnésio e alumínio. Ocorre como cristais prismáticos em cores verde-escuro ou preto. Pode ser constituinte essencial de rochas ígneas (basaltos) ou, mais frequentemente, mineral acessório de rochas ígneas (sienitos) e metamórficas (gnaisses).
Autorização	Autorización	Authorization	Autorizzazione	Ato de autorizar, permissão. Documento em que se concede permissão para alguma coisa.
Aviso	Aviso	Notice	Avviso	Ação ou efeito de avisar, dar um recado, uma notícia.
Baguete	Listel	Baguette	Baguette	Soleira de pequena largura. O mesmo que filete.
Balaustrada	Balaustrada	Balaustrade	Balaustrata	Fileira, série de balaústres formando grade de parapeito ou corrimão.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Balaústre	Balaústre	Baluster	Balaustro	Pequena coluna ou pilar que, alinhada lado a lado, sustenta corrimãos e guarda-corpos. Tem origem no latim <i>balaustium</i> , nome da flor de romã, cuja forma inspirou os primeiros balaústres.
Bancada	Banco	Bench	Bancata	Degrau feito nas minas para a extração de minérios e rochas. Também chamada de banco.
Bancada de trabalho	Banco de trabajo	Workbench	Banco di lavoro	Plano de apoio sobre o qual se realizam trabalhos de recorte e acabamento.
Banco	Bancada	Bench	Bancata	Degrau feito nas minas para a extração de minérios e rochas. Também chamado de bancada.
Bandamento	Bandeamiento	Banding	Struttura a bande	Feição macroscópica desenvolvida em rochas ígneas e metamórficas, resultante da alternância de camadas, lentes e faixas que diferem basicamente na composição mineral (e consequentemente na cor) e/ou textura.
Banho	Baño	Washing	Lavaggio	Ato de lavar bloco ou chapas de rocha ornamental. Ou ato de banhar ambos com algum produto.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Bars	Bares	Bars	Bars	Medida de pressão que equivalente a 14,5 libras por polegada quadrada ou a 1,02 kg/cm ² .
Basalto	Basalto	Basalt	Basalto	Rocha vulcânica composta principalmente de plagioclásio cálcico e clinopiroxênio, em uma massa fundamental vítrea ou afanítica. Correspondente extrusivo do gabro.
Batente	Batente	Stop	Batente	Conjunto de placas que revestem as faces dos vãos de portas e janelas.
Beco	Callejón	Alley	Vicolo	Abertura vertical de dimensões adequadas, executada no maciço para a obtenção de uma frente de lavra. Também conhecido como canal.
Beneficiamento primário	Procesamiento primario	Primary processing	Prima trasformazione	Conjunto de processos industriais que visa desmembrar o bloco de rocha ornamental em chapas. O mesmo que serragem.
Beneficiamento secundário	Acabamiento	Finishing	Finitura	Conjunto de processos industriais que visa dar o acabamento final às chapas de rochas ornamentais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Biela	Biela	Rod	Biella	Barra articulada em duas peças móveis de um mecanismo, destinada a transmitir movimento de uma para outra dessas peças.
Bifio	Bihilo	Double-wire	Bifilo	Equipamento dotado de duas traves metálicas e um conjunto de polias que possibilita o giro de dois fios diamantados. É geralmente usado para conferir um melhor acabamento das faces longitudinais de um bloco com objetivo de otimizar o espaço que o mesmo ocupará no tear.
Biotita	Biotita	Biotite	Biotite	Silicato de potássio, magnésio, ferro e alumínio, pertencente ao grupo das micas. Apresenta forma placoide, geralmente preta, podendo ser marrom-escuro ou verde-escuro. Ocorre como mineral essencial ou acessório em rochas metamórficas e como acessório em rochas ígneas e sedimentares.
Biseladora	Biseladora	Bevelling machine	Bisellatrice	Máquina utilizada para conferir aos ladrilhos de rochas ornamentais um acabamento de borda.
Biselado	Biselado	Beveled	Smussato	Tipo de acabamento que é feito nas bordas dos materiais.
Bisotadora	Chafanadora	Chamfering machine	Smussatrice	Equipamento utilizado para fazer acabamento bisotado.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Bisotê	Chaflán	Chamfer	Smusso	Chanfradura ou corte obtuso na borda ou extremidade.
Bits	Bits/Botones	Bits	Bit	Botões de metal duro (carbeto de tungstênio) ou diamantados, acoplados a coroa de perfuração (brocas de perfuração) que fragmenta a rocha ao golpeá-la. Sua especificação é conforme o tipo de rocha perfurada.
Bloco esquadrejado	Bloque escuadrado	Squared block	Blocco squadrato	Bloco cortado em forma regular ou retangular.
Blocos	Bloques	Blocks	Blocchi	Materiais rochosos obtidos do matacão ou do maciço, talhados em formato paralelepípedo, destinados à serraria e cantaria.
Boleamento	Redondeo	Rounding	Arrotondamento	Processo de beneficiamento destinado a se obter arredondamento de um ou mais lados de uma placa.
Borda	Canto	Edge	Costa	Extremidade de qualquer material.
Borda 1/2 boleada	Canto 1/2 redondo	Quarter bullnose edge	Costa a mezzo toro	Quando o boleio completa 180°.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Borda bisotada	Canto chaflán	Chamfered edge	Costa smussata	Tipo de acabamento que cria chanfros a 45° geralmente feitos em tampos ou bancadas de mármore e granitos. Já para ladrilhos tem a função de tirar o corte das arestas, evitando que as beiradas se quebrem.
Borda boleada	Canto redondo	Bullnose edge	Costa a toro	Acabamento abaulado ou torneado no contorno da superfície em rochas ornamentais. Quando o boleio completa 180° chamamos de 1/2 boleada.
Borda boleada com rebaixo	Canto redondo con rebaje	Stepped bullnose edge	Costa a listello e toro	É a borda com rebaixo seguido do boleado.
Borda chanfrada	Canto chaflán doble	Large bevel and straight edge	Costa dritta com piano inclinato	Corte das arestas formadas por duas faces, produzindo assim uma terceira face em ângulo oblíquo.
Borda meia-cana	Canto media caña	Half bullnose edge	Costa becco di civetta	Acabamento lateral de bordas em mármore ou granitos geralmente usados na borda de lavatório. Também chamado de semiboleado.
Borda peito de pomba	Canto pecho de paloma	Ogee edge	Costa gola	Arremate feito geralmente nas bordas das bancadas.
Borda ranhurada	Canto ranurado	Slot cut-out edge	Costa com slot	Tipo de acabamento lateral da chapa com ranhuras e não polido.
Borda reta	Canto recto	Flat edge	Costa dritta	Termo usado no acabamento lateral de bordas simples, ou seja, o material é polido no jeito que foi cortado sem nenhum acabamento especial.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Bota-fora	Escombrera	Waste rock pile	Rifiuti depositati	Local específico de deposição de resíduos sólidos (rocha ou solo) oriundos do processo de extração.
Broca	Broca	Drilling bit	Punta	Elemento que, mediante a energia de impacto e compressão recebida da haste, quebra a rocha no fundo do furo, permitindo o avanço da perfuração da rocha.
Broca diamantada	Broca diamantada	Diamond drill	Punta di diamante	Peça constituída de fragmentos de diamante destinada a fazer furos de sondagem nas rochas.
Broca integral	Taladro completo	Full drill	Trapano completo	Ferramenta (haste) com um punho forjado numa extremidade e uma coroa na outra extremidade na qual é inserida uma pastilha.
Bruto	Bruto	Gross	Lordo	Material que ainda não passou por processo de beneficiamento secundário (polimento).
Cabeça de parafuso	Cabeza de tornillo	Screw head	Testa della vite	Base superior do parafuso podendo ser arredondado, quadrado ou sextavado dependendo da ferramenta a ser utilizada.
Cabeçote	Cabezal	Head	Testa	Local da politriz onde são fixados os rebolos abrasivos.
Cabeçote de corte	Cabezal de corte	Cutting head	Testa di taglio	Local da cortadeira onde são colocados os discos de corte.
Cabos de ancoragem	Amarras de anclaje	Anchor wires	Fune di ancoraggio	Cabos de aço destinados à fixação de equipamentos, torres e outros à estrutura.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Caixa de marchas	Caja de cambio	Gear box	Cambio	Mecanismo de mudança de velocidade em veículos motorizados.
Calçada, passeio	Acera	Sidewalk	Marciapiede	Via ou parte de via reservada ao trânsito de pedestres.
Calçamento de carga	Fijación de carga	Load settling	Fissaggio di carico	Atividade auxiliar no beneficiamento, que consiste no travamento do(s) bloco(s) nos carros antes, durante e após a carga, para manter a verticalidade e estabilidade.
Calcário	Caliza	Limestone	Calcare	Rocha sedimentar de granulação variável, constituída predominantemente de carbonato de cálcio (calcita). Pode conter fósseis de dimensões variáveis.
Calcita	Calcita	Calcite	Calcite	Carbonato de cálcio, geralmente de cor branca, podendo apresentar tonalidades avermelhadas, alaranjadas, esverdeadas e outras. É o mineral principal dos mármore, calcários e travertinos. Ocorre como cimento em alguns arenitos.
Calibradora	Calibradora	Calibrating machine	Calibratrice	Máquina utilizada para conferir aos ladrilhos de rochas ornamentais a mesma espessura ao longo de toda a sua produção.
Calibrar	Calibrar	Calibrate	Calibrare	Procedimento que consiste em ajustar o valor lido por um instrumento com o valor padrão de mesma natureza.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Camada	Capa	Layer	Strato	Conjunto de materiais com características físicas semelhantes estendido uniformemente sobre uma superfície.
Câmara	Camara	Chamber	Camera	Espaço amplo onde se desenvolvem os trabalhos de mineração subterrânea.
Caminhão	Camión	Truck	Camion	Veículo utilizado para fazer transporte de carga.
Canal	Canal	Channel	Canale	O mesmo que beco.
Cancrinita	Cancrinita	Cancrinite	Cancrinite	Variedade de feldspatoide, constituída por sódio e cálcio, geralmente como massas translúcidas a transparentes de cores variadas em rochas ígneas (especialmente nefelina sienitos).
Cantaria	Cantería	Stonework	Pietra	Toda pedra aparelhada ou afeiçoada, destinada a revestir edificações ou servir de elementos decorativos ou funcionais, com geometria e acabamento preestabelecido por um projeto.
Canteiro	Cantero	Stoneworker	Scalpellino	É o oficial que corta, desbasta, e aparelha as rochas para a construção que irão constituir a cantaria.
Cantos rodados	Guijarros	Cobblestone	Ciottolo	Tipo de acabamento arredondado nas extremidades do material.
Capacidade efetiva	Capacidad efectiva	Effective capacity	Capacità effettiva	É a quantidade de ar descarregado por um compressor em um determinado intervalo de tempo.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Capejamento	Cobertura	Overburden	Capellaccio	Este termo se aplica a camada de solo vegetal, ou solo simplesmente, que cobre o bem mineral que será extraído. Este material geralmente é preservado e utilizado para propiciar uma nova camada de cobertura em pilhas de estéril, rejeitos e na recomposição de áreas lavradas.
Capilaridade	Capilaridad	Capillarity	Capillarità	Fenômeno que permite o movimento de um fluido pela superfície de sólidos, por coesão, adesão e tensão superficial. Nas rochas costuma produzir a ascensão da água entre os poros do material.
Capitel	Capitel	Capital	Capitello	Parte superior, mais larga, de um elemento de apoio, como uma coluna ou um pilar.
Carga	Carga	Load	Caricamento	Atividade auxiliar no processo de beneficiamento, que consiste no assentamento de bloco(s) de rocha em carro apropriado (chamado de carrinho transportador) para a serragem.
Carga de ruptura	Carga de rotura	Breaking load	Carico di rottura	É a carga máxima na qual o objeto se rompe.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Carrinho	Carro	Trolley	Carrello	Equipamento onde se coloca o bloco, que através de um trilho, é encaminhado ao tear para que seja desdobrado em chapas. Também chamado de carrinho transportador.
Carta de crédito	Carta de crédito	Letter of credit	Lettera di credito	Ordem de pagamento que o importador contrata junto a um banco, a favor do exportador.
Casqueiro	Resíduo lateral del bloque aserrado	Large size piece of stone from the blocks sawing	Rifiuti di pietra del telaio	Chapa com uma face irregular originada das laterais dos blocos após o processo de desdobramento destes em chapas. Também conhecido como costaneira.
Caulinita	Caolinita	Kaolinite	Caolinite	Silicato de alumínio pertencente ao grupo dos argilominerais. Apresenta-se como placas diminutas, em massas semelhantes à argila, com cor branca a cinzenta ou amarela. Normalmente é originado pela alteração de feldspatos, especialmente os potássicos.
Caulinização	Caolinización	Kaolinization	Caolinizzazione	Formação do argilomineral caulinita a partir de um mineral de uma rocha, em geral o feldspato, como resultado de alteração deutérica ou intempérica.
Cavalete	Caballete	Easel	Cavalletto	Dispositivo utilizado para o acondicionamento de chapas.
Cavidade	Hueco	Cavity	Cavo	É um espaço vazio em um corpo sólido.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Certificado de origem	Certificado del país de origen	Certificate of origin	Certificato d'origine	É um documento essencial para caracterizar a procedência da mercadoria objeto de exportação em relação a determinado país.
Chaminé (externa)	Chimenea	Chimney	Ciminiera	Duto de metal ou de alvenaria que conduz o fumo da lareira e do fogão para o exterior da casa.
CFM	CFM	CFM	CFM	Terminologia inglesa para pés cúbicos por minuto, medida de vazão equivalente a 0,47 l/s.
Chapa	Tablero	Slab	Lastra	Material rochoso de formato laminar, com espessura menor que 40 mm, de contorno não necessariamente regular, obtido através do desdobramento de blocos.
Chapim	Banda	Cap	Top	Placa usada para o revestimento da parte superior de muretas, banheiras e afins. Também chamado de cobertina.
Charnockito (hiperstênio granito)	Charnoquita	Charnockite	Charnockite	Rocha ígnea de granulação média a grossa, essencialmente constituída por quartzo e feldspatos, caracterizada pela presença de hiperstênio (ortopiroxênio) com coloração típica esverdeada.
Cinzel de dentes	Gradina	Chisel teeth	Scalpello denti	Ferramenta destinada a deslocar rochas, aproveitando-se de uma superfície de fraqueza.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Clorita	Clorito	Chlorite	Clorito	Grupo de minerais lamelares, flexíveis, inelásticos e de clivagem micácea, compostos essencialmente por magnésio, ferro e alumínio, geralmente formados por alteração de piroxênios, anfibólios e biotita.
Cloritização	Cloritización	Chloritization	Cloritizzazione	Conjunto de processos pelos quais os minerais ferromagnesianos de uma rocha são alterados para minerais do grupo da clorita, ou pelos quais são substituídos pela clorita. Pode se dar por alteração hidrotermal ou por meteorização.
Coluna	Columna	Column	Colonna	Elemento estrutural de sustentação, quase sempre vertical. Pode ser de rocha, alvenaria, madeira ou metal e consiste de três partes: base, fuste e capitel.
Comércio atacado	Comercio al por mayor	Wholesale	Commercio all'ingrosso	É o ato de vender mercadoria em grande escala geralmente para revendedores ou produtores.
Comércio exterior	Comercio exterior	Foreign trade	Commercio con l'estero	É o conjunto de técnicas que trata da relação comercial da empresa com mercados externos e da regulação e normatização de exportações, importações e movimentações financeiras derivadas dessas transações comerciais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Comissão	Comisión	Commission	Provvigione	Percentual ou gratificação que se dá a quem serve de intermediário em uma transação comercial.
Composição mineralógica	Composición mineralógica	Mineralogical composition	Composizione mineralogica	Conjunto dos minerais constituintes de uma rocha.
Composição química	Composición química	Chemical composition	Composizione chimica	Conjunto dos elementos e compostos químicos que constituem um material.
Compressor	Compresor	Compressor	Compressore	Equipamento que aumenta a pressão de um fluido.
Comprimento	Largo	Lenght	Lunghezza	Dimensão longitudinal de um objeto.
Comprimento do furo	Profundidad del barreno	Length of the hole	Lunghezza del foro	Distância entre a boca e o fundo do furo.
Concreção	Concrección	Concretion	Concrezione	Material formado por precipitação química a partir de solução aquosa, com forma de nódulos ou crostas, de composição diferente do solo ou rocha encaixante.
Concreto	Hormigón	Concrete	Calcestruzzo	Mistura de água, cimento, areia e pedra britada, em proporções prefixadas, que forma uma massa compacta e endurece com o tempo.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Condições de pagamento	Condiciones de pago	Payment conditions	Condizioni di pagamento	É a forma como será efetuada o pagamento da mercadoria adquirida.
Conebit	Broca de botones	Button drill bit	Punta a bottoni	Parte do equipamento de perfuração que faz a trituração da rocha. Recoberta de botões de material resistente como carbeto de tungstênio.
Conicidade	Conicidad	Conicity	Conicità	Efeito cônico.
Consignatário de navio	Consignatario de buques	Consignee ship	Destinatario nave	Negociante ao qual são remetidas mercadorias para venda ou depósito.
Construção antiga	Construcción antigua	Old building	Vecchia costruzione	Edificação que data de longo tempo.
Construção civil	Obras públicas	Civil works	Lavori di costruzione	É a confecção de qualquer obra seja urbana ou rural com responsáveis técnicos da qual participam arquitetos, engenheiros civis ou técnicos autorizados para a construção da obra.
Construir	Construir	Build	Costruire	Ato de edificar, fabricar.
Contabilidade	Contabilidad	Accounting	Contabilità	Repartição ou serviço encarregado de escriturar as receitas e despesas comerciais de uma empresa seja pública ou privada.
Contrato	Contrato	Contract	Contratto	Acordo, trato mediante o qual duas ou mais pessoas assumem certos compromissos ou obrigações, ou asseguram entre si algum direito. Também é o documento que se registra esse acordo.
Copiadora	Copiadora	Copier	Copista	Máquina de fazer cópias.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Cordel detonante	Cordón detonante	Detonating cord	Miccia detonante	É que um fino tubo reforçado, preenchido com um explosivo nitrado chamado PETN (Pentatritronitrato de tetranitroeritritol), que se apresenta na forma de um pó branco ou amarelo. O PETN queima a velocidades superiores a 6.000 m/s.
Cornija	Cornisa	Cornice	Cornice	Moldura que remata o entablamento de uma coluna. Ornatos salientes na parte superior de parede, porta, pedestal.
Coroa	Corona	Crown	Corona	Parte terminal da broca que entra em contato com a rocha e executa o trabalho de perfuração
Coroa abrasiva	Corona abrasiva	Abrasive crown	Corona abrasiva	Ferramenta de desbaste e polimento utilizada no beneficiamento secundário de rochas ornamentais.
Coroa diamantada	Corona de diamantes	Diamond wheel	Corona diamantata	Ferramenta que executa a perfuração com recuperação de testemunhos em rochas e possui diamantes industriais cravados na sua extremidade.
Corrida	Ley	Vein-cut	Secondo	Plano de corte do bloco seguindo a orientação dos minerais, perpendicular à estratificação, mais fácil de cortar.
Corrida da lâmina	Carrera del fleje	Running blade	Esecuzione di lama	É o movimento realizado pelo quadro de lâminas do tear multilâmina.
Cortadora de contorno	Cortadora de contorno	Countouring machine	Contornatrice	Equipamento que corta as chapas em círculo.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Cortadora de fio diamantado	Cortadora de hilo diamantado	Diamond wire cutter	Tagliatrice di filo diamantato	Equipamento utilizado para cortar fio diamantado.
Cortadora de rodapé	Cortadora para rodapié	Cutter footer	Taglierina piè di pagina	Equipamento utilizado para cortar rodapés.
Cortadora manual	Cortadora manual	Manual cutter	Taglierina manuale	Equipamento manual utilizado para fazer corte em chapas de rochas, pisos cerâmicos e porcelanatos etc.
Cortar com jato d'água	Cortar a chorro de agua	Water jet cutting	Tagliare a getto d'acqua	Sistema de corte formado por uma agulheta que projeta um fino e pressurizado jato de água misturada com um abrasivo.
Corte	Corte	Cut	Taglio	Processo de beneficiamento destinado a se obterem partes de uma chapa, com geometria definida, através do uso de ferramentas próprias.
Corte a seco	Corte en seco	Dry cutting	Taglio a secco	Quando no desdobramento da rocha não se utiliza água no processo de corte.
Corte a úmido	Corte en húmedo	Wet cutting	Taglia all'umidità	Quando no desdobramento da rocha se utiliza água no processo de corte com o objetivo de minimizar ou eliminar a geração de poeira e refrigerar o equipamento e insumo utilizados no processo.
Corte em ângulo	Corte em ángulo	Rake cut	Taglio obliquo	Corte feito com alguma angulação.
Corte horizontal	Corte horizontal	Horizontal cut	Taglio orizzontale	Corte feito no sentido horizontal.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Corte sob encomenda	Corte a medida	Cut to size	Tagliato a dimensione	Corte de dimensões especificadas pelo cliente.
Corte vertical	Corte vertical	Vertical cut	Taglio verticale	Corte feito no sentido vertical.
Crisotila	Crisotilo	Chrysotile	Crisotilo	Silicato de magnésio fibroso, branco, cinza ou esverdeado, do grupo das serpentinas. Ocorre em rochas metamórficas (xistos e serpentinitos).
Cristalização	Cristalización	Crystallization	Cristallizzazione	Formação de novos minerais em uma rocha por cristalização magmática ou metamórfica.
Cunha	Cuña	Wedge	Cuneo	Componente utilizado para tensionar a lâmina do tear.
Custo	Coste	Cost	Costo	Gasto econômico que representa a fabricação de um produto ou a prestação de um serviço.
Custo de mão de obra	Coste de la mano de obra	Labour costs	Costo della manodopera	É o valor gasto com pessoas para se efetuar algum trabalho.
Data de entrega	Fecha de entrega	Delivery date	Termine di consegna	É a data em que a mercadoria foi recebida no local de destino.
Data estimada de chegada	Fecha estimada de llegada	Estimated date of arrival	Arrivo previsto	É a data prevista da chegada da mercadoria ao local de destinado.
Data estimada de saída	Fecha estimada de salida	Estimated date of dispatch	Partenza prevista	É a data estimada de saída da mercadoria do local de entrega ou embarque da mesma.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Decantador	Decantadora	Decanter	Decantatore	Aparelho ou recipiente para fazer decantação.
Decantador, espessador	Decantador, espesador	Thickener	Addensatore	Equipamento para a separação de sólidos e líquidos. Utilizado para separar o pó de rocha da água no beneficiamento.
Decapeamento	Desmonte	Stripping	Spogliarello	Retirada de solo e material não aproveitável em mina ou pedreira, para se chegar ao minério ou rocha de interesse econômico.
Decomposição	Descomposición	Decomposition	Decomposizione	Desintegração das rochas por desagregação dos minerais.
Decoração	Decoración	Decoration	Decorazione	Ornamentação ou embelezamento de ambientes ou objetos.
Defeito	Defecto	Defect	Difetto	Imperfeição.
Degrau	Peldaño	Step	Scalino	Cada uma das partes da escada em que se põe o pé quando se sobe ou desce ou soleira de porta que não está ao mesmo nível do exterior.
Demanda	Demanda	Demand	Domanda	Quantidade de um determinado produto ou serviço que uma coletividade está necessitando e procurando, ou que, por previsões, se avalia que ela necessitará e procurará em certa data.
Depósitos de rejeitos	Escombrera	Waste pile	Area di scaricatura	Local de depósito onde são lançados os materiais que não foram aproveitados no processo produtivo.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Desagregação	Desagregación	Disaggregation	Disgregazione	Separação dos minerais de uma rocha por intemperismo ou alteração dos minerais.
Desbaste	Desbaste	Thinning	Assottigliamento	Remoção de saliências mais proeminentes de uma chapa representando a primeira fase do processo de polimento.
Descarregar	Descargar	Unload	Scaricare	É o ato de retirar a carga de um determinado local.
Descontinuidades	Discontinuidades	Discontinuities	Discontinuità	Referem-se a quaisquer estruturas geológicas que interrompam ou possam interromper – quando submetidas a certas cargas – a continuidade física da rocha. Englobam juntas, falhas, fraturas, fissuras etc.; e planos de fraqueza em acamamentos, bandamentos, foliações, lineações e outros.
Desconto	Descuento	Disccount	Sconto	Reduzir, diminuir alguma coisa ou valor.
Desgaste	Desgaste	Wear	Usura	Dano a uma superfície sólida envolvendo perda de material.
Diabásio	Diabasa	Diabase	Diabase	Rocha subvulcânica de granulação fina a média, constituída essencialmente por plagioclásio cálcico e piroxênios. Correspondente ao subvulcânico do gabro e do basalto.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Diaclase	Diaclasa	Diaclase	Diaclase	Fratura que divide em duas partes uma rocha sem que as paredes se afastem horizontalmente uma da outra.
Diagrama	Diagrama	Diagram	Diagramma	Representação gráfica de alguma ideia por meio de figuras geométricas.
Diâmetro	Diámetro	Diameter	Diametro	Comprimento de uma linha reta que passa pelo centro de um círculo ou de uma esfera e que toca seus limites.
Diâmetro do furo	Diámetro del barreno	Hole diameter	Diametro del foro	Diâmetro mínimo verificado após a execução do furo.
Dilatação térmica	Dilatación térmica	Thermal dilation	Dilatazione termica	Aumento do volume de um corpo quando aquecido.
Dimensão	Dimensión	Dimension	Dimensione	Medida, tamanho.
Dinamite	Dinamita	Dynamite	Dinamite	Artefato explosivo à base de nitroglicerina contendo terra diatomácea (dióxido de silício em pó) ou outro material absorvente.
Diopsídio	Diópsido	Diopside	Diopside	Variedade de piroxênio com cálcio e magnésio, podendo conter ferro, com forma prismática, maciça, lamelar ou granular e cor variando de branco a verde. Comum em rochas metamórficas, como mármore, e em alguns tipos ígneos.
Diorito	Diorita	Diorite	Diorite	Rocha magmática de granulação média, constituída por plagioclásio intermediário, hornblenda, biotita e pouco quartzo (< 5%).

Português	Español	English	Italiano	Definição
Direitos de alfândega	Derechos de aduana	Customs duties	Dazi doganali	Direito de fiscalização que a alfândega possui de intervir na importação e exportação de mercadorias.
Disco diamantado	Disco de diamante	Diamond disc	Disco di diamante	Ferramenta circular diamantada utilizada para efetuar corte de chapas de rochas ornamentais transformando em produto final.
Dolomita	Dolomita	Dolomite	Dolomite	Carbonato de cálcio e magnésio, geralmente incolor ou branco, sendo o constituinte essencial de dolomitos e podendo estar presente em algumas variedades de mármore.
Dolomito	Dolomita	Dolomite	Dolomite	Rocha sedimentar de granulação fina a média, constituída predominantemente de dolomita (carbonato de cálcio e magnésio).
Dumortierita	Dumortierita	Dumortierita	Dumortierita	Silicato de alumínio e boro, fibroso a maciço, azul ou violeta, de brilho vítreo a nacarado.
Duplicata	Pagaré	Trade note	Tratta	Título de crédito, negociável, pelo qual o comprador se obriga a pagar no prazo estipulado a importância da fatura.
Dureza	Dureza	Hardness	Durezza	Resistência a deformações permanentes.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Efluentes	Efluentes	Sewage	Acque di scarico, acque di rifiuto	São produtos líquidos ou gasosos oriundos das indústrias ou esgotos domésticos lançados no meio ambiente.
Elasticidade	Elasticidad	Elasticity	Elasticità	Propriedade que os materiais (rocha, mineral ou produto artificial) deformados apresentam de recuperar a forma quando as tensões deformantes tiverem sido retiradas ou diminuídas.
Elevador de ventosa	Elevador de ventosa	Suction lift	Sollevatore a ventosa	Sistema de elevação por sucção com ventosas, utilizado para movimentar chapas.
Embarcador	Embarcador	Shipper	Spedizionere	Parte que embarca uma determinada carga, conforme mencionado no conhecimento de transporte.
Empilhadeira	Torito	Fork lift	Carello	Máquina utilizada para carregar e descarregar produtos em palets.
Enceradeira	Enceradora	Waxing machine	Ceratrice	Equipamento utilizado para encerar as chapas de rochas ornamentais após o processo de polimento.
Enchimento de isopor	Cacahuets de polyspan	Peanut fill	Polistirolo espanso per imballaggio	É um enchimento utilizado em lajes para aplicação em obras de concreto armado e alvenaria estrutural. Funciona como excelente isolante térmico e acústico.
Encomenda	Encargo	Order	Incarico	É o ato de encomendar, fazer um pedido.
Engate	Enganche	Coupling	Coppia	É um acessório utilizado para engatar um objeto a outro.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Engrenagem	Engranaje	Gearing	Ingranaggio	É um elemento mecânico composto de rodas dentadas que se ligam a um eixo o qual imprime movimento.
Ensaio de carga	Ensayo de carga	Load test	Prova di carico	É a aplicação de uma carga à estrutura em estudo.
Ensaio de resistência à abrasão	Ensayo de resistencia a la abrasión	Abrasion resistance test	Prova di resistenza all'abrasione	Este ensaio tem por objetivo verificar as modificações sofridas pelo material após o desgaste em presença de areia normatizada avaliando sua capacidade de resistência à remoção progressiva dos constituintes de sua superfície.
Ensaio de resistência ao deslizamento	Ensayo de resistencia al deslizamiento	Slip resistance test	Prova di resistenza allo scivolamento	Ensaio que permite avaliar a aderência da superfície a ser ensaiada.
Ensaio	Ensayos	Tests	Prove	São procedimentos normatizados que tem a finalidade de verificar as características tecnológicas das rochas ornamentais.
Envelhecer	Envejecer	Age	Invecchiare	É o procedimento de envelhecimento de rochas ornamentais com produtos próprios.
Envelhecido	Envejecido	Aged	Invecchiato	Acabamento obtido do processo de envelhecimento.
Envelopamento	Recubrimiento con resina	Resin infusion	Infusione di resina	Consiste em envolver o bloco com resina e tela com o objetivo de conferir resistência ao bloco para o processamento.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Epídoto	Epidota	Epidote	Epidoto	Silicato de cálcio, alumínio e ferro, prismáticos ou como grãos e massas, com cor verde a amarelada. Comum em rochas metamórficas (gnaiesses, mármore e xistos), podendo ocorrer como acessório em rochas ígneas.
Equipamento	Equipo	Equipment	Attrezzatura	São instrumentos necessários para a realização de um trabalho.
Escavação	Excavación	Excavation	Scavo, scavazione	Ato de retirar um volume de terra de um local.
Escovação	Cepillado	Brushing	Spazzolato	Tratamento superficial da chapa realizado por escovas diamantadas que imprimem a rocha aspecto rústico.
Escultura	Escultura	Sculpture	Scultura	Arte de moldar ou talhar diversos tipos de materiais como madeira, argila, rochas ornamentais, dentre outros.
Espaçamento de furos	Distancia entre agujeros	Hole spacing	Distanza tra i fori	Distância entre furos de uma mesma linha.
Espessura	Espesor	Thickness	Spessore	Largura, grossura.
Espurgo	Purga	Purge	Purga	Processo de retirada da porção de lama abrasiva que apresenta a granalha sem poder de corte.
Esquadrejadora	Escuadradora	Squaring machine	Squadatrice	Equipamento utilizado para obter o paralelismo e esquadrejamento perfeito dos 4 lados de um bloco.
Esquadrejamento	Cuadratura	Squaring	Squadratura	Processo de corte de uma chapa de rocha ornamental em ladrilhos.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Esquadrear os blocos	Cuadrar los bloques	Block squaring	Squadrare i blocchi	Operação pela qual os blocos de rochas desmontadas são levados a adquirir forma regular e dimensões normalizadas.
Estátua	Estatua	Statue	Statua	Obra de escultura de relevo.
Esteatito	Esteatita	Steatite	Steatite	Rocha metamórfica magnésiana, de granulação fina, estrutura maciça, essencialmente constituída por talco. Também denominada pedra-sabão.
Estereotomia	Estereotomía	Stereotomy	Stereotomia	Refere-se ao estudo minucioso das formas das pedras, através da análise das possibilidades de corte e entalhe pela geometria da peça.
Estéril	Estéril	Sterile	Sterile	Termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico.
Estrutura	Estructura	Structure	Struttura	Refere-se aos aspectos morfológicos das rochas, tais como disposição em camadas, foliações, xistossidades, lineações, vesiculação e outras devidas a dobramentos, falhamentos e fraturamentos. A estrutura também pode ser utilizada para designar, de maneira genérica, tipos de textura.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Estucagem	Estucado	Plastering	Stucco	Processo de acabamento superficial que consiste no preenchimento de fraturas existentes na chapa a partir de uma mistura composta por resina e pó oriundo da própria rocha.
Estudo de viabilidade	Estudio de viabilidad	Feasibility study	Studio di fattibilità	Estudo detalhado do projeto suficiente para permitir a previsão de custos e prazos das diversas alternativas.
Exaustão	Agotamiento	Exhaustion	Esaurimento	Esgotamento da jazida.
Exploração	Exploración	Exploração	Esplorazione	Procedimentos utilizados para localizar e dimensionar uma ocorrência mineral com vista a determinar a sua economicidade. O mesmo que pesquisa.
Explosão	Explosión	Explosion	Esplosione	Ação ou efeito de explodir, estourar violentamente liberando grande quantidade de energia.
Explosivo	Explosivo	Explosive	Esplosivo	Substância ou conjunto de substâncias que podem sofrer o processo de explosão em um curto espaço de tempo, liberando grande quantidade de gases e calor.
Exploração	Explotación	Exploitation	Estrazione	Termo técnico utilizado para a retirada, extração ou obtenção de recursos naturais, geralmente não renováveis, para fins de aproveitamento econômico.
Exportação	Exportación	Export	Esportazione	É o ato de exportar mercadoria para outro país.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Exposição	Exposición	Exhibition	Esposizione	Local onde as mercadorias ficam expostas à visitação.
Expositor	Expositor	Exhibitor	Espositore	Pessoa que expõe, que participa de uma exposição.
Extração	Extracción	Extraction	Estrazione	O mesmo que exploração.
Fachada	Fachada	Façade	Facciata	Cada uma das faces externas de qualquer construção.
Faixas	Bandas	Strips	Striscie	O mesmo que tabeira. Na composição de pisos em mármore ou granito, moldura que contorna o ambiente.
Fatura proforma	Factura proforma	Proforma invoice	Fattura proforma	É o registro das condições do negócio, isto é, inclui informações como características da mercadoria exportada, condições e forma de pagamento. Serve para fins de cotação e dá condições para que seja gerada a fatura comercial.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Feira	Feria	Fair	Fiera	Exposição de mercadorias e serviços com o fim de negociação dos mesmos.
Feldspato	Feldespatos	Feldspar	Feldspato	Mineral composto por aluminossilicatos de sódio, potássio e cálcio em proporções variadas. Pode-se considerar dois subgrupos: o dos feldspatos potássicos, tais como o ortoclásio, microclínio, anortoclásio e sanidina, e o grupo dos plagioclásios, que representam a série de solução sólida entre albita e anortita.
Feldspatoides	Feldespatoides	Feldspatoids	Feldspatoides	Grupo de minerais (aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio) semelhantes aos feldspatos, porém deficientes em sílica (SiO ₂). Representam minerais raros, formadores de rochas, e entre eles pode-se citar: leucita, nefelina, cancrinita, sodalita, haüyna e melilita.
Ferramenta	Herramienta	Tool	Utensile	Equipamento necessário para realização de algum trabalho.
Ferrovia	Ferrocarril	Railroad	Ferrovia	Estrada de ferro. Via férrea.
Filete	Filete	Fillet	Filetto	O mesmo que baguete.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Filtro	Filtro	Filter	Filtro	Camada ou combinação de camadas de materiais permeáveis, projetada e colocada de maneira a evitar o carreamento de partículas de solo sob o efeito de percolação d'água.
Filtro prensa	Filtro prensa	Press filter	Filtro pressa	Máquina utilizada para a retirada da água da lama abrasiva com objetivo de um melhor acondicionamento dos resíduos das etapas de beneficiamento.
Finalização, acabamento	Finalización, acabamiento	Finishing	Finitura	Processo final do beneficiamento secundário removendo todos os vestígios das fases anteriores do processamento da rocha, tornando-a pronta para a comercialização.
Fio diamantado	Hilo diamantado	Diamond wire	Filo diamantato	Insumo utilizado para os cortes primário e secundário na pedreira, bem como para o desdobramento de blocos. É composto por um cabo de aço, plastificado ou vulcanizado, contendo pérolas diamantadas espaçadas homogeneamente ao longo de sua extensão.
Fissura	Fisura	Fissure, crack	Fessura, crepa	É uma rachadura, quebra ou fratura nas rochas. Uma descontinuidade do maciço rochoso.
Fixação, ancoragem	Fijación, anclaje	Fixing, anchoring	Ancoraggio	Ato de fixar por meio de cordas, cabos de aço e vergalhões, propiciando segurança e estabilidade.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Flame-jet	Lanza térmica	Flame jet	Flame jet	Tecnologia de corte através de jato de fogo.
Flameado	Flameado	Flamed	Fiammato	Aspecto superficialmente rugoso das chapas de rochas ornamentais após processo de desagregação dos grãos por meio de choque térmico.
Flameadora	Flameadora	Flameadora	Fiammatrice	Equipamento para fazer flameado.
Floculante	Floculante	Floculant	Flocculante	Reagente químico adicionado a fim de agregar as partículas em flocos ou para aumentar a dimensão ou a coesão dos flocos.
Fluorita	Fluorita	Fluorite	Fluorite	Fluoreto de cálcio de cor variável, com forma cúbica e maciço. Ocorre com relativa frequência como mineral acessório em granitos e sienitos.
Fogo	Voladura	Blast	Volata	Operação, no processo de extração, planejada para corte com uso de produtos explosivos.
Folheto, folder	Folleto	Brochure, leaflet	Prospetto	Encarte ou panfleto constituído de poucas páginas geralmente utilizado para fazer propagandas promocionais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Foliação	Foliación	Foliation	Foliazione	Estrutura planar resultante da orientação e achatamento dos constituintes minerais. Usualmente engloba diferentes tipos de estruturas condicionadas pela natureza da rocha e deformações posteriores.
Forno	Horno	Oven	Forno	Máquina utilizada para acelerar a cura da resina disposta sobre as chapas.
Fóssil	Fósil	Fossil	Fossile	Resto ou vestígio de animal ou planta que existiu em épocas anteriores à atual. Presta-se ao estudo da vida no passado, da paleogeografia e do paleoclima, sendo utilizado ainda na datação e correlação das camadas que os contêm.
Fragmento	Fragmento	Fragment	Frammento	Parte de um todo, fração.
Fresa	Fresa	Milling tool	Fresa	Máquina monolâmina, de configuração variável, para corte de blocos.
Fresa ponte	Cortadora de puente	Bridge saw machine	Fresatrice a ponte	É uma máquina utilizada para o corte de granito e de peças sob medida, tais como bancadas, escada, soleiras, entre outras.
Fresadora	Contorneadora	Milling machine	Contorneadora	Máquina para fazer cortes ou ranhuras em chapas.
Frete aéreo	Carga aérea	Air freight	Nolo aereo, carico aereo	Deslocamento de mercadoria efetuado via transporte aéreo. Pode ser utilizado também como o valor desse transporte.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Frete marítimo	Carga marítima	Ocean freight	Nolo marittimo, carico marittimo	Deslocamento de mercadoria efetuado via transporte marítimo. Pode ser utilizado também como o valor desse transporte.
Frete, carga	Carga	Freight, load	Carico	É o valor que se paga pelo transporte de alguma mercadoria.
Friável	Friable	Friable	Friabile	De fácil desagregação.
Frontão	Frontón	Gable	Frontone	São as peças colocadas atrás das bancadas ou lavatórios.
Fronteira	Frontera	Border	Frontiera	É o limite entre duas partes distintas.
Fundação	Fundación	Foundation	Fondazione	Conjunto de estacas e sapatas responsável pela sustentação de uma obra.
Fundo furo	Barreno horizontal	Bottom hole	Foro inferiore	Perfuração no sentido horizontal que permite a passagem do fio diamantado para dar início ao corte.
Furadeira	Taladradora	Drilling machine	Perforatrice	Equipamento utilizado para fazer furos.
Furo de fixação	Agujero de anclaje	Anchor hole	Foro di ancoraggio	Furo realizado para que se possa fixar algo.
Furo guia	Barreno guía	Bore guide	Foro di guida	Furo realizado na rocha para passagem do fio diamantado. Exige exatidão na locação e na execução.
Gabarito	Plantilla	Template	Sagoma	Acessório utilizado para medir desgastes da coroa da broca (da pastilha).

Português	Español	English	Italiano	Definição
Gabro	Gabro	Gabbro	Gabbro	Rocha magmática de granulação média a grossa, essencialmente constituída por plagioclásio cálcico e piroxênio, determinando texturas subofíticas a ofíticas. Pode conter teores variáveis de olivina.
Gancho	Gancho	Hook	Gancio	Haste geralmente curva e pontiaguda usada para suspender peso.
Ganho, lucro	Lucro	Profit	Profitto	É a vantagem que se obtém em uma negociação comercial após descontado todas as despesas.
Garantia	Garantía	Guarantee	Garanzia	Em termos comerciais é a segurança e a responsabilidade assumida pelo vendedor de entregar a mercadoria isenta de defeitos e em condições de funcionamento ao comprador.
Garantir	Garantizar	Guarantee	Garantire	Abonar, responsabilizar-se.
Geografia	Geografía	Geography	Geografia	É a ciência que estuda a relação entre a Terra e seus habitantes.
Geologia	Geología	Geology	Geologia	É a ciência que estuda a Terra, sua composição, estrutura, propriedades físicas e a história de suas formas.
Geólogo	Geólogo	Geologist	Geologo	Profissional que estuda a geologia.
Gesso	Yeso	Plaster	Gesso	Mineral composto principalmente por sulfato de cálcio hidratado (CaSO ₄ .2H ₂ O) e produzido a partir do mineral gipsita.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Gipso	Yeso	Gypsum	Gesso	Sulfato hidratado de cálcio, geralmente de cor branca ou incolor, com aspecto fibroso, micáceo, lamelar. É o mineral constituinte essencial da rocha alabastro. Também conhecida como gipsita.
Girabrequim	Cigüeñal	Crankshaft	Albero a gomiti	Peça de qualquer motor à explosão movimentada pelas bielas dos pistões.
Girar	Girar	Turn	Girare	Dar voltas ou giros, circular.
Gnaisse	Gneis	Gneiss	Gneiss	Rocha metamórfica de granulação média a grossa, bandada irregularmente.
Granada	Granate	Garnet	Granato	Grupo de minerais silicáticos que podem conter cálcio, ferro, magnésio, manganês, alumínio e cromo. Apresentam brilho vítreo, coloração vermelha e, em geral, são quebradiços. Ocorrem principalmente em rochas metamórficas, podendo estar presentes em alguns tipos ígneos.
Granalha	Granalla	Grit	Graniglia	Elemento abrasivo utilizado para desdobrar o bloco em chapas, em equipamentos denominados teares multi-lâmina.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Granito	Granito	Granite	Granito	Rocha magmática de granulação média a grossa, constituída por quartzo e feldspatos (feldspato potássico e plagioclásio) e, acessoriamente, por biotita, muscovita, anfibólios e raramente piroxênios.
Granodiorito	Granodiorita	Granodiorite	Granodiorite	Rocha magmática de granulação média a grossa, constituída essencialmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico. Pode conter teores variáveis de biotita, hornblenda e, mais raramente, piroxênios.
Granulito	Granulita	Granulite	Granulite	Rocha metamórfica de granulação média a grossa, por vezes plano-foliada, de composição feldspática, com ou sem quartzo, e caracteristicamente contendo minerais ferromagnesianos (piroxênios e granadas).
Gravadora	Grabadora	Engraver	Incisore	Equipamento utilizado para fazer gravuras.
Gravar	Grabar	Engrave	Incidere	Reproduzir uma imagem ou desenho sobre uma matriz sólida.
Gravura	Grabado	Engraving	Incisione, incavato	É uma imagem representando algo, como pintura, desenho etc.
Grua	Grúa	Derrick	Gru	Equipamento utilizado para erguer e carregar materiais pesados. O mesmo que guindaste.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Guia, meio-fio	Bordillo	Kerb	Cordolo	É a peça de pedra ou de concreto que delimita a calçada da rua.
Guindaste	Grúa	Crane	Gru	Maquinário destinado a levantar grandes pesos. Mesmo que grua.
Hidrorrepelente	Hidrorrepelente	Water-repellent	Idrorepellente	Produto aplicado em determinadas superfícies tornando-a repelente à água.
Higroscópio	Higroscópico	Hygroscopic	Igroscopico	Que absorve a umidade do ar.
Hiperstênio	Hiperstenio	Hypersthene	Hiperstenio	Variedade de piroxênio constituída por magnésio e ferro, raramente em cristais com forma prismática. Apresenta-se em tom acinzentado, amarelado, ou branco esverdeado ao verde oliva e pardo. É um constituinte essencial de charnockitos.
Hornblenda	Hornblenda	Hornblende	Orneblenda	Este termo refere-se a um grupo de anfibólios com proporções variáveis de cálcio, sódio, magnésio, ferro e alumínio. Geralmente ocorrem com tonalidades do verde-escuro ao negro, com aspecto fibroso ou granular. É um mineral amplamente distribuído, sendo o constituinte principal do anfibolito. Ocorre também em outras rochas metamórficas (gnaisses, por exemplo) e em rochas graníticas.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Ilmenita	Ilmenita	Ilmenite	Ilmenite	Óxido de ferro e titânio, de cor preta, usualmente maciço e compacto, ou ainda sob a forma de grãos em arenitos. É relativamente comum em rochas ígneas.
Impermeabilidade	Impermeabilidad	Impermeability	Impermeabilità	É a capacidade que a rocha apresenta em não absorver ou absorver pouca água, evitando assim, o aparecimento de manchas. Essa capacidade pode ser natural da rocha ou através de aplicação de película protetora que cobre a superfície do material.
Inflamabilidade	Inflamabilidad	Inflammability	Infiammabilità	Facilidade com que o explosivo pode ser iniciado pelo fogo ou calor.
Intemperismo	Intemperismo, Meteorización	Weathering	Degradazione meteorica	Conjunto dos processos de natureza física, química ou biológica que atuam na superfície terrestre e que levam à desintegração e decomposição química das rochas e minerais.
Intemperismo físico	Intemperismo físico	Physical weathering	Degradazione fisica	Consiste em uma série de processos acumulativos que culminam na quebra mecânica (fraturamento) das rochas e sua desintegração.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Intemperismo químico	Intemperismo químico	Chemical weathering	Degradazione chimica	Processo de decomposição dos minerais e formação de novos produtos (por exemplo, argilominerais), mais estáveis na zona de intemperismo.
Jateado com areia	Arenado	Sandblasted	Sabbiato	Tipo de acabamento elaborado a partir de aplicação de jatos de areia na superfície das chapas de rochas ornamentais, criando um aspecto opaco.
Jateadora	Arenadora	Sandblaster	Sabbiatrice	Equipamento para fazer jateado.
Jateamento	Arenado	Sandblasting	Sabbiatura	Processo de beneficiamento usado para a obtenção de rugosidade superficial por meio de impacto por elemento abrasivo.
Jazida	Yacimiento	Deposit	Giacimento	É toda massa individualizada de substância mineral ou fóssil, de valor econômico, aflorando à superfície ou existente no interior da terra
Lado do bloco	Cara del bloque	Block side	Lato del blocco	São as laterais do bloco (comprimento e altura).
Lado posterior da chapa	Cara posterior del tablero	Back side of the slab	Lato posteriore della lastra	Lado contrário ao lado a ser polido.
Ladrilho	Baldosa	Tile	Piastrella	Componente com geometria e dimensões padronizadas, obtido de uma chapa.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Laje	Losa	Slab	Massello	Corpo rochoso, em estado natural, com comprimento e largura acentuadamente maiores que a espessura.
Lajota	Plaqueta	Tile	Mattonella	São tijolos finos utilizados em lajes e pisos. Bloco de barro, moldado e cozido, geralmente em forma de paralelepípedo, que se emprega nas construções.
Lama abrasiva	Mezcla abrasiva	Abrasive slurry	Torbida abrasiva	Mistura constituída por água, fragmentos de rocha, cal (ou bentonita) e granelha utilizados na serragem dos blocos. Também conhecida como polpa abrasiva.
Lama prensada	Tortas sólidas	Solid cakes	Fango pressato	Lama após ser desidratada no filtro prensa.
Lâmina	Fleje	Blade	Lama	Insumo que propicia o corte das rochas, no processo de desdobramento dos blocos em chapas, em equipamentos denominados teares multilâmina, normalmente utilizados para el corte de granitos comerciais.
Lâmina diamantada	Fleje diamantado	Diamond blade	Lama diamantata	Insumo com segmento diamantado que propicia o corte das rochas, no processo de desdobramento dos blocos em chapas, em equipamentos denominados teares diamantados, utilizados normalmente para o corte de mármore.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Lápide	Lápida	Tombstone	Lapide	Pequena placa de pedra com uma inscrição comemorativa muito usada em laje tumular.
Largura da máquina	Anchura de la máquina	Machine width	Larghezza macchina	Uma das medidas da máquina.
Largura útil de trabalho	Anchura útil de trabajo	Useful working width	Larghezza di lavoro utile	Medida útil para desenvolver um trabalho.
Lavatório	Lavabo	Washbasin	Lavabo	Recipiente de lavabo ou banheiro, feita de rocha, louça ou metal, com torneiras e ralos utilizado para lavar rosto e mão.
Lavra	Laboreo	Mining	Coltivazione	Conjunto de operações que são realizadas visando a retirada de determinado bem mineral.
Letra de câmbio	Letra de cambio	Bill of exchange	Cambiale	Também denominada de saque ou cambial, é o documento que o exportador, após o embarque da mercadoria, emite e encaminha a um banco no país do importador, juntamente com os documentos de embarque para que seja efetuado o pagamento da mercadoria.
Levante	Levante	Horizontal cut of the bench	Taglio orizzontale per isolare la bancata	Corte horizontal em maciço de rocha executado no processo de extração.
Levigado	Apomazado	Honed	Sabbiato	Semipolido, este tipo de acabamento dá um aspecto opaco às chapas de rochas ornamentais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Levigamento	Apomazado	Honing	Sabbiatura	Processo de desbaste com abrasivos de granulação entre 120 e 220 mesh com vista a preparar a chapa para a etapa de resinagem.
Lineações	Alineaciones	Lineations	Lineazioni	Englobam qualquer estrutura linear na rocha, como minerais alongados segundo as direções de deformação e outros. Termo geralmente utilizado para referir a estruturas lineares que não se caracterizam como foliações.
Lintel	Dintel	Lintel	Architrave	Travessa horizontal que sobrepõe uma abertura retangular.
Listello	Cenefa	Listel	Listello	Faixa padronizada com função decorativa, utilizada na composição de pisos de mármore e granitos.
Lixa abrasiva	Lija abrasiva	Abrasive pad	Carta abrasiva	Insumo utilizado para desbaste de superfícies.
Lustro	Brillo	Gloss	Glossa	Fase final do processo de polimento que consiste em conferir maior brilho à chapa.
Luva	Guante	Glove	Guanto	Peça que permite que as hastes sejam fixadas umas às outras, assim como ao punho.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Macaco hidráulico tipo almofada	Gato hidráulico tipo cojín	Hydraulic jack cushion type	Martinetto idraulico tipo cuscino	Equipamento usado para tombar blocos, que é constituído de um invólucro de borracha para alta pressão (tem na sua composição até uma malha metálica feita com fios de aço), que é introduzido no corte e no qual se injeta ar ou água a alta pressão, provocando seu aumento de volume, o que provoca o deslocamento do bloco.
Macaco hidráulico tipo hidrokypper	Mono hidrokypper tipo hidráulico	Hydraulic jack type hidrokypper	Scimmia hidrokypper tipo idraulico	Equipamento hidráulico especial para tombamento de blocos com dimensões de até 2,8/10/9 metros. Possui um ou mais cilindros hidráulicos que são introduzidos no corte e que quando se expandem deslocam o bloco.
Maciço	Macizo	Massif	Massiccio	Corpo rochoso contínuo, sem delimitação aparente.
Magnetita	Magnetita	Magnetite	Magnetite	Óxido de ferro de cor preta, comum na forma granular. Acessório em dioritos e granitos, rochas metamórficas e também em arenitos.
Manômetro	Manómetro	Manometer	Manometro	Aparelho usado na medição da pressão.
Mancal	Cojinete	Bearing	Cuscinetto	Uma das peças do tear responsável pelo movimento pendular das lâminas.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Mancha de umidade	Mancha de humedad	Wet spot	Macchia d'umidità	São manchas provenientes de infiltração.
Mandril	Mandril	Spindle	Mandrino	É um dispositivo ou acessório de máquina utilizado para segurar a peça a ser trabalhada.
Manilha	Argolla	Manila	Grillo	Tipo de argola feita com cabo de aço para suspensão de blocos.
Máquina de estucado	Estucadora	Filling machine	Stuccatrice	É o equipamento que corrige as irregularidades do material a ser resinado.
Marmoraria	Fábrica de piedra	Marble factory	Azienda di marmo	Unidade industrial voltada para a preparação de peças sob medida e prontas para serem utilizadas na construção civil.
Mármore	Mármol	Marble	Marmo	Rocha metamórfica constituída predominantemente de calcita e/ou dolomita recristalizados, de granulação fina a grossa, em geral com textura granoblástica.
Martelo	Martillo	Hammer	Martello	É o equipamento que faz a furação na pedreira para retirada dos blocos.
Martelo manual	Martillo manual	Manual hammer	Martello manuale	É o equipamento que faz furos nas pedreiras, porém em tamanhos menores. Muito utilizado em pesquisas de campo.
Martelo pneumático / perfuratriz	Martillo neumático / taladro	Pneumatic drill	Martello pneumatico/ perforatrice	Máquina de perfuração operado por ar comprimido utilizado nas pedreiras que auxilia a extração de blocos de rochas ornamentais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Matacão	Boulder	Boulder	Boulder	Bloco de rocha, compacto e geralmente arredondado, de diâmetro superior a 25,0 cm.
Meio ambiente	Medio ambiente	Environment	Ambiente	Conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas.
Mercado	Mercado	Market	Mercato	Referência convencional em relação à compra e à venda. Designação que se dá à oferta e à procura de mercadorias.
Mercadorias de qualidade	Mercancías de calidad	Quality goods	Merce di prima qualità	Atributo que se dá a uma mercadoria que está em conformidade a um certo padrão de perfeição.
Metaconglomerado	Metaconglomerado	Metaconglomerate	Metaconglomerato	Rocha metamórfica composta por seixos ou fragmentos rochosos heterogêneos, com dimensões superiores a 2 mm, em matriz silicosa e/ou ferruginosa ou carbonática.
Meteorização	Meteorización	Weathering	Meteorizzazione	Ver intemperismo.
Metro quadrado	Metro cuadrado	Square meter	Metro quadrato	É a unidade de medida de área. Simbolizado por m ² .

Português	Español	English	Italiano	Definição
Mica	Mica	Mica	Mica	Grupo de minerais placoides constituído por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio e, algumas vezes, lítio, titânio, cromo, manganês e flúor. Pode ser subdividido em dois grupos: o das micas potássicas ou micas brancas (muscovita, sericita) e o das micas ferromagnesianas ou micas negras (série biotita – flogopita). São frequentes em rochas ígneas e principalmente metamórficas.
Microclina	Microclino	Microcline	Microclino	Variedade de feldspato potássico, com formas tabulares, coloração branca a amarelo-pálido ou vermelha. Pode-se dizer que é o feldspato mais comum, ocorrendo em granitos, gnaisses e arenitos.
Migmatito	Migmatita	Migmatite	Migmatite	Rocha metamórfica de carácter híbrido, contendo porções metamórficas (normalmente de constituição gnáissica) e magmáticas (de composição granítica), caracterizada por estruturas movimentadas.
Mina	Mina	Mine	Miniera	Depósito mineral em lavra.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Mineração	Minería	Mining	Indústria minerária	Termo que abrange os processos, atividades e indústrias cujo objetivo é a extração de recursos minerais, a partir de depósitos ou massa minerais.
Minerais das rochas ígneas	Minerales de las rocas ígneas	Minerals of igneous rocks	Minerali di rocce ignee	(1) minerais essenciais: minerais predominantes e determinantes para a classificação das rochas; (2) minerais acessórios: minerais que ocorrem nas rochas em quantidades inferiores a 5% e não influenciam na sua classificação.
Mineral	Mineral	Mineral	Minerale	Elemento ou composto químico gerado por processos inorgânicos, de composição química definida, com estrutura cristalina interna ordenada, encontrado naturalmente na crosta terrestre.
Mineral acessório	Mineral acesorio	Accessory Mineral	Mineral accessorio	Minerais que ocorrem nas rochas em quantidades inferiores a 5% e não influenciam na sua classificação.
Mineral essencial	Mineral esencial	Essential mineral	Minerale essenziale	Mineral ou conjunto de minerais predominantes e essenciais em uma rocha e determinantes para a sua classificação.
Mineral primário	Mineral primario	Main Mineral	Minerale primario	Mineral formado a partir da cristalização de um magma, no caso das rochas ígneas, ou da cristalização metamórfica, no caso das rochas metamórficas.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Mineral secundário	Mineral secundario	Secondary mineral	Minerale secundario	Mineral que resulta da substituição de outro mineral previamente formado ou primário.
Mobília urbana	Mobiliario urbano	Urban furniture	Arredo urbano	Conjunto de elementos localizados em logradouros e locais visíveis e que complementam as funções de habitar, trabalhar, circular e recrear. Ex.: monumentos, chafarizes, hidrantes etc.
Modalidade de pagamento	Formas de pago	Payment terms	Modalità de pagamento	São as condições de pagamento referentes à compra de mercadoria.
Modelo	Plantilla	Pattern	Disegno	É uma forma que serve como base para fabricação de outras peças iguais.
Moitões	Pescantes	Davits	Gruette	Peça de madeira ou metal, constituída de uma ou duas faces ovais ou elípticas atravessada por um eixo, sendo às vezes providas de uma roldana e alça de ferro e que serve para levantar pesos e mecanismos.
Moldura	Marco	Frame	Incastonatura	Parte fixa das portas ou janelas que garante o vão e recebe as dobradiças.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Monofio	Monohilo	Monowire	Monofilo	Equipamento dotado de uma trave metálica e um conjunto de polias que possibilita o giro de um fio diamantado. É geralmente usado para conferir um melhor acabamento das faces longitudinais de um bloco com objetivo de otimizar o espaço que o mesmo ocupará no tear.
Monolâmina	Monofleje	Monoblade	Monolama	Equipamento com apenas uma lâmina.
Monzogranito	Monzogranito	Monzogranite	Monzogranito	Granito em que feldspatos potássico e plagioclásio estão presentes em quantidades semelhantes.
Monzonito	Monzonita	Monzonite	Monzonite	Rocha magmática de granulação média a grossa, caracterizada por possuir quantidades aproximadamente iguais de feldspato potássico e plagioclásio, e menos de 10% de quartzo. Minerais menos frequentes são biotita, piroxênios e anfibólios.
Mosaico	Mosaico	Mosaic	Mosaico	Técnica artesanal decorativa formada por fragmentos de materiais diversos como vidro, cerâmica, rocha ornamental etc.
Motor	Motor	Engine	Motor	É todo aparelho destinado a transformar uma energia de certa espécie em energia mecânica.
Motor elétrico	Motor eléctrico	Electric engine	Motore elettrico	É um motor movido a eletricidade.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Multidisco	Desdobladora	Multidiscs	Multidischi	É uma máquina com vários discos utilizados para efetuar o corte de chapas.
Multifio	Multihilo	Multiwire	Multifilo	Tipo de tear composto por fios diamantados utilizado para a serragem de blocos de rochas ornamentais transformando-os em chapas.
Muscovita	Moscovita	Muscovite	Muscovite	Mineral do grupo das micas, rico em potássio e alumínio, transparente e incolor, disposto em folhas muito finas. Comum em rochas ígneas (principalmente granitos), metamórficas (gnaisses e xistos) e sedimentares (arenito).
Natureza das rochas	Naturaleza de las rocas	Nature of the rocks	Natura delle rocce	Refere-se a origem ou gênese da rocha.
Nefelina	Nefelina	Nepheline	Nefelina	Feldspatoide mais comum, composto por sódio e potássio, e caracterizado sobretudo por seu brilho graxo. Ocorre tipicamente em sienitos.
Nitropenta	Pentrita	PENTA	Pentrite	Tetranitrato de Pentaeritrol é um dos mais poderosos explosivos conhecidos. Sendo um explosivo extremamente seguro, tem grande aplicação tanto para fins militares como civis, sendo utilizados na construção de cordéis detonantes.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Nota fiscal	Factura	Invoice	Fattura	É um documento fiscal obrigatório que comprova a venda da mercadoria e por conseguinte, a transferência do bem adquirido da empresa vendedora para o comprador.
Número do pedido	Número de pedido	Order number	Numero d'ordine	É o número de identificação do pedido de mercadoria ou serviço.
Oligoclásio	Oligoclasa	Oligoclase	Oligoclase	Silicato de sódio, cálcio e alumínio do grupo dos plagioclásios, podendo ser incolor, branco, cinzento, amarelado ou mais raramente vermelho-carne, geralmente com forma tabular. Ocorre em rochas ígneas e metamórficas.
Olivina	Olivino	Olivine	Olivina	Grupo de silicatos ferro-magnesianos, de cor típica verde-escura ou marrom, tendo como principais representantes a forsterita e a faialita. Mineral característico de rochas ultrabásicas, como constituinte essencial ou acessório.
Opaco	Opaco	Opaque	Opaco	Material natural ou artificial que não deixa passar a luz, ou seja não transparente.
Ortoclásio	Ortoclasa	Orthoclase	Ortoclasio	Variedade de feldspato potássico, incolor, branco, amarelo, vermelho-carne ou cinzento, com forma tabular. Ocorre em granitos, sienitos, gnaisses e algumas rochas sedimentares.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Oxidação	Oxidación	Oxidation	Ossidazione	Ferrugem. Processo químico em que se perde o brilho pelo efeito do ar ou por processos industriais.
Pá escavadeira	Pala excavadora	Shovel excavator	Escavatore	São máquinas que fazem escavação ou serviço de carregamento utilizadas em obras de terraplenagem para remoção de terra ou em mineração carregando rocha, brita, areia, minérios em geral.
Pagamento na entrega	Pago contra entrega	C.o.d. (cash on delivery)	Contassegno	É a condição de pagamento na qual este é efetuado no ato da entrega da mercadoria.
Pagamentos a receber	Cobros pendientes	Receivables	Crediti	Valores a receber de clientes referente a venda de mercadorias.
Paletizadora	Paletizador	Palletizer	Palettizzatore	Máquina utilizada na fabricação de pallets.
Pallet	Palet	Pallet	Pallet	São estruturas de madeira onde são colocadas os produtos acabados e que facilitam o manuseio dos mesmos.
Pantógrafo	Pantógrafo	Pantograph	Pantografo	É uma aparelho utilizado para fazer ou transferir figuras. Pode executar ampliação ou redução nas proporções desejadas.
Parafuso	Tornillo	Screw	Vite	Peça metálica feita de material resistente em formato cônico espiral.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Paralelepípedo	Adoquín	Cobblestone, paving stone	Cubetti	Pedra de formato paralelepípedo em tamanho adequado para pavimentação. Também chamado de paralelo ou macaco.
Pastilhas	Pastillas	Segments	Segmenti	Pequenas peças usadas para fazer revestimentos e também em mosaicos.
Patente	Patente	Patent	Brevetto	É uma concessão pública conferida pelo estado que garante ao seu titular a exclusividade de explorar comercialmente a sua criação ou evento.
Pátio	Patio	Courtyard	Cortile	Espaço descoberto no interior das casas e indústrias cercados pelos elementos da construção.
Pau de carga	Pequeña grua	Small Derrick	Derrick	Grua rústica feita de madeira ou tubo mecânico usada para içar blocos.
PCM	PCM	CFM	PCM	Medida de vazão. Pés cúbicos por minuto.
Pedido, solicitação	Pedido, solicitud	Request	Richiesta	É o ato de requerer algo.
Pedra	Piedra	Stone	Pietra	Porção de rocha.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pedra Cariri	Piedra Cariri	Stone Cariri	Pietra Cariri	Rocha sedimentar do tipo calcário, com cores que variam do bege ao marrom e do cinza-claro ao cinza-azulado. Possui estrutura tabular, sendo aproveitada sob a forma de placas recortadas em lajotas ao natural, regulares ou não, para revestimento de muros, paredes ou pisos, de interiores ou exteriores, e ainda como elementos decorativos (tampos de mesa, balcões).
Pedra Goiás, pedra goiana ou pedra Pirenópolis	Piedra Goiás, piedra o piedra Goiás Pirenópolis	Stone Goiás, Goiás stone or stone Pirenópolis	Pietra Goiás, Goiás pietra o pietra Pirenópolis	Rocha com características e usos similares aos da pedra São Tomé, incluindo variedades esverdeadas.
Pedra Lagoa Santa	Piedra de Lagoa Santa	Stone Lagoa Santa	Pietra Lagoa Santa	Rocha metamórfica assemelhada ao mármore, com padrões cromáticos mais comuns acinzentados, e variações esverdeadas, azuladas ou amareladas. Possui estrutura placoide, sendo aproveitada na forma de lajotas regulares e ao natural, para revestimento de muros, ou pisos e paredes, de interiores ou exteriores.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pedra mineira ou Pedra São Tomé	Piedra minera o Piedra de San Tomé	Minas' Stone or São Tomé stone	Pietra di Minas o Pietra São Tomé	Rocha metamórfica do tipo quartzito, com coloração variada, esbranquiçada, amarelada ou rosada. É coesa, não escamável ou friável, resistente à abrasão, com média absorção d'água e baixa condutividade térmica, além de antiderrapante. Possui estrutura tabular, o que permite seu deslocamento e aproveitamento no revestimento de muros, ou pisos e paredes, principalmente de exteriores, sob a forma de lajotas, regulares ou não, quase sempre ao natural, embora existam variações que suportem polimento.
Pedra Miracema ou pedra Paduana	Miracema piedra o piedra Paduana	Miracema stone or stone Paduana	Miracema pietra o pietra Paduana	Rocha metamórfica do tipo gnaisse, de cor predominante cinza, estrutura bandada e placoide, média resistência mecânica, elevada resistência ao intemperismo, alta condutividade térmica e propriedades antiderrapantes. Permite deslocamento e é empregada na forma de lajotas ou blocos regulares, ao natural, como revestimento de muros, paredes e pisos, especialmente de exteriores.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pedra-pomes	Piedra pómez	Pumice stone	Pietra pomice	É uma rocha vulcânica de muito baixa densidade, formada quando gases e lava formam um coloide que por arrefecimento solidifica sob a forma de uma rocha esponjosa.
Pedra-madeira	Piedra madera	Stone-wood	Pietra di legno	Varição da pedra Miracema, com cores rosa, amarela ou branca, em decorrência da maior alteração por intemperismo.
Pedra-sabão	Piedra jabón	Soapstone	Pietra ollare	Pedra do tipo esteatito, decorrente da alteração de rochas ígneas. Possui cor cinza-escuro, estrutura maciça e baixa resistência ao desgaste. Permite polimento e é utilizada como revestimento de paredes e, eventualmente, pisos, em interiores ou exteriores. Por suas propriedades refratárias, destina-se também à elaboração de fornos domésticos, lareiras e artefatos para preparação de alimentos (panelas, chapas). É ainda aproveitada como matéria-prima de objetos decorativos, com destaque para produtos de estatuária.
Pedreira	Cantera	Quarry	Cava	Mina de rocha ornamental ou agregados.
Pedreira a céu aberto	Cantera a cielo abierto	Open pit quarry	Cava a cielo aperto	Local onde as atividades de extração acontecem exclusivamente em uma área aberta, sobre a superfície do terreno.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pedreiro	Albañil	Mason	Muratore	Profissional encarregado de preparar a alvenaria.
Pegmatito	Pegmatita	Pegmatite	Pegmatite	Rocha ígnea de granulação muito grossa, de composição similar à do granito, cristalizada a partir de magmas muito enriquecidos em voláteis e com ocorrência de minerais raros.
Peitoril	Alféizar	Window sill	Davanzale	Base inferior das janelas que se projeta além da parede e funciona como parapeito.
Perfil	Perfil	Profile	Profilo	É o delineamento de um objeto visto de um dos seus lados.
Perfiladora	Refiladora	Shape cutter	Contornatrice	Máquina para fabricar perfil.
Perfuração	Perforación	Drilling	Perforazione	Ato de executar um furo sem o intuito de amostragem, geralmente para instalação de equipamentos e aparelhos de medida. Quando se visa também a amostragem utiliza-se o termo sondagem.
Perfuração primária	Perforación primario	Primary drilling	Perforazione primaria	Tipo de perfuração que tem por finalidade a produção de painéis de grandes dimensões com desenvolvimento de bancadas e gavetas.
Perfuratriz hidráulica	Perforadora hidráulica	Hydraulic rock drill	Perforatrice idraulica	Equipamento utilizado para fazer perfuração em desmonte de rochas. Constituído por um motor que é acionado por um motor a diesel ou elétrico.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Perfuratriz pneumática	Perforadora neumática	Pneumatic drill	Perforatrice pneumatica	Equipamento utilizado para fazer perfuração em desmonte de rochas. Constituído por um motor que é acionado por ar comprimido.
Perícia, relatório	Dictámen, informe	Report	Perizia	Descrição minuciosa e circunstanciada dos fatos ocorridos. Ou qualquer exposição pormenorizada de circunstâncias, fatos ou objetos.
Pérola diamantada	Perlina diamantada	Diamond bead	Perlina diamantata	Peças metálicas com diamante montadas em cabo de aço, constituindo o fio diamantado.
Permeabilidade	Permeabilidad	Permeability	Permeabilità	Capacidade de permitir o fluxo da água pelos poros ou interstícios - permeabilidade primária, e pelos sistemas de fraturas e planos de estratificação - permeabilidade secundária.
Permeável	Permeable	Permeable	Permeabile	É uma propriedade que a rocha, sedimento ou solo apresenta, de permitir a percolação de líquidos ou gases.
Perpianho	Sillar	Ashlar	Pietra di taglio	Bloco paralelepípedo utilizado em construções.
Pé cúbico	Pie cúbico	Cubic feet CF	Piede cubico	Medida de volume que equivalente a 0,02831 m ³ .

Português	Español	English	Italiano	Definição
Peso	Peso	Weight	Peso	O peso de um corpo ou de um objeto é o produto da sua massa pela aceleração da gravidade local.
Peso específico	Peso específico	Specific weight	Peso specifico	Peso por unidade de volume.
Pesquisa	Investigación	Research	Ricerca	Conjunto de trabalhos coordenados, necessários para a descoberta de uma jazida, sua avaliação e determinação da sua viabilidade econômica. Compreende os trabalhos de prospecção.
Petrografia	Petrografía	Petrography	Petrografia	Área da Geologia que se ocupa da descrição macro e microscópica das rochas, considerando os seus conteúdos mineralógicos e as relações entre os grãos desses minerais.
Pia	Pila	Bowl	Lavello	Recipiente de cozinha, feita de rocha, louça ou metal, com torneiras e ralos para lavar louças, alimentos etc.
Pichação (grafitti)	Pintada (grafiti)	Tagging (graffiti)	Tagging (graffiti)	É uma forma de poluição visual e vandalismo. Já grafite é considerado uma arte.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pinos	Pernos	Bolts	Bullone	Pequenos eixos ou cavilhas cilíndricas de vários maquinários.
Pirita	Pirita	Pyrite	Pirite	Sulfeto de ferro, de cor amarela como o latão, com forma cúbica; muito comum como mineral acessório de alguns granitos, gnaisses ou arenitos. Sua presença em rochas para revestimento é prejudicial, por ser um mineral facilmente oxidável e sob essa condição promover manchamentos.
Piroxênios	Piroxeno	Pyroxene	Pirosseno	Minerais silicáticos ricos em ferro, magnésio, sódio e cálcio, subdivididos em dois grupos, em função do sistema de cristalização: dos clinopiroxênios (destacando-se diopsídio, augita, hedenbergita, pigeonita, acmita) e dos ortopiroxênios (representados pela solução sólida enstatita - ferrossilita). São minerais importantes na constituição de rochas ígneas básicas e ultrabásicas e metamórficas.
Piroxenito	Piroxenita	Pyroxenite	Pyroxenite	Rocha magmática de granulação média a grossa, essencialmente constituída por piroxênio, podendo conter teores variáveis de olivina.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Piso	Piso	Floor	Pavimento	Base de qualquer construção. Local onde se apoia o contrapiso. Andar. Pavimento.
Placas	Placas	Tiles	Mattoni	Rochas de espessura menor que as outras dimensões, utilizadas em revestimentos. De tamanhos variados, normalmente obtidas do recorte das chapas.
Plagioclásio	Plagioclasa	Plagioclase	Plagioclasio	Ver feldspato.
Planejamento de lavra	Planificación Minera	Mine planning	Pianificazione mineraria	Corresponde ao processo para se determinar o “melhor” projeto e sequenciamento da lavra, segundo uma estratégia previamente estabelecida.
Plano de fogo	Plan de voladura	Blasting plan	Schema di volata	É a definição da forma de se trabalhar em uma bancada. Inclui a definição dos seguintes parâmetros: diâmetro das perfurações (ϕ); afastamento (V_t, V_p); espaçamento (E); inclinação da face; altura da bancada (H); profundidade dos furos (H1); carga de fundo (Cf, If); carga de coluna (Cc, Ic); tampão.
Planta	Planta	Floor plan	Pianta	Representação gráfica de uma construção onde cada ambiente é visto de cima, sem o telhado.
Plástico bolha	Plástico de burbujas	Bubble paper	Foglio protettivo	São plásticos que apresentam bolhas de ar prensadas com o objetivo de proteger objetos ao serem transportados.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Polia	Polea	Pulley	Puleggia	Roda com uma correia presa à sua circunferência que, girando, faz a correia se mover.
Polido	Pulido	Polished	Lucidato	Material com aspecto liso e brilhoso após processo de polimento.
Polimento	Pulido	Polish	Lucidatura	Processo que visa a obtenção de superfície espelhada através de desbaste por abrasivos de granulação sucessivamente menor. O mesmo que lustração.
Politriz	Pulidora	Polishing machine	Lucidatrice	Máquina utilizada para realizar o processo de polimento.
Politriz de bordas	Pulecanto	Edge polishing machine	Lucidatrice per coste	Máquina própria para fazer acabamento nas laterais das chapas.
Politriz de chapas	Pulidora de tablero	Polishing plate	Lucidante lamiera	É o equipamento utilizado para fazer o levigamento e polimento das chapas de rochas ornamentais.
Polpa	Pulpa	Pulp	Polpa	O mesmo que lama.
Ponte rolante	Puente grúa	Bridge crane	Gru a ponte	Equipamento necessário para a movimentação de chapas pela serraria.
Ponteira	Puntero	Crampon	Punta	Máquina de elevação de cargas que consiste de um guindaste sustentado em uma ponte móvel.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pórfiro	Pórfido	Porphyry	Porfido	Rocha vulcânica, pertencente ao grupo de pedras comerciais, caracterizada por alta resistência ao desgaste.
Porosidade	Porosidad	Porosity	Porosità	Quantidade (porcentual) de espaços (poros) contidos em uma rocha, em relação ao volume total da mesma.
Potência	Potencia	Potency	Potenza	Unidade que mede a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo.
Praça	Plaza	Square	Piazza	Área de trabalho em uma pedreira onde se faz a movimentação ou aparelhamento de blocos.
Prato	Plato	Dish	Piatto	Dispositivo no qual os rebolos abrasivos são dispostos, geralmente utilizados para o polimento de rochas carbonáticas.
Preço de compra	Precio de compra	Wholesale price	Prezzo d'acquisto	Preço no qual é efetuado a compra de mercadorias ou insumos.
Preço de lançamento	Precio de lanzamiento	Introductory price	Prezzo di lancio	Preço geralmente promocional quando uma mercadoria está em lançamento.
Pressão	Presión	Pressure	Pressione	É o resultado de uma força agindo em uma determinada área.
Pressão absoluta	Presión Absoluta	Absolute Pressure	Pressione assoluta	É a pressão resultante da somatória da pressão atmosférica e manométrica.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pressão atmosférica	Presión atmosférica	Atmospheric pressure	Pressione atmosferica	É a pressão (força) que as camadas de ar exercem sobre a superfície da terra.
Pressão manométrica	Presión manómetro	Auge pressure	Pressione manometro	É a pressão indicada pelo manómetro e que não considera a pressão atmosférica.
Processamento	Elaboración	Processing	Lavorazione	É o conjunto de operações que sofre um bloco de rocha após a sua extração para obtenção de produtos acabados ou semiacabados.
Processos de beneficiamento	Procesos de fabricación	Beneficiation processes	Processi di arricchimento	Toda atividade desenvolvida em unidades industriais ou inicialmente na própria mina, para obtenção de chapas a partir de blocos, ou esquadreamento, seguido ou não de aparelhamento de suas superfícies, incluindo os insumos para sua obtenção.
Processos de extração	Los procedimientos de extracción	Extraction processes	Processi di estrazione	Toda atividade desenvolvida em uma mina para a obtenção de blocos e de chapas (no caso de ardósias e alguns quartzitos bandados).
Produtos	Productos	Products	Prodotti	Todo elemento obtido nos processos de extração e nas etapas de beneficiamento.
Psi	Psi	Psi	Psi	Libra por polegada quadrada, medida de pressão equivalente a 0,70 kg/cm ² .

Português	Español	English	Italiano	Definição
Pulmão/ garrafa/ reservatório de ar	Pulmón / bo- tella / depósito de aire	Lung / bottle / air reservoir	Polmone / bot- tiglia / serba- toio dell'aria	Depósito metálico para ar comprimido instalado entre o compressor e a perfuratriz.
Punho	Puño	Fist	Pugno	Parte constituinte da broca integral e que transmite a energia do impacto e rotação às hastes.
Quartzito	Cuarcita	Quartzite	Quarzite	Rocha metamórfica de granulação média, composta essencialmente de quartzo, sendo resultante do metamorfismo sobre arenitos.
Quartzo	Cuarzo	Quartz	Quarzo	Mineral composto por óxido de silício (SiO ₂), caracterizado por sua dureza relativamente elevada e brilho semelhante ao do vidro comum. O quartzo é um mineral muito comum, sendo constituinte essencial ou acessório em um grande número de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.
Rachão	Escollera	Large or medium scraps	Rifiuti di Pietre	Sobra de pedra resultante do aparelhamento de blocos, ou de pontas de blocos ou de folhetas, adequado para alvenaria ou concreto ciclópico.
Razão do carregamento	Carga de explosivo	Loading ratio	Rapporto di carico	É a quantidade de explosivos necessários para o desmonte de 1/m ³ de rocha/gramas por metro cúbico.
Reação exotérmica	Reacción exotérmica	Exothermic reaction	Reazione esotérmica	Reação em que há liberação do calor.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Rebaixo	Rebaje	Bearing chek	Taglio in pietra per inserzione	Degrau executado em uma placa para facilitar encaixe entre as peças e permitir melhoria de acabamento da superfície.
Rebolo	Piedra de amolar	Grindstone	Cote	Ferramenta usada para afiação da pastilha ou botões, composto por grão de silício com granulometrias distintas.
Rebolo abrasivo	Muela abrasiva	Grinding wheel	Mola abrasiva	Insumo utilizado na etapa de beneficiamento secundário.
Recristalização	Recristalización	Recrystallization	Ricristallizzazione	Crescimento a partir de mineral preexistente, sob efeito de aporte de calor durante o metamorfismo.
Rejeito	Desecho	Tailings	Scarto	Material descartado de qualquer processo produtivo que não é aproveitado pela empresa ou pessoa que o produz.
Rendimento	Rendimiento	Efficiency	Rendimento	Efeito ou ação de render. Porcentagem do produto obtido em relação à matéria-prima.
Resíduo	Residuo	Waste	Rifiuto	Qualquer material que sobra após uma ação ou processo produtivo. Diversos tipos de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) são gerados nos processos de extração de recursos naturais, transformação, fabricação ou consumo de produtos e serviços.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Resina	Resina	Resine	Resina	Produto químico, geralmente à base de epóxi ou fenol, utilizado em algumas etapas de processamento de rochas ornamentais.
Resistência à água	Resistencia al agua	Water Resistance	Resistenza all'acqua	Número de horas que um explosivo pode ficar submerso e ainda detonar.
Resistência à compressão	Resistencia a compresión	Compressive strength	Resistenza a compressione	Propriedade que a rocha apresenta à ruptura, quando submetida a esforços compressivos.
Resistência à fixação	Resistencia a los anclajes	Anchorage strength	Resistenza all'ancoraggio	Propriedade que a rocha apresenta à fixação de um determinado objeto.
Resistência à flexão	Resistencia a flexión	Flexural strength	Resistenza a flessione	Propriedade que a rocha apresenta à determinada tensão de ruptura quando submetida a esforços de flexão.
Resistência ao desgaste por abrasão	Resistencia al desgaste por rozamiento	Resistance to abrasion	Resistenza all'abrasione	É a capacidade que o corpo rochoso apresenta de não se desgastar com o atrito, por exemplo, de tráfego de pessoas ou carro.
Resistência ao deslizamento	Resistencia al deslizamiento	Slip resistance	Resistenza allo scivolamento	Propriedade que a rocha apresenta ao deslizamento.
Resistência ao gelo	Resistencia al hielo	Frost resistance	Resistenza al gelo	Propriedade de enfraquecimento que a rocha apresenta após ciclos de congelamento e degelo, através da tensão de ruptura, quando submetidas a esforços compressivos.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Resistência ao impacto	Resistencia al impacto	Impact resistance	Resistenza all'urto	Propriedade que a rocha apresenta de resistir ao impacto de objetos que possam cair sobre ela.
Resistência a mudanças térmicas	Resistencia a los cambios térmicos	Resistance to thermal changes	Resistenza alle variazioni termiche	Propriedade que a rocha apresenta de resistir às diversas mudanças térmicas, como, por exemplo, gelo e degelo.
Restauro	Restauración	Restoration	Restauro	Recuperar, consertar algum objeto ou edificação.
Retroescavadeira	Retroexcavadora	Backhoe	Retroescavatore	Escavadeira sobre esteira, que se destina a escavação abaixo do nível em que está estacionada. Sua lança e caçamba dão-lhe uma grande versatilidade de uso.
Revestimento	Revestimiento	Covering	Rivestimento	Designação genérica dos materiais que são aplicados sobre as superfícies toscas e que são responsáveis pelo acabamento.
Riolito	Riolita	Rhyolite	Riolita	Rocha vulcânica, comumente porfírica, constituída de fenocristais de quartzo e feldspato alcalino em uma massa fundamental vítrea ou criptocristalina. Correspondente extrusivo do granito.
Robô de alimentação automático	Robot de alimentación automático	Automatic feeding robot	Alimentazione robot automatico	Equipamento que carrega e descarrega chapas de rochas ornamentais automaticamente.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Rocha	Piedra	Stone	Pietra	Agregado natural sólido de um ou mais minerais (inclusive vidro e matéria orgânica), que constitui parte essencial da crosta terrestre e é claramente individualizado. De acordo com a origem, pode ser sedimentar, magmática ou metamórfica.
Rocha Ígnea ou magmática	Roca ígnea y magmáticos	Igneous rock and magmatic	Roccia eruttiva e magmatica	Rocha formada a partir da cristalização de líquidos magmáticos; plutônicas ou intrusivas, se formadas por cristalização lenta no interior da crosta ou do manto; vulcânicas, que podem ser extrusivas ou efusivas, se resultantes de cristalização rápida na superfície, de materiais expelidos por vulcões. Nos casos em que a cristalização acontece a pequenas profundidades da crosta a rocha é dita subvulcânica.
Rocha maciça	Roca maciza	Solid rock	Roccia massiccia	Rocha com aspecto compacto, homogêneo e com ausência de minerais com orientação planar ou dispostos em leitos.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Rocha metamórfica	Roca metamórfica	Metamorphic rock	Roccia metamorfica	Rocha formada por processos no interior da Terra, que provocam transformações mineralógicas e texturais nas rochas preexistentes, em função de mudanças nas condições de temperatura e pressão, em presença de fluidos quimicamente ativos.
Rocha ornamental	Piedra natural	Natural stone	Pietra naturale	Rocha natural submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, com formatos e tamanhos específicos para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais e arquitetônicos e que exerça função estética.
Rocha para revestimento	Roca para revestimiento	Stone for cladding	Pietra per rivestimento	Rocha natural que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil.
Rocha sedimentar	Roca sedimentaria	Sedimentary rock	Roccia sedimentaria	Rocha formada por causa de processos de consolidação dos produtos resultantes da desagregação ou de decomposição de rochas preexistentes ou, ainda, de acumulação de restos orgânicos.
Rodapé	Rodapié	Footer	Bordo di parete	Faixa de proteção ao longo das bases das paredes, junto ao piso.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Rolo abrasivo	Rodillo abrasivo	Abrasive roll	Rullo abrasivo	Tipo de abrasivo utilizado no processo de beneficiamento secundário (polimento) de chapas de rochas ornamentais.
Romaneio de embarque	Albarán	Packing list	Lista per imballaggio	Documento emitido pela empresa vendedora que tem o objetivo de auxiliar o comprador na conferência e desembaraço de mercadoria.
Satélite	Satélite	Satellite	Satellite	Dispositivo das cabeças das politrizes no qual são dispostos os abrasivos.
Segundo	Mano buena/ tronce bueno	Cross-cut	Verso	Plano por onde a rocha apresenta resistência intermediária ao corte, em comparação com a corrida e o trincante.
Seguro	Seguro	Insurance	Assicurazione	Contrato em que mediante o pagamento de uma taxa, uma das partes se obriga a indenizar a outra por um prejuízo eventual.
Semiprocessado	Semiacabado	Semifinished	Semilavorato	Material que ainda não acabou de ser processado.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Serpentina	Serpentina	Serpentine	Serpentino	Grupo de minerais usualmente formados a partir da alteração de silicatos de magnésio, especialmente olivina, piroxênio e anfíbólio. As variedades mais comuns são antigorita e crisotila, sendo encontradas disseminadas nas rochas ígneas e metamórficas ou constituindo quase toda a massa da rocha.
Serpentinito	Serpentinita	Serpentinite	Serpentinita	Rocha metamórfica de granulação fina a média/fina, essencialmente constituída por minerais do grupo da serpentina, podendo conter teores variáveis de talco, clorita e, secundariamente, magnetita.
Serra	Sierra	Saw	Segatrice	Insumo que serve para fazer corte nas chapas de rochas ornamentais.
Serra de fio helicoidal	Sierra de hilo helicoidal	Helical wire saw	Filo elicoidale sega	Equipamento utilizado para cortar com fio helicoidal.
Serra ponte	Fresadora de puente	Gantry saw	Fresa a ponte	Máquina utilizada no esquadreamento inicial da chapa.
Serrado	Aserrado	Sawn	Segato	Material que foi desdobrado, transformado de bloco em chapas.
Serraria	Aserradero	Sawmill	Segheria	Unidade industrial que transforma blocos em chapas.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Serviço após venda	Servicio post venta	After sales service	Assistenza post vendita	É a fase após a venda de um produto ou serviço que as empresas realizam junto aos clientes com o objetivo de fidelizar e manter estes clientes.
Sienito	Sienita	Syenite	Sienita	Rocha magmática de granulação média a grossa, essencialmente constituída por feldspatos alcalinos e, acessoriamente, podendo conter biotita, anfibólios e piroxênios.
Sienogranito	Sienogranito	Syenogranite	Sienogranito	Granito com predomínio de feldspato potássico sobre plagioclásio.
Sillimanita	Silimanita	Sillimanite	Sillimanite	Silicato de alumínio, em cor marrom, cinzenta, verde-clara ou branca. Ocorre como cristais aciculares longos, com aspecto fibroso; na qualidade de acessório em gnaisses e xistos.
Sodalita	Sodalita	Sodalite	Sodalite	Varietade de feldspatoide contendo sódio, alumínio e cloro; frequentemente como mineral acessório em sienitos. Ocorre com forma cúbica, normalmente maciço, podendo ser azul, violeta azulado, esverdeado, amarelo, rosa, cinza ou branco.
Soleira	Umbral	Threshold	Soglia	Placa de formato retangular para assentamento no piso de vãos de circulação, tais como portas e portais.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Sondagem	Sondeo	Drilling	Sondaggio	Investigação feita em um local visando a obtenção das características geológicas de formações em profundidade.
Sulco	Surco	Groove	Surco	Entalhe cortado em uma rocha com várias funções como ancoragem, marcador de curso etc.
Sulcos antiderapantes	Cortes antideslizantes	Antislip grooves	Scanalature antisdrucciolo	São os frisos feitos normalmente em degraus para evitar o escorregamento.
Talco	Talco	Talc	Talco	Silicato hidratado de magnésio, maciço, laminar ou compacto, com cores variando do verde-claro ao cinza-escuro ou branco. É um mineral de dureza baixíssima, originado pela alteração de olivinas, piroxênios e anfibólios, muito comum em rochas metamórficas (esteatito e xistos) e em algumas rochas ígneas alteradas.
Talha-blocos	Corta bloques	Block cutter	Tagliablocchi	Máquina composta por discos diamantados utilizada para cortar blocos de pequenas dimensões.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Talude	Talud	Embankment	Terrapieno	Também chamado de encosta natural é definido como superfície inclinada de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solos e rochas) a partir de processos geológicos e geomorfológicos diversos. O termo talude artificial refere-se ao declive de aterros constituídos a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens incluindo rejeitos industriais, urbanos ou mineração.
Tampo de cozinha	Encimera de cocina	Vanity top	Top per cucina	Peça utilizada em cozinhas com a finalidade de apoio.
Tear	Telar	Gang saw	Telaio	Máquina utilizada para a serragem dos blocos de rochas ornamentais.
Tela	Malla, tela	Mesh, cloth	Rete	Malha geralmente composta por fibra de vidro ou nylon que é fixada no tardóz de algumas rochas ornamentais com o auxílio de uma resina. É utilizada em rochas que apresentam baixa resistência a esforços fletores.
Telagem	Telado	Reinforcing	Rinforzo	Procedimento adotado para aumentar a resistência da chapa a solicitações fletoras. Consiste na colocação de uma tela, de nylon ou fibra de vidro, no tardóz da chapa.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Telhado	Cubierta	Roof	Tetto	Cobertura de uma edificação.
Testemunho de sondagem	Testigo	Drill core	Carotatrice	Amostra de rocha, de forma geralmente cilíndrica, obtida a partir de um furo de sondagem.
Textura	Textura	Texture	Tessitura	Termo que se refere à organização íntima de uma rocha, indicando, em escala microscópica, a forma, o tamanho, a distribuição e as múltiplas relações entre os minerais constituintes.
Textura cataclástica	Textura cataclastica	Cataclastic texture	Tessitura cataclastica	Textura de rochas caracterizadas por intenso fraturamento, microfraturamento e deformação dos minerais, oriundos de movimentos tectônicos na crosta em condições de temperatura relativamente baixa.
Textura granoblástica	Textura granoblástica	Granoblastic texture	Tessitura granoblastica	Textura encontrada em rochas não foliadas, maciças, nas quais os minerais recristalizados são equidimensionais e com bordas bem suturadas. Exemplos em quartzitos e mármore.
Textura granolepido/nematoblástica	Textura granolepido / nematoblástica	Granolepid/ Nematoblastic texture	Tessitura granolepido/ nematoblastica	Rocha que apresenta porções com textura granoblástica, intercalada com outras de textura lepidoblástica ou nematoblástica. Exemplo: gnaisses.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Textura granular	Textura granular	Granular texture	Tessitura granulare	Textura de rochas onde a maioria dos minerais é aproximadamente equidimensional.
Textura hipidiomórfica	Textura hipidiomórfica	Hypidiomorphic texture	Tessitura ipidiomorfica	Descreve, nas rochas ígneas, os cristais individuais de minerais que são somente em parte limitados por suas faces cristalinas.
Textura lepidoblástica	Textura lepidoblástica	Lepidoblastic texture	Tessitura lepidoblastica	Fornecida pela isorientação de minerais micáceos, foliáceos, isorientados paralela ou subparalelamente. Exemplos em xistos, filitos etc.
Textura nematoblástica	Textura nematoblástica	Nematoblastic texture	Tessitura nematoblastica	Rocha com predominância de minerais prismáticos (piroxênios ou anfibólios) isorientados. Exemplo em anfibolitos.
Textura ofítica	Textura ofítica	Ophitic texture	Tessitura ofitica	Textura típica de rocha plutônica básica, caracterizada por ripas de plagioclásio englobadas por cristais maiores de piroxênio.
Textura poiquilítica	Textura poiquilítica	Poikilitic texture	Tessitura poichilitica	Arranjo mineral de rocha magmática, no qual grandes cristais de uma espécie mineral englobam numerosas inclusões de outros minerais, orientados ao acaso.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Textura poiquiloblástica	Textura poiquiloblástica	Poikiloblastic texture	Tessitura poi-chiloblastica	Arranjo mineral de rocha metamórfica, no qual grandes cristais de uma espécie mineral (porfiroclastos) englobam numerosas inclusões de outros minerais.
Textura porfírica	Textura porfírica	Porphyritic texture	Tessitura porfírica	Arranjo mineral de rochas ígneas, caracterizado pela presença de cristais maiores (fenocristais) dispersos em uma massa de granulação fina ou vítrea.
Textura porfiroblástica	Textura porfiroblástica	Porphyroblastic texture	Tessitura porfiroblastica	Arranjo mineral de rochas metamórficas caracterizado por cristais maiores (porfiroblastos) dispersos entre cristais de granulação mais fina.
Textura subofítica	Textura subofítica	Subophitic texture	Tessitura suboifitica	Textura de rocha plutônica, média a grossa, caracterizada por ripas de plagioclásio parcialmente envolvidas por cristais maiores de piroxênio
Tijolo	Ladrillo	Brick	Mattone	Peça de barro cozido usada na alvenaria. Tem forma de paralelepípedo retangular com espessura igual a metade da largura, que, por sua vez, é igual a metade do comprimento.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Titanita	Titanita	Titanite	Titanite	Silicato de cálcio e titânio que apresenta formas losangulares e tonalidades amareladas e marrons, às vezes verde ou cinza. Ocorre como mineral acessório em rochas ígneas e metamórficas. Também conhecido como esfênio.
TNT	TNT	TNT	TNT	Abreviação de Trinitrotolueno. É um explosivo de cor amarelo pálido e é relativamente insensível ao atrito e ao impacto, necessitando para a sua detonação uma espoleta.
Tonalito	Tonalita	Tonalite	Tonalite	Rocha magmática de granulação média a grossa, essencialmente constituída por quartzo e plagioclásio sódico-cálcico, usualmente com biotita e anfibólio.
Torno	Torno	Lathe	Tornio	Equipamento utilizado para fazer acabamento em peças já prontas ou confeccionar novas peças.
Transportador	Transportista	Carrier	Vettore	Equipamento que serve para transportar os blocos dentro da serraria.
Trava	Pasador	Bolt	Bullone	Peças utilizadas para proteger o bloco enquanto estiver serrando.
Travertino	Travertino	Travertine	Travertino	Calcário poroso e/ou bandado, formado por precipitação química. Pode apresentar cavidades perceptíveis à vista desarmada, com até vários centímetros.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Treliça	Celosía	Lattice	Frangisole	Rede metálica para resguardo. Rede de vigas cruzadas, usada no travessamento de pontes.
Trincante	Tronce/ Mano mala	–	Contro	Plano por onde a rocha apresenta maior resistência ao corte.
Tufa	Tufa	Tufa	Tufo	Rocha calcária muito porosa.
Túmulo	Tumba	Tomb	Tomba	Monumento funerário erguido em memória de alguém no lugar onde se acha sepultado.
Vazão de um fluido	Caudal de un fluido	Flow of a fluid	Flusso di un fluido	É o volume deslocado do mesmo, por unidade de tempo.
Veio	Veta	Vein	Vene	Massa monomineral tabuliforme inserida na rocha.
Velocidade de propagação	Velocidad de propagación	Propagation speed	Velocità di propagazione	É a velocidade com que a onda de choque se propaga na coluna de explosivos.
Ventosa	Ventosa	Suction pad	Ventosa	Mecanismo de fixação da chapa necessário para a sua movimentação.
Vesícula	Vesícula	Vesicle	Vescicola	Cavidade vazia encontrada em rochas efusivas, de forma variável (esférica, elíptica, ovoide ou irregular), sendo originada pela expansão de gases em derrame de lavas.

Português	Español	English	Italiano	Definição
Volante	Volante	Flywheel	Volante	Peça redonda que compõe o tear.
Xenólito	Xenolito	Xenolith	Xenolite	Fragmentos das paredes do conduto vulcânico arrancados pela ascensão do magma. Tal ocorrência, via de regra, diminui o valor da rocha ornamental. Coloquialmente é denominado de mula.
Xisto	Esquisto	Schist	Scisto	Rocha metamórfica de granulação média a grossa, tipicamente laminada (nítida xistosidade), em cuja composição são abundantes os minerais isorientados de hábito micáceo e contendo menos de 20% de feldspatos.
Zircão	Circón	Zircon	Zircone	Silicato de zircônio que ocorre como cristais prismáticos em matizes castanhas, cinzentas, verdes, vermelhas ou incolores. É um mineral acessório que ocorre em todos os tipos de rochas ígneas (notadamente granitos e sienitos) e em alguns arenitos.



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

DILMA VANA ROUSSEF

Presidenta

MICHEL MIGUEL ELIAS TEMER LULIA

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

EDISON LOBÃO

Ministro de Minas e Energia

CARLOS NOGUEIRA DA COSTA JÚNIOR

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

ELZIVIR AZEVÊDO GUERRA

Diretor do departamento de Transformação e Tecnologia Mineral

Este livro foi elaborado por pesquisadores e colaboradores do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e financiado pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do Ministério das Minas e Energia, mediante convênio MME-SGM 0009/2009 (Convênio 375810 MME-FACC, disponível em www.convenios.gov.br)



ISBN978-85-8261-005-3



9 788582 610053

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

Secretaria de
Geologia, Mineração e
Transformação Mineral

Ministério de
Minas e Energia