

QUALIFICAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA REVESTIMENTO DE EDIFICAÇÕES: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ENSAIOS DE ALTERABILIDADE

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá

Geóloga. Agrupamento de Engenharia de Rochas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Rua Monte Alegre, 1352 – apto 02 – 05.014-002 – São Paulo – SP
E_mail: mheloisa@ipt.br

RESUMO

A qualificação de rochas ornamentais e para revestimento abrange, atualmente, a caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade, com o objetivo de se obter parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos que orientarão a escolha e uso desses materiais na construção civil.

São apresentados os principais ensaios tecnológicos, normalizados por entidades brasileiras e estrangeiras, usados para a caracterização física e mecânica das rochas.

Ensaio de alterabilidade, ainda experimentais, simulam situações de exposição dos materiais rochosos a atmosferas agressivas e/ou poluídas ou a reagentes químicos usados na limpeza e manutenção. Os resultados dessas simulações indicam principalmente as medidas preventivas para evitar/retardar o “envelhecimento” da rocha.

INTRODUÇÃO

O uso da pedra faz parte da história da civilização desde os seus primórdios, uma vez que foi empregada logo cedo pela humanidade na construção de obras e monumentos (pontes, estradas, aquedutos, palácios, castelos, igrejas, túmulos), sempre que houvesse a disponibilidade dessa matéria-prima em condições mínimas de aproveitamento.

No Brasil tem-se conhecimento do uso das rochas para finalidade ornamental desde o período imperial, quando se importavam os mármore da Europa (italianos e portugueses).

O termo rochas ornamentais tem variadas definições. Pode ser considerado similar ao que a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1999a) define para *dimension stones*: pedra natural que foi selecionada, regularizada, ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, no prelo) define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. Rocha para revestimento é aí definida como rocha natural, que submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil.

As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os “granitos”, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas/vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos), e o “mármore”, comercialmente entendido como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento. Também são consideradas rochas ornamentais e de revestimento os travertinos, ardósias, quartzitos, conglomerados e outros.

Atualmente, rochas ornamentais têm sido bastante utilizadas na construção civil, constituindo os revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos) de exteriores e de interiores de edificações. Respondem pela proteção das estruturas e dos substratos contra o intemperismo e agentes degradadores, domésticos e industriais, além de exercerem funções estéticas.

As rochas graníticas, pela sua enorme variedade de cores e padrões texturais/estruturais, são as mais utilizadas nos revestimentos de exteriores, tanto em pisos como fachadas. Os mármore, em geral importados, seguem de perto, principalmente no tocante ao revestimento de interiores.

O principal condicionante para o comércio e uso da rocha, por especificadores e consumidores, é seu aspecto estético (cor, textura e estrutura), que por sua vez está relacionado aos modismos. Entretanto, esse aspecto deve ser conjugado ao conhecimento das propriedades físicas e mecânicas para que a rocha escolhida tenha o desempenho esperado quando submetida às diversas solicitações de uso.

Assim, o aproveitamento da pedra como rocha ornamental e de revestimento está relacionado a três fatores intrinsecamente ligados à geologia do material rochoso:

1. padrão estético: decorre dos aspectos fornecidos pela cor, textura, estrutura e homogeneidade da rocha, que são determinados pelo modo de formação, composição mineral, padrões de orientação/deformação impressos pela história geológica etc.;
2. tipologia do jazimento: definido pela intensidade e tipo de alteração da rocha, presença de tensões confinadas, heterogeneidade estrutural e textural, entre outros;
3. propriedades físicas, químicas e mecânicas: fatores que condicionarão os usos mais adequados da rocha no revestimento de

edificações, pois possibilitam a previsão da sua durabilidade perante as solicitações de uso: intempéries, desgaste abrasivo pelo tráfego de pedestres, danos relacionados à expansão e contração térmicas etc. Os parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos são determinados a partir de ensaios laboratoriais.

A esses são adicionados outros, muitas vezes de igual importância, mas ligados a fatores extrínsecos:

- a) características de mercado: ditadas pela viabilidade econômica da lavra, concorrência com outros materiais e pelos modismos;
- b) processo de extração e beneficiamento: que devem ser adequados ao material em foco. Devem, também, ser ponderados os eventuais defeitos decorrentes dos processos de extração e de beneficiamento (serragem, polimento e lustração), assim como o aparecimento ou intensificação de microfissuras preexistentes;
- c) uso e manutenção.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises, cujo conjunto básico está relacionados na Tabela 1.

Diversas entidades nacionais e internacionais trabalham na padronização dos procedimentos de ensaio, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, *American Society for Testing and Materials* – ASTM, Comissão Européia de Normalização – CEN, *British Standard Institution* – BSI, *Deutsches Institut für Normung* – DIN, entre outros. No tocante às rochas ornamentais, no Brasil adotam-se as da ABNT e ASTM.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização de rochas ornamentais e respectivas normas utilizadas.

ENSAIO	NORMA
Tração na Flexão	ABNT NBR 12.763/92
Impacto de Corpo Duro	ABNT NBR 12.764/92
Dilatação Térmica Linear	ABNT NBR 12.765/92
Índices Físicos	ABNT NBR 12.766/92
Compressão Uniaxial	ABNT NBR 12.767/92
Análise Petrográfica	ABNT NBR 12.768/92
Congelamento e Degelo	ABNT NBR 12.769/92
Desgaste Abrasivo Amsler	ABNT NBR 12.042/92
Flexão	ASTM C 880/98
Velocidade de Propagação de Ondas	ASTM D 2845/95

O principal objetivo da realização de ensaios tecnológicos é a obtenção de parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos do material *in natura*, que permitem a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações.

A maior parte dos ensaios procura representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final, quais sejam, extração, esquadrejamento, serragem dos blocos em chapas, polimento/ lustração das placas, recorte em ladrilhos etc.

Parte dos ensaios é realizada nas rochas beneficiadas (ladrilhos polidos) – resistências à flexão e ao impacto de corpo duro – e visam parâmetros para dimensionamento das rochas para revestimento de fachadas e pisos.

Ensaios Requeridos x Usos Pretendidos

O conjunto de ensaios e análises, anteriormente descrito, foi concebido e desenvolvido para representar as solicitações às quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, conforme a situação de uso.

A Tabela 2 (Frascá *et al.* 2000) procura hierarquizar os ensaios requeridos para a caracterização das rochas quanto aos principais usos no revestimento de edifícios e residências, quer seja em pisos de interiores e exteriores (também denominados revestimentos horizontais de exteriores e de interiores), como em fachadas e paredes de interiores e exteriores (ou revestimentos verticais de exteriores e interiores), aos quais são acrescidos os tampos de pia de cozinhas ou lavatórios.

Tabela 2 – Ensaios recomendados para rochas de revestimento, conforme o emprego.

TIPOS DE REVESTIMENTOS	Ensaios Recomendados						
	AP	AA	RDA	RF	RCU	CDTL	RICD
Horizontais de Exteriores	N	N	R	R	R	N	N
Horizontais de Interiores							
baixo tráfego	N	N	R	R	R	R	N
alto tráfego	N	N	N	R	R	R	N
Verticais de Exteriores (fixados com argamassa ou por ancoragens metálicas)	N	N	I	N	N	N	I
Verticais de Interiores	N	N	I	R	N	R	I
Pias e tampos de cozinha/lavatórios	N	N	I	I	I	R	R

Nota 1 : AP = análise petrográfica; AA = absorção d'água; RDA = resistência ao desgaste abrasivo; RF = resistência à flexão; RCU = resistência à compressão uniaxial; CDTL = coeficiente de dilatação térmica linear; RICD = resistência ao impacto de corpo duro.

Nota 2: N = necessário; R = recomendado; I = de interesse.

ESPECIFICAÇÕES

Os valores obtidos nos ensaios tecnológicos são úteis como referências para avaliar as características e prever o desempenho do material rochoso em serviço.

A especificação de valores limites, máximos e mínimos, para as propriedades determinadas nos diferentes materiais rochosos tem o objetivo de auxiliar na avaliação da qualidade tecnológica das rochas, independentemente, a princípio, do tipo de utilização futura dos produtos que vierem a ser

obtidos dessas rochas. São cada vez mais requisitadas para a previsão de desempenho das rochas destinadas ao revestimento em edificações.

Na Tabela 3, ao final do texto, são apresentadas as especificações para as rochas que se destinam ao revestimento de edificações, estabelecidas pela ASTM, para “granitos” (ASTM C 615/99), “mármore” (ASTM C 503/99), calcários (ASTM C 568/99), arenitos e quartzitos (ASTM C 616/99) e ardósias (ASTM C 629/99).

Frazão & Farjallat (1996) propuseram uma especificação para rochas silicáticas (granitos, sienitos, dioritos, charnockitos etc.), baseada nos valores estatísticos de mais de uma centena de rochas.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

A seguir são descritos os ensaios requeridos para a caracterização tecnológica de rochas ornamentais as propriedades por eles determinadas, conforme Frascá *et al.* (2000).

Análise Petrográfica



Fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética.

A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Acima, detalhe de microscópio petrográfico e de lâmina delgada.

Índices Físicos

Os índices físicos se referem às propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%). Permitem avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão das rochas. São determinados em dez corpos-de-prova, por amostra.

Ressalta-se que grande parte das patologias observadas em rochas de revestimento (manchas, eflorescências e descamação, entre outras) está associada à percolação e/ou acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha (Frascá & Quitete, 1999).

COMPRESSÃO UNIAXIAL



Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.

O ensaio de compressão uniaxial é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato cúbico, no estado seco.

Acima, corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços compressivos.

Congelamento e Degelo

Consiste em submeter a amostra a 25 ciclos de congelamento e de degelo, e verificar a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo. O coeficiente de enfraquecimento (K) é calculado pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural. Valores de K próximos a 1 são indicativos de que a rocha não sofreu modificações significativas pela ação do congelamento/degelo.

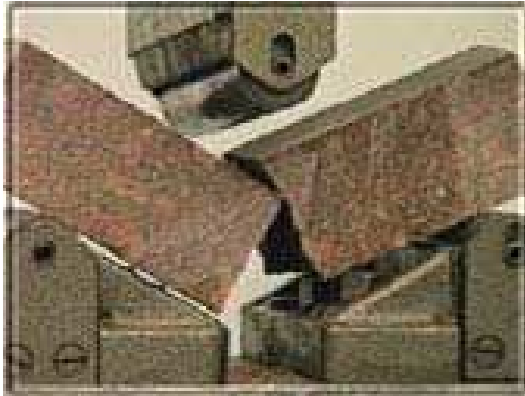
É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima temperado, nos quais é importante o conhecimento prévio da susceptibilidade da rocha a este processo de alteração. O ensaio é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato cúbico, no estado seco.

Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas Longitudinais

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, pois os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos-de-prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores.

É determinada em todos os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão, e auxilia a interpretação dos resultados obtidos nestes ensaios.

Tração na Flexão



O ensaio de tração na flexão (ou flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura) determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.

O ensaio é executado em cinco corpos-de-prova, por amostra, de formato retangular, no estado seco.

Acima, corpo-de-prova rompido após aplicação de esforços flexores.

Dilatação Térmica Linear

Determina o coeficiente de dilatação térmica linear (10^{-3} mm/m.°C) de rochas, quando submetidas a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C. É importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos de grandes áreas. É executado em pelo menos dois corpos-de-prova cilíndricos, por amostra.

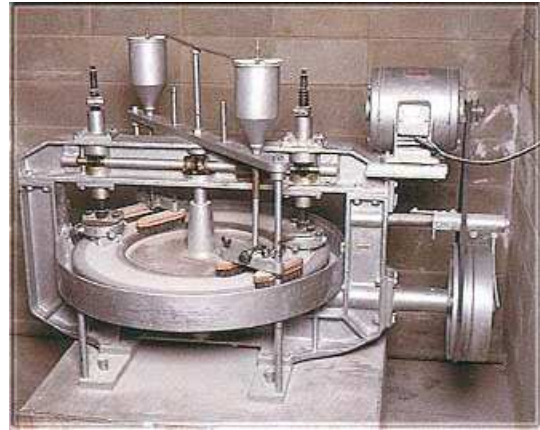
Flexão



O ensaio de flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos) simula os esforços flexores (MPa) em placas de rocha, com espessura predeterminada, apoiadas em dois cutelos de suporte e com dois cutelos de carregamento. É particularmente importante para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de

sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação. É realizado em 10 corpos de prova, por amostra. Acima, detalhe de corpo-de-prova rompido após a aplicação de esforços.

Desgaste Abrasivo Amsler



Indica a redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, na máquina *Amsler*. O abrasivo utilizado é areia essencialmente quartzosa. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos.

É executado em dois corpos-de-prova, por amostra.

Acima, Equipamento *Amsler* ensaiando corpos-de-prova graníticos.

Impacto de Corpo Duro



Fornece a resistência da rocha ao impacto, através da determinação da altura de queda (m) de uma esfera de aço que provoca o fraturamento e quebra de placas de rocha. É um indicativo da tenacidade da rocha.

É executado em 5 placas polidas, por amostra.

Acima, equipamento utilizado para realização de

ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

ENSAIOS DE ALTERABILIDADE

Atualmente estão em desenvolvimento e implantação ensaios de alterabilidade objetivando a previsão e/ou mitigação de possíveis deteriorações/manchamentos decorrentes da colocação, manutenção e/ou limpeza inadequados. Podem ser citados, entre eles, o ensaio de alterabilidade perante reagentes químicos usualmente utilizados em produtos de limpeza (resistência ao ataque químico), o de saturação e secagem, e mesmo o de congelamento e degelo, já descrito.

Breve Conceituação da Deterioração e Alterabilidade de Rochas

As rochas ornamentais e para revestimento, pela sua durabilidade e enorme variedade de cores e padrões texturais/estruturais, são muito utilizadas nos revestimentos de exteriores de edificações, tanto em pisos como fachadas. Entretanto, a ação dos agentes intempéricos muitas vezes provoca a deterioração da superfície exposta da rocha, seja através da modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e manchamentos), seja pela danificação da rocha (despreendimento de fragmentos minerais, “corrosão” etc.).

A alteração das rochas se inicia quando entram em contato com as condições atmosféricas reinantes na superfície terrestre.

As principais variáveis que controlam a natureza e a taxa dos vários processos de intemperismo têm sido, desde longo tempo, reconhecidas como sendo a composição e estrutura da rocha-mãe, o clima e o tempo de atuação do processo intempérico. O efeito dos vários agentes e processos intempéricos reagindo com as rochas é mostrado por mudanças mineralógicas, químicas e granulométricas.

Muitos fatores influenciam a susceptibilidade e taxa do intemperismo físico e químico em rochas. Os mais importantes, tendo em vista as rochas de revestimento, são: tipo de rocha, presença de fraturas e/ou fissuras e o clima (temperatura e intensidade de chuvas). Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos nos ambientes urbanos e o emprego de processos inadequados para o assentamento de rochas.

No caso das rochas ornamentais, as modificações físicas das rochas pelos processos de extração e de beneficiamento, podem levar ao aumento do fissuramento, porosidade e outros (Dib, Frascá & Bettencourt, 1999), que irão contribuir para a acentuação dos efeitos deletérios dos agentes intempéricos ou devidos à interferência humana (manutenção e limpeza inadequadas etc.).

A deterioração, numa definição simples, é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais de construção no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente natural; e implica na degradação e declínio na resistência e aparência estética, neste período (Viles, 1997). Inclui mudanças

físicas e químicas do material, desde as alterações relativamente benignas até as esfoliações de camadas superficiais. Os termos deterioração e intemperismo podem ser empregados, no caso das rochas ornamentais, praticamente como sinônimos.

A deterioração de materiais rochosos usados no revestimento de edificações ou em monumentos é mais pronunciada nos centros urbanos e industriais, e muitas vezes podem ser sentidos em materiais/monumentos localizados distantes destes centros. O meio ambiente urbano, enriquecido em poluentes de variadas fontes, acelera e modifica a degradação destes materiais, ou seja, altera/acelera os processos naturais (Winkler, 1973).

Aires-Barros (1991) define alterabilidade de rochas como um conceito dinâmico, que se refere à aptidão de uma rocha em se alterar, em função do tempo. O tempo, que é considerado na alteração intempérica como um “tempo geológico”, na alterabilidade é um “tempo humano”, à escala do homem e das suas obras de engenharia.

A *American Association for Testing and Materials* (ASTM, 1999a), por sua vez, define **durabilidade** como a medida da habilidade da rocha ornamental a suportar e manter as características essenciais e distintivas de estabilidade, resistência à degradação e a aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características inatas, em uso. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (p. ex., em exteriores ou interiores).

Desta forma, a alteração apresentada pelas rochas estará condicionada a fatores, como: as características intrínsecas da rocha, ou seja, as propriedades físicas e químicas inerentes à sua mineralogia e alterações preexistentes; os defeitos gerados no processo de beneficiamento (corte e polimento); e, a interação destes com as intempéries e as condições de fixação, manutenção e uso.

No Brasil, as principais causas da degradação destes materiais rochosos podem ser sumarizadas como a seguir:

- clima tropical (intensas variações de temperatura e umidade);
- agentes de limpeza, os quais atuam através de diversas substâncias químicas componentes podem causar modificações, especialmente no aspecto estético das rochas;
- poluição ambiental, na qual têm grande influência os diversos poluentes dispersos na atmosfera (SO₂, NO_x, CO e CO₂);
- adoção de procedimentos de assentamento inadequados para materiais rochosos.

Ensaio Experimentais de Alterabilidade

Tendo em vista o exposto acima, descreve-se na Tabela 4 um conjunto de ensaios de alterabilidade representativo de situações intempéricas e de manutenção e uso.

Tabela 4 – Ensaios de alterabilidade e situações simuladas.

SITUAÇÃO	ENSAIO	OBJETIVO
Intempéries	Exposição a intemperismo artificial, em câmaras de condensação e irradiação de ultravioleta	Simulação da exposição de rochas, principalmente quando no revestimento de fachadas, à chuva (umidade) e sol (à irradiação solar, na faixa dos UV, potencialmente mais agressivos).
Ação de poluentes	Exposição a atmosferas ácidas e salinas	Simulação de ambientes urbanos poluídos (umidade e H ₂ SO ₄) e marinhos (névoa salina), potencialmente degradadores de materiais rochosos.
Manutenção e limpeza	Reagentes químicos utilizados em produtos de limpeza e de uso doméstico	Alguns reagentes químicos são colocados em contato com a superfície polida da rocha, por tempos predeterminados, para verificar a susceptibilidade da rocha ao seu uso, principalmente como materiais de limpeza. Baseado e adaptado do Anexo H da norma ABNT NBR 13.818/97.

(1) Procedimentos internos IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo)

Alterabilidade Ante Reagentes de Limpeza (Resistência ao Ataque Químico)

Consiste na exposição da superfície polida da rocha aos reagentes comumente utilizados na limpeza doméstica:

- ácido clorídrico: concentração 3%, em massa, por 168h;
- hidróxido de potássio: concentração 10%, em massa, por 168h;
- ácido cítrico: concentração 3%, em massa, por 6h;
- hipoclorito de sódio: concentração 2,5%, em massa, por 6h;
- hidróxido de amônio: concentração 10%, em massa, por 6h.

As eventuais alterações são verificadas visualmente ou através da medida do grau de lustro (antes e após o ensaio). É baseado na norma “Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio: determinação da resistência ao ataque químico”, ABNT NBR 13.818/97, anexo H, e foi adaptado e modificado para ladrilhos de rochas polidas.

Esses ensaios de alterabilidade comumente indicam que o ácido clorídrico provoca, em diferentes graus de intensidade, modificações na superfície polida das rochas, em especial as de natureza granítica. Frascá *et al.* (1999) verificaram que, em presença de soluções com HCl e em condições propícias, geralmente há a oxidação de minerais,

principalmente máficos (biotita), que tendem a empobrecer no elemento ferro.

Observa-se, nesse ensaio, desde o incipiente clareamento da área de contato, passando pelo clareamento e descoloração dos minerais máficos (Figura 1), chegando até o branqueamento total da rocha (em geral nos “granitos” pretos). Granitos cinza e/ou brancos podem exibir moderado branqueamento e até amarelamento, com migração de óxidos para as áreas adjacentes à ensaiada (Figura 2).



Figura 1 – Clareamento de rocha granítica em contato com HCl.



Figura 2 – Amarelamento de rocha granítica em contato com HCl.

Referências Bibliográficas

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12.042/92. *Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro.

_____. 1992. NBR 12.763/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à flexão*. Rio de Janeiro.

_____. 1992. NBR 12.764/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro.

_____. 1992. NBR 12.765/92. *Rochas para revestimento: determinação de coeficiente de dilatação térmica linear*. Rio de Janeiro.

_____. 1992. NBR 12.766/92. *Rochas para revestimento: determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d’água aparente*. Rio de Janeiro.

- _____. 1992. NBR 12.767/92. *Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.768/92. *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro.
- _____. 1992. NBR 12.769/92. *Rochas para revestimento: ensaio de congelamento e degelo conjugado à verificação de resistência à compressão*. Rio de Janeiro.
- _____. 1997. NBR 13.818/97, anexo H. *Determinação da resistência ao ataque químico*. Rio de Janeiro.
- _____. no prelo. *Rochas para revestimento de edificações: terminologia*. (Projeto 02:105.45-012).
- Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p.
- ASTM-American Society for Testing and Materials. 1995. D 2845/95. *Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks*.
- _____. 1999a. C119/99. *Standard terminology relating to dimension stone*.
- _____. 1999. C 503/99 – *Standard specification for marble dimension stone (exterior)*.
- _____. 1999. C 568/99 – *Standard specification for limestone dimension stone*.
- _____. 1999. C 615/99. *Standard specification for granite dimension stone*.
- _____. 1999. C 616/99 – *Standard specification for quartz-based dimension stones*.
- _____. 1999. C 629/99 – *Standard specification for slate dimension stones*.
- _____. 1999. C 880/99. *Standard test method for flexural strength of dimension stone*.
- Dib, P.P.; Frascá, M.H.B.O.; Bettencourt, J.S. 1999. *Propriedades tecnológicas e petrográficas do "Granito Rosa Itupeva" ao longo dos estágios de extração e beneficiamento*. In: SIMP.GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, São Pedro, 1999. Boletim de Resumos, SBG/UNESP: São Pedro. p.154.
- Frascá, M.H.B.O. (coord.); Mello, I.S.C.; Quitete, E.B. 2000. *Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. CD-ROM.
- Frascá, M.H.B.O. & Quitete, E.B. 1999. Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevidéo, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevidéo. v. 2. p. 1367-1373.
- Frascá, M.H.B.O., Frazão, E.B., Quitete, E.B. 1999. Alterabilidade de rochas ornamentais: metodologia para previsão da durabilidade pela exposição a produtos de limpeza. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevidéo, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevidéo. v. 3. p. 1831-1836.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. 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. v.1, p. 369-380.
- Viles, H.A. 1997. Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: Brune, D., Chapman, D.V., Gruynne, M.D., Pacyna, J.M. (ed.) 1997. *The global environment: science, technology and management*. Scandinavian Science Publ.; Weinheim; VCH: Germany. p. 599-609.
- Winkler, E.M. 1973. *Stone: properties, durability in man's environment*. New York:Springer-Verlag. 230p.

Tabela 3 – Especificações, segundo ASTM, para rochas ornamentais utilizadas no revestimento de edificações.

ENSAIO	TIPO DE ROCHA				
	“GRANITOS” ⁽¹⁾	MÁRMORES - EXTERIOR ⁽²⁾	“CALCÁRIOS” ⁽³⁾	“RICA EM QUARTZO” ⁽⁴⁾	“ARDÓSIAS” ⁽⁵⁾
densidade (kg/m ³)	≥2.560	2.595 (calcita) 2.800 (dolomita) 2.690 (serpentina) 2.305 (travertino)	I ≥1.760 II ≥2.160 III ≥2.560	I ≥2.003 II ≥2.400 III ≥2.560	n.e.
absorção d’água (%)	≤ 0,4	≤ 0,20	I ≤ 12 II ≤ 7,5 III ≤ 3	I ≤ 8 II ≤ 3 III ≤ 1	I ≤ 0,25 II ≤ 0,45
compressão uniaxial (MPa)	≥ 131	≥ 52	I ≥12 II ≥28 III ≥55	I ≥27,6 II ≥68,9 III ≥137,9	Segundo foliação: I ≥49,6 II ≥37,9 Perpendicular foliação: I ≥62,1 III ≥49,6
tração na flexão (MPa)	≥ 10,34	≥ 7	I ≥2,9 II ≥3,4 III ≥5,9	I ≥2,4 II ≥6,9 III ≥13,9	n.e.
flexão (MPa)	≥ 8,27	≥ 7	n.e.	n.e.	n.e.

1. ASTM C 615/99;
2. ASTM C 503/99: **calcita** = calcita mármores; **dolomita** = dolomita mármores; **serpentina** = serpentina mármores/serpentinitos
3. ASTM C 568/99: **I** = baixa densidade (1.760-2.160 kg/m³), **II** = média densidade (2.160-2.560 kg/m³), **III** = alta densidade (≥2.560 kg/m³)
4. ASTM C 616/99: **I** = arenito (≥60% sílica livre), **II** = arenito quartzítico (≥90% sílica livre), **III** = quartzito (≥95% sílica livre)
5. ASTM C 629/99: **I** = exterior, **II** = interior