

Ensaio de Caracterização Tecnológica e Alterabilidade de um granito denominado comercialmente *Tycoon Blue*

Elton Souza dos Santos

Bolsista PCI, Técnico em Controle Ambiental, CEFET Química

Adriano Caranassios

Orientador, Eng. Minas, D. Sc.

Resumo

O setor de rochas ornamentais se constitui num segmento promissor e gerador de divisas, renda e emprego para o Brasil. Dentre os vários tipos comerciais de rochas ornamentais e de revestimento, duas grandes categorias se destacam: os granitos e os mármore. Neste estudo, trabalhou-se com uma rocha granítica denominada *Tycoon Blue*. Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização química e física do granito, e observar, através dos resultados obtidos, se a rocha está em condições de ser utilizada para fins ornamentais. Para tanto, foram utilizados equipamentos de caracterização e alterabilidade que simulam, por exemplo, o ataque de vapor salino na rocha. Todos os ensaios foram baseados em normas da ABNT ou ASTM e todos apresentaram resultados satisfatórios, viabilizando a comercialização da rocha para fins ornamentais.

1. Introdução

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais usos incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc (Filho, 2007).

Cerca de 80% da produção mundial é atualmente transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária e 5% para outros campos de aplicação. Aproximadamente 60% dos revestimentos referem-se a pisos, 16% a fachadas externas, 14% a interiores e 10% a trabalhos de acabamento. Dentre os tipos de rochas existentes, os mármore representam, na atualidade, 45% da produção mundial, com 40% atribuídos aos granitos, 5% aos quartzitos e similares, 5% às ardósias e 5% aos demais tipos (Filho, 2007).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Como granitos, enquadram-se, genericamente, rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam rochas carbonáticas. Alguns outros tipos litológicos, incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também muito importantes setorialmente (Filho, 2007).

O padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificações de uma rocha na sua utilização como material para revestimento, mas outro parâmetro igualmente importante é a alterabilidade, pois rochas aplicadas

em revestimentos, principalmente externos, podem sofrer alteração de cor, apresentar manchas ou deslocamentos (Artur *et al*, 2002).

Há muito tempo desenvolveu-se a correlação qualitativa entre as feições das rochas com algumas de suas características tecnológicas (Artur *et al*, 2002). A constatação de que granitos amarelados são mais frágeis e porosos e que cristais de magnetita e pirita em ardósias levam ao desenvolvimento de manchas ferruginosas são alguns desses exemplos. Por isso o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como pedras de revestimento são fatores econômicos que influenciam na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material.

A degradação das rochas ocorre por meio de mudanças nas propriedades desses materiais, em contato com o ambiente natural, no decorrer do tempo e é mais pronunciada em centros urbanos e industriais, pois o ambiente urbano acelera e modifica os processos de alteração desses materiais, ou seja, altera e acelera os processos naturais. O tipo litológico (mineralogia, alteração, textura e estrutura), a presença de fraturas e/ou fissuras (porosidade) e o clima (temperatura e intensidade das chuvas, entre outros) podem ser considerados os fatores que mais influenciam a taxa de intemperismo físico e químico em rochas para revestimento (Frasca, 2003).

Todo o material empregado no setor da construção como rocha ornamental, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que orientam o uso principal da rocha. A fim de minimizar os problemas resultantes do pouco conhecimento do comportamento das rochas utilizadas para fins ornamentais, esses ensaios de caracterização vêm sendo desenvolvidos através de procedimentos padronizados (Frasca, 2003).

2. Metodologia

Os ensaios foram realizados utilizando uma rocha granítica denominada *Tycoon Blue* (ver figura 1), oriunda do município de Cachoeiro de Itapemirim, no Espírito Santo. Com ela, foram realizados os seguintes ensaios: exposição ao ataque químico, resistência à compressão uniaxial simples, resistência à compressão uniaxial associado ao congelamento e degelo, resistência ao impacto de corpo duro, exposição à névoa salina, exposição ao dióxido de enxofre, exposição à umidade, exposição aos raios ultravioleta e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais.



Figura 1: Foto do Corpo-de-Prova *Tycoon Blue*

2.1. Ensaios de Caracterização Tecnológica e de Alterabilidade

2.1.1. Ensaios de Exposição ao Ataque Químico

O objetivo deste ensaio é verificar a perda de brilho ou alteração visual das rochas após contato com os reagentes utilizados. Este ensaio segue a norma ABNT/NBR 13.818/97 e para a realização deste ensaio foram utilizadas cinco placas polidas com dimensões de 10 x 10 x 3 cm, na qual foram secas em estufa por 24h a uma temperatura média de 70°C. Depois de secas, limpam-se os corpos-de-prova com lenço de papel e mediu-se o brilho. Posteriormente, foram colados anéis de PVC com 8 cm de diâmetro por 2 cm de altura aproximadamente na superfície das placas, e dentro dos mesmos foram adicionados os reagentes químicos. Em seguida, cada anel foi coberto com filme plástico. Os reagentes utilizados estão descritos na tabela 1.

Tabela 1: Reagentes utilizados no ensaio de Resistência ao Ataque Químico.

Reagente	Concentração	Tempo de Ataque
Hidróxido de Potássio	100g/L	96h
Hipoclorito de Sódio	20mg/L	24h
Cloreto de Amônio	100g/L	24h
Ácido Clorídrico	3%	96h
Ácido Cítrico	100g/L	24h

2.1.2. Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial Simples

Este ensaio determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos (Moraes, 2007). Foram utilizados cinco cubos com dimensões entre 7 cm e 7,5 cm que foram colocados em estufa por 24h, a uma temperatura média de 70°C. Posteriormente foram submetidos à ação de compressão em uma prensa Modelo HD 200 T da empresa CONTENCO segundo norma ABNT/NBR 12.767/92.

2.1.3. Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial associado ao Congelamento e Degelo

Este ensaio representa as variações climáticas bruscas sofridas pelas rochas que se destinam a revestimentos em países cujas temperaturas atingem valores muito baixos. Tem como objetivo verificar o enfraquecimento da rocha após ciclos de congelamento e degelo, através da tensão de ruptura, quando submetidas a esforços compressivos (Moraes, 2007).

Para o ensaio de congelamento e degelo utilizou-se a norma ABNT/NBR 12.769/92, onde cinco cubos com dimensões entre 7 cm e 7,5 cm foram saturados em água, com 5% de álcool etílico, por 24 h. Posteriormente os corpos-de-prova foram colocados em geladeira, a -15°C, por 5 horas, sendo em seguida colocados em temperatura ambiente por 24 horas. Esse processo foi repetido por 25 vezes (ciclos). Ao final desses ciclos, realizou-se o ensaio de compressão uniaxial e comparou os resultados obtidos com os resultados de compressão ao natural feito anteriormente.

2.1.4. Ensaios de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este ensaio segue a norma ABNT/NBR 12.764/92 e tem como objetivo avaliar a propriedade que a rocha apresenta de resistir ao impacto ou choque exercidos sobre um corpo sólido. Utilizaram-se cinco corpos-de-

prova com dimensões de 20 x 20 x 3 cm. Os corpos-de-prova foram assentados e nivelados, uma a um, sobre um colchão de areia. Posteriormente alçou-se a esfera de aço, com peso de 1 Kg, até uma altura de 20 cm, abandonando-a a seguir em queda livre. A partir desta altura, repetiu-se o procedimento em intervalos superiores de 5 cm de altura, até observar a altura em que o corpo-de-prova sofreu ruptura. Esta altura foi anotada e posteriormente feito uma média dos resultados obtidos dos cinco corpos-de-prova utilizados.

2.1.5. Ensaio de Exposição à Névoa Salina

Segundo Moraes (2007), o ensaio de exposição à névoa salina simula as condições climáticas marinhas, permitindo a avaliação das alterações causadas pela exposição dos materiais rochosos às mesmas e tem como base à norma ABNT/NBR 8094/83.

Foram preparados sete cubos de 5 x 5 x 5 cm. Estes foram lavados com água destilada para a remoção de resíduos provenientes da operação de serragem e depois secos. A secagem foi realizada em estufa a 70°C, até que se obtivesse uma massa constante. Após a retirada dos corpos-de-prova da estufa, foram identificados e pesados. Após esta etapa, os corpos-de-prova foram pendurados no suporte correspondente dentro da câmara, e após o fechamento sofreram ação de spray salino por 6 horas e 12 horas de secagem totalizando 18 horas (1 ciclo). Durante o ciclo a temperatura da câmara foi mantida em $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$. O ensaio consiste em 30 ciclos, perfazendo 540 horas. Completados 15 ciclos, os corpos-de-prova foram retirados da câmara para um exame visual. Isso porque o ensaio pode ser finalizado antes de completar os 30 ciclos, se a perda de massa do corpo-de-prova for maior que 50%, o que, neste caso, não ocorreu. Ao término do ensaio, os corpos-de-prova foram imersos em água deionizada de modo que todos os sais depositados fossem removidos. Este processo demora em torno de uma semana. Após essa lavagem os corpos-de-prova foram secos em estufa a temperatura de 70°C por 24 h e depois de secos foram levados ao dessecador para esfriar. Este procedimento evita a absorção de umidade. Por fim, os corpos de prova foram pesados, obtendo deste modo, o seu peso final.

2.1.6. Ensaio de Exposição ao Dióxido de Enxofre (SO₂)

Este ensaio simula o efeito da atmosfera industrial rica em SO₂ e conseqüentemente, das chuvas ácidas resultantes dessa contaminação atmosférica sobre os materiais rochosos (Moraes, 2007) e é baseado na norma ABNT/NBR 8096/83 para a execução do mesmo em materiais metálicos revestidos e não-revestidos.

Inicialmente, foi realizada a lavagem e secagem dos corpos-de-prova (três placas polidas de 10 x 10 x 3 cm) em estufa por 24 horas à 70°C. Depois foram medidos os valores iniciais de brilho, com o medidor de brilho modelo MICRO-TRI-GLOSS e foi realizada a pesagem dos mesmos. Os corpos-de-prova foram colocados na câmara, suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de *nylon*, foi ajustada à temperatura para 40°C e foi adicionado o SO₂. Esta combinação temperatura/umidade/vapor de SO₂ forma um ambiente ácido, que ataca os corpos-de-prova, simulando o efeito da chuva ácida. Os corpos-de-prova ficaram expostos a este ambiente por 8 horas. Após isso, a câmara foi aberta para ventilação por 16 horas, concluindo 1 ciclo (24 horas). Por fim, foi medido o brilho e pesado os corpos-de-prova. Foram realizados 30 ciclos, perfazendo 720 horas de ensaio.

2.1.7. Ensaio de Exposição à Umidade

Este ensaio tem por objetivo reproduzir a ação de uma atmosfera condicionada por aquecimento e umidificação, em temperaturas previamente determinadas na rocha a ser ensaiada e se baseia na norma ABNT/NBR 8095/83.

Para o ensaio, três placas polidas de dimensões 10 x 10 x 3 cm foram pesadas e postas para secar em estufa por 24 horas à 70°C. Posteriormente mediu-se o brilho inicial. Foi reservado um corpo-de-prova padrão para avaliação visual da degradação através da comparação com os que foram expostos. Ao fim dos 30 ciclos de 24 horas cada, os corpos-de-prova foram secos. Foram feitas a medição de brilho e a pesagem final.

2.1.8. Ensaio de Exposição aos Raios Ultra Violeta (UV)

Neste ensaio, simula-se os danos causados pela radiação ultravioleta e oxidação por ciclos de umedecimento e secagem na rocha. Para este ensaio, foram utilizados três placas polidas de dimensões de 30 x 7 x 3 cm.

Primeiramente, foi medido o brilho e pesados os corpos-de-prova, após a secagem em estufa por 24 horas à 70°C. Os corpos-de-prova foram colocados na câmara, mantendo uma amostra padrão comparativa. Ao final de 50 ciclos, os corpos-de-prova foram secos novamente a 70°C. Por fim, foram realizados a medição do brilho e pesagem final, observando-se possíveis alterações superficiais em comparação com o corpo-de-prova padrão.

Os procedimentos adotados seguem as diretrizes do método ASTM G 53/91, porém foi utilizado um número maior de horas de exposição, ou seja, 400 h (50 ciclos), uma vez que até o momento não existem normas técnicas específicas para o ensaio de UV em rochas.

2.1.9. Ensaio de Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas Longitudinais

O objetivo deste ensaio é avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas. Este ensaio foi feito em uma amostra destinada ao ensaio de compressão.

O aparelho utilizado foi o PUNDIT PLUS. Para o ensaio, posicionaram-se os dois transdutores piezométricos, um de emissão e outro de recepção, em faces opostas do corpo-de-prova de forma a realizar uma transmissão direta. Realizou-se a leitura do tempo de propagação de onda, no visor do equipamento, e utilizou-se este dado para o cálculo da velocidade em cada corpo-de-prova testado. Este ensaio foi realizado segundo a norma ASTM D 2845/00.

3. Resultados e Discussões

3.1. Ensaio de Exposição ao Ataque Químico

A tabela 2 apresenta os resultados da exposição da rocha ao ataque químico. Com base nesses resultados, pode-se observar que a rocha não sofreu alteração visual frente aos referidos reagentes, havendo apenas uma pequena perda de brilho. Dessa forma, de acordo com as normas estabelecidas para este ensaio, a rocha estaria apta para utilização como revestimento (Ribeiro *et al*, 2007).

Tabela 2: Variação do brilho e aspecto visual e microscópico após Ataque Químico.

Reagentes	Perda de brilho (%)	Aspecto Visual	Aspecto Microscópico
Hipoclorito de Sódio	--	Não houve alteração	
Ácido Cítrico	2,0	Não houve alteração	
Hidróxido de Potássio	4,2	Não houve alteração	
Cloreto de Amônio	3,9	Não houve alteração	
Ácido Clorídrico	3,2	Não houve alteração	

3.2. Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial Simples e associado ao Congelamento e Degelo

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de compressão ao natural e associado ao gelo-degelo. Em relação aos resultados de compressão ao natural pode-se verificar que o granito apresentou um valor médio de 159 MPa, considerado aceitável para este tipo de rocha segundo às especificações da ASTM C 615, que preconiza valores superiores a 131 MPa (Ribeiro *et al*, 2007). Ao comparar o resultado de compressão ao gelo-degelo com a compressão ao natural, verificamos que a rocha sofre alteração com diminuição brusca de temperatura, diminuindo a tensão de ruptura. Porém são resultados pouco significativos, uma vez que o coeficiente de enfraquecimento, obtido através da divisão da média da tensão ao natural pela média da tensão ao gelo-degelo se mostrou baixo (1,07) e a média de tensão de ruptura atingida se mostrou superior a 131MPa.

Tabela 3: Comparação dos resultados obtidos nos ensaios de compressão ao natural e gelo-degelo

	Compressão	
	Natural	Gelo-degelo
01	204,43	120,58
02	128,05	127,45
03	156,88	107,61
04	167,65	220,16
05	138,17	169,44

* Coeficiente de Enfraquecimento

3.3. Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Em relação ao resultado de resistência ao impacto de corpo duro observou-se que a rocha apresentou rachaduras a partir da queda da esfera de aço de uma altura de 0,47 m (obtido através da média dos resultados dos corpos-de-prova ensaiados). Tal resultado pode ser considerado plausível, pois segundo estudos de Frazão e Farjallat (1995) os valores ideais para granitos devem ser maiores ou iguais a 0,4 m.

3.4. Ensaio de Exposição à Névoa Salina

A tabela 4 mostra os resultados obtidos nos ensaio de exposição à névoa salina. Os corpos-de-prova não sofreram nenhum ataque a névoa salina, com perda de menos de 0,01% de massa e sem mudança no aspecto visual. Com isso pode-se afirmar que a rocha pode ser utilizada para revestimento em locais que sofrem influência de salinidade.

Tabela 4: Valores de perda de massa após ataque de névoa

Corpo de Prova			
01	341,35	341,33	0,006
02	342,82	342,79	0,009
03	340,75	340,72	0,009
04	335,42	335,41	0,003
05	346,70	346,66	0,012
06	336,42	336,39	0,009
07	339,96	339,93	0,009

3.5. Ensaio de Exposição ao Dióxido de Enxofre (SO₂)

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos onde podemos observar perda de 25% do brilho da rocha. No entanto essa perda não afetou as características macroscópicas da rocha, já que não se observaram mudanças visuais. Em relação à massa do corpo de prova, observou-se uma perda em torno de 1,4%.

Tabela 5: Valores de perda de brilho e perda de massa após ataque de SO₂.

Brilho			
70,7	53,1	25,0	1,4

3.6. Ensaio de Exposição à Umidade

A tabela 6 apresenta os resultados de perdas de brilho e massa da rocha após ataque de umidade. Pode-se verificar que a rocha praticamente se manteve inalterada, havendo uma pequena perda de brilho, em torno de 9,7% , não havendo perda de massa consubstancial.

Tabela 6: Valores de perda de brilho e perda de massa após ataque de umidade.

Brilho			
72,3	65,4	9,7	0,01

3.7. Ensaio de Exposição aos Raios Ultra Violeta (UV)

Em relação ao resultado do ataque de raios ultravioletas (tabela 7), verificou uma perda de brilho de 6% (brilho inicial de 75,1 e final de 70,7). Porém, essa perda de brilho não afetou as características macroscópicas da rocha, sem mudanças visuais. Em relação à massa do corpo de prova, não houve perda de massa.

Tabela 7: Valores de perda de brilho e massa após exposição dos corpos-de-prova aos raios UV.

Corpo de Prova	Brilho Inicial (g)	Brilho Final (g)	Perda de Brilho (%)	Perda de Massa (%)
01	78,7	73,1	7,1	0,004
02	70,0	65,0	7,1	0,003
03	76,7	73,9	3,7	0,005
<i>Média</i>	<i>75,1</i>	<i>70,7</i>	<i>5,9</i>	<i>0,004</i>

3.8. Ensaio de Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas Longitudinais

Em relação ao resultado de velocidade ultra-sônica pôde-se observar um valor de 4.958,7 m/s. Valor este considerável aceitável segundo estudos de Frazão e Farjallat (1995), que estipulam como valor ideal 4.000 m/s.

4. Conclusão

Podemos concluir que em todos os ensaios obtivemos resultados satisfatórios, uma vez que as perdas de brilho e massa não afetaram os índices impostos para os ensaios de ataque químico, névoa salina, SO₂, umidade e UV e que a rocha possui uma boa resistência física, comprovada com os resultados dos ensaios de compressão, gelo-degelo e impacto de corpo duro. Dessa forma, pode-se classificar a rocha como adequada para fins ornamentais como, por exemplo, em acabamentos de superfícies, especialmente em pisos e fachadas e em obras de construção civil.

5. Agradecimentos

A Deus, por tudo que tens feito em minha vida. Ao CETEM. Ao CNPq pela bolsa. Aos Dsc. Roberto Carlos, Julio Guedes e Joedy Queiroz pelo auxílio e a todos os meus amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

6. Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983, NBR 8094/83: **Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição à névoa salina**, Rio de Janeiro.

_____. (1983) NBR 8095/83: **Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição à umidade**, Rio de Janeiro.

_____. (1983) NBR 8096/83: **Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição ao dióxido de enxofre**, Rio de Janeiro.

_____. (1992) NBR 12764/92: **Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro**, Rio de Janeiro.

_____. (1992) NBR 12767/92: **Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial**, Rio de Janeiro.

_____. (1992) NBR 12769/92: **Rochas para revestimento – Ensaio de congelamento e degelo conjugado a verificação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro.

_____. (1997) NBR 13818/97: **Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao ataque químico**, Rio de Janeiro.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1991, G 53/96: **Standard practice for operating light - and water - exposure apparatus (fluorescent UV - condensation type) for exposure of non-metallic materials**, Philadelphia.

_____. (1999) C 615/99: **Standard specification for granite dimension stone**, Philadelphia.

_____. (2000) D 2845/00: **Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks**, Philadelphia.

ARTUR, A. C. ; WERNICK, E. ; RODRIGUES, E. P. ; ANDRIGHETTI, R. M. ; SOUZA, P. H. G. . **Perda de lustro de rochas ornamentais durante abrasão progressiva: principais fatores condicionantes**. In: III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002, Recife - PE. Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. v. 1. p. 24-37.

FILHO, C.C. **Conheça as Rochas Ornamentais**. Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos. Disponível em: http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php> Acesso em: 02 out. 2007.

FRASCÁ, M. H. B. O., **Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FRAZÃO, E. B. E.; FARJALLAT, J. E. S., **Características tecnológicas das principais rochas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. In: I Congresso Internacional da Pedra Natural, Lisboa, Portugal, 1995, 47 - 58 p.

MORAES, J. M. **Manual de Procedimentos e Normas Técnicas para Ensaios com Rochas Ornamentais**, CETEM, Rio de Janeiro, Abril 2007.

RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G.; CARANASSIOS, A. **Avaliações Química, Mineralógica e Física de um Granito da Empresa PEMAGRAM**. Relatório Técnico Interno (RT2007-016). CETEM, Rio de Janeiro, 2007.