



Considerações Sobre Manifestações Patológicas em Rochas Ornamentais na Construção Civil

Wollker Cunha SOARES¹; Luzia Suerlange Araújo dos SANTOS^{1,3}; Irani Clesar MATTOS²; Esequiel Fernandes Teixeira MESQUITA; Agnaldo Francisco de FREITAS FILHO³; Francisco Diones Oliveira SILVA²; Joel Pedrosa SOUSA³

RESUMO: As rochas utilizadas em edificações e revestimentos apresentam grandes variedades e características peculiares: cor, aspecto e textura. Estas rochas estão sujeitas a diversos modos de utilização, que, dependendo de suas propriedades e aplicabilidade, podem sofrer alterações, que podem provocar o surgimento de danos, com efeito na durabilidade destes materiais. Fatores como umidade, temperatura, presença de contaminantes atmosféricos, inadequação de uso do material, problemas de assentamento e manutenção, além da utilização de produtos domissanitários, podem dar origem a algumas patologias nas rochas. Para determinar as propriedades materiais e as condições de aplicabilidade das rochas ornamentais, ensaios que permitam classificar o melhor uso desse material devem ser realizados. Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo contribuir para a implementação do conhecimento no âmbito da durabilidade das rochas ornamentais comumente utilizadas na construção civil. Deste modo, será realizada uma breve revisão de literatura acerca dos principais danos ocorrentes em rochas ornamentais, bem como potenciais mecanismos de atenuação e tratamentos. A partir da análise realizada, é possível identificar que os danos ocorridos em rochas ornamentais empregadas na construção civil tem relação estreita com a má utilização ou, ausência de manutenção adequada destas rochas.

Palavras-chave: Rochas ornamentais, Revestimento, Caracterização Tecnológica, Obras civis.

ABSTRACT: *The rocks used in buildings and coatings have large varieties and peculiar characteristics: color, appearance and texture. These rocks are subject to various modes of use, which, depending on its properties and applicability, can undergo changes, which may cause the appearance of damage, with effect on the durability of these materials. Factors such as humidity, temperature, presence of contaminants in the air, inadequate use of the material, problems of settlement and maintenance, in addition to the use of products domissanitários, may give rise to certain pathologies in the rocks. To determine*

¹ Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

² Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará

³ Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará

Autor para correspondência: Wollker Cunha Soares

Endereço: Rua E casa 104, Conjunto Eldorado 2 – Caucaia – CE – CEP: 61656-320

E-mail: wollkercunhasoares@gmail.com

Recebido em 01 de Agosto de 2018 / Aceito em 30 de Dezembro de 2018.

the material properties and the conditions of applicability of ornamental stones, testing to determine the best use of this material should be performed. In this way, there will be a brief review of the literature on the main damage occurring in ornamental, as well as potential mechanisms of attenuation and treatments. From the analysis performed, it is possible to identify that the damage occurring in ornamental stones used in construction is closely interlinked with the misuse or lack of proper maintenance of these rocks.

Keywords: Ornamental Rocks, coating, technological characterization, civil works.

1. INTRODUÇÃO

As rochas utilizadas em edificações e revestimentos apresentam diversos tipos de patologias, que ocorrem nos revestimentos com placas de rocha, desde simples manchamentos, interferindo na estética, até o surgimento de fissuras, quebras e destacamentos, que causam grandes prejuízos e comprometimento de toda a sua funcionalidade e segurança. Exemplos destes prejuízos podem ser encontrados em relatos como o do Bank of East Asian, cujas placas de granito da fachada apresentaram problemas de fissura e destacamento, causando prejuízos de US\$ 38 milhões; e um outro caso no ano de 2002 de um edifício na cidade do Rio de Janeiro em que também houve destacamento de placas de fachada provocando ferimentos em várias pessoas e consideráveis danos materiais (MARANHÃO, 2006).

Essas patologias ocorrem devido as variedades e características peculiares: cor, aspecto e textura. Estas rochas estão sujeitas a diversos modos de utilização, que, dependendo de suas propriedades e aplicabilidade, podem sofrer alterações, e provocar o surgimento de danos, com efeito na durabilidade destes materiais. Fatores como umidade, temperatura, presença de contaminantes atmosféricos, inadequação de uso do material, problemas de assentamento e manutenção, além da utilização de produtos domissanitários, podem dar

origem a algumas patologias nas rochas.

O Brasil apresenta um cenário positivo no setor de rochas ornamentais, principalmente nas exportações, o qual exportou para 120 países, mais de 2 milhões de toneladas no período de Janeiro a Outubro de 2017, com destaque para EUA, China e Itália. Tais foram efetuadas por 18 estados brasileiros, sendo os principais: Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará e Bahia, (ABIROCHAS, 2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 15844:2015) define rochas ornamentais como material rochoso natural submetido a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. Já rocha de revestimento é definida como rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada como bancadas de pias de banheiros e cozinhas e no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil.

Para definir o uso e a aplicação das rochas ornamentais, se faz necessário o conhecimento do ambiente em que as mesmas serão aplicadas, bem como sua composição mineralógica, textura e porosidade, por exemplo (FRASCÁ, 2002). Diante disto este trabalho tem como objetivo realizar uma breve revisão de literatura acerca dos

principais danos ocorrentes em rochas ornamentais, bem como potenciais mecanismos de atenuação e tratamentos. A partir da análise realizada, é possível identificar que os danos ocorridos em rochas ornamentais empregadas na construção civil tem relação estreita com a má utilização ou, ausência de manutenção adequada destas rochas.

2. ENSAIOS APLICADOS AS ROCHAS ORNAMENTAIS

2.1 Ensaios tecnológicos

2.1.1 Análise Petrográfica

Para a realização deste ensaio é necessário extrair da amostra um fragmento de 5cm que melhor represente as estruturas da rocha, realizar corte para que se obtenha um paralelograma de 4cm x 3cm x 1cm, lixar uma de suas faces e colar a lâmina de vidro fosqueada por abrasivos. Caso a rocha seja estruturada a lâmina de vidro deve ser colada na face que corresponde ao plano perpendicular a estrutura. Cortar o paralelograma na espessura de 5 mm, e depois desgastá-lo até uma espessura de 70 μ m e completar o desgaste na placa de vidro com abrasivo de granulação progressivamente mais fina, até obter uma seção delgada de 30 μ m. Limpar a superfície com reagente adequado e colar a lâmina de vidro (NBR 15845-1, ABNT 2015).

Para a execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados, análises macroscópica e microscópica:

Na análise macroscópica devem constar as seguintes informações: Cor ou gama, da placa polida ou não de uma amostra de mão, no estado úmido; Estrutura apresentada no plano da placa ou no plano de serragem da amostra de

mão; Granulação; Fraturas, cavidades, poros etc., mencionando se estão abertos ou preenchidos; Evidências de alteração; Eventual presença de macrofósseis; Eventual presença de xenólitos ou intrusões máficas. Na análise microscópica é necessária a utilização de um microscópio petrográfico para obter informações como: textura e relações de contato; descontinuidades, fraturas e microfissuras, abertas ou preenchidas; constituinte minerais, com indicação em porcentagem, dos essenciais e dos acessórios, indicar o método usado (avaliação visual) presenças dos minerais secundários ou de alteração; tamanho dos minerais; hábito do minerais; formato dos grãos; grau de seleção; distribuição dos grãos; orientação das estruturas; estado de alteração dos minerais; graus de alteração das rochas; ao se tratar de rochas sedimentares, citar, quanto a matriz, a presença de poros ou microcavidades e de remanescentes organogênicos. Desta forma a rocha é identificada e suas características microscópicas são registradas (NBR 15845 – 1, ABNT 2015).

2.1.2 Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água

Para este tipo de ensaio é necessário lavar os corpos-de-prova em água corrente e escová-los com escova de cerdas macias, colocar os corpos-de-prova em estufa ventilada a temperatura de $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ até massa constante (que é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas, num intervalo de $24\text{h} \pm 2\text{h}$, for menor que 0,1%), retirar os corpos-de-prova da estufa e deixar resfriar no dessecador à temperatura ambiente, pesar os corpos-de-prova individualmente ao ar, com precisão de 0,01g; anotar a massa seca " M_{sec} ". Tendo a massa seca,

o próximo passo é colocar os corpos de prova no dessecador ou na bandeja e adicionar água deionizada ou destilada, até 1/3 de sua altura. Após 4 horas adicionar água até 2/3 da altura dos corpos de prova, após 4 horas completar a submersão dos corpos de prova. Após este período deixá-las por mais 40h ou opcionalmente deixá-los sob vácuo por no mínimo 2h. Pesar os corpos de prova individualmente, na condição submersa, utilizando-se o dispositivo da balança para pesagem hidrostática, amarrando-se o corpo de prova com fio de massa desprezível, anotando a massa submersa " M_{sub} ". Retirar os corpos de prova da água, enxugar suas superfícies com um pano levemente úmido e pesar ao ar; anotar massa saturada " M_{sat} " absorvente a pesar ao ar, anotando o peso saturado (NBR 15845 – 2, ABNT 2015).

Tendo em mãos os resultados das " M_{sec} ", " M_{sub} " e " M_{sat} " podemos calcular a densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente utilizando as seguintes fórmulas:

a) Densidade aparente:

$$\frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

b) Porosidade aparente:

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

c) Absorção d'água aparente:

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

Onde:

M_{sec} = Massa seca;

M_{sat} = Massa saturada;

M_{sub} = Massa submersa.

2.1.3 Resistência à Compressão Uniaxial

Neste ensaio prepara-se os corpos de prova em um formato cúbico, com dimensões das arestas entre (70 ± 2) mm e (75 ± 2) mm e relação de dimensões entre base e altura de 1:1. Os corpos de prova, quando cúbicos, devem formar ângulos de $(90 \pm 0,5)^\circ$ entre as duas faces consecutivas e estes quando cilíndrico deve garantir o mesmo ângulo entre as bases e a geratriz. O ensaio é realizado nas condições seca e saturada em água sendo preparados 5 (cinco) corpos de prova para cada condição.

Para realização do ensaio foram retiradas as medidas a_1 , a_2 , a_3 e a_4 , onde a_1 , a_2 , a_3 e a_4 = lado do corpo de prova. Anotou-se as medidas em folha própria e calculou-se através de $a_1 \times a_2$ a área da face do corpo de prova. Para o ensaio em condição seca, é necessário deixar os corpos de prova na estufa $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 48h. No caso de ensaio na condição saturada em água, submergir metade dos corpos de prova em água por 8h, completar a submersão e deixar por 48 h. Enxugá-los com pano úmido e imediatamente ensaiá-los. Utilizando-se uma prensa EMIC de 1000 kN coloca-se o corpo de prova no centro inferior da prensa e movimentar-se o prato superior da prensa até obter o ajuste dos pratos da prensa com o corpo de prova. Aplicam-se cargas, de modo contínuo e progressivo, a uma taxa menor que 0,5 MPa/s, até que ocorra a ruptura do corpo de prova. Após a ruptura anotar a força de ruptura máxima registrada no ensaio (NBR 15845-5, ABNT 2015).

Para calcular a tensão de ruptura na compressão utiliza-se a seguinte expressão:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Onde:

σ_c é a tensão de ruptura na compressão expressa em megapascals (MPa)

P é a força máxima de ruptura expressa em quilonewtons (kN)

A é a área da face do corpo de prova submetida a carregamento, expressa em metros quadrados (m²).

2.1.4 Módulo de Ruptura (Flexão por carregamento em 3 pontos)

Para a realização deste ensaio são necessários no mínimo, 10 (dez) corpos de prova para cada condição, seca e saturada. Os corpos de prova devem ter formato retangular, com dimensões de (50x100x200)mm. Efetuam-se medições das dimensões do corpo de prova sobre linhas demarcadas e registram-se os valores finais como a média aritmética dessas medidas. Para ensaio na condição seca, deixar os corpos de prova previamente na estufa, a (70±5)°C, por no mínimo 48h, e ensaiá-los logo após o resfriamento em ambiente de baixo grau higrométrico, até temperatura ambiente. Para a condição saturada em água, assentam-se os corpos de prova pelo plano comprimento-largura na bandeja, adiciona-se água até sua metade, e após 8 h, completa-se a submersão e deixa-se por 48h. Ensaia-los logo após sua retirada da bandeja, secando-as com plano úmido. Após a etapa de secagem e saturação a ruptura pode se feita da seguinte forma: assenta-se o corpo de prova sobre os cutelos inferiores da prensa, EMIC, nas posições correspondentes às linhas demarcadas à 9cm da linha média (com vão de ensaio de aproximadamente 18cm). Assenta-se o cutelo superior na posição correspondente à linha média traçada no corpo de prova, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do

sistema corpo de prova/cutelos/prensa. Efetua-se o carregamento de modo lento e progressivo, com uma taxa de carregamento menor que 4.450 N/min, até que ocorra a ruptura do corpo de prova. Após a ruptura do corpo de prova anota-se a carga de ruptura em MPa (NBR-15845-6, ABNT 2015). Os resultados devem ser expressos em tensão de ruptura calculada pela seguinte expressão:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (5)$$

Onde:

σ_f = Valor numérico do módulo de ruptura (MPa);

P = é o valor numérico da força de ruptura, expresso em kilonewtons (kN);

L = é o valor numérico da distancia entre os roletes inferiores, expresso em metros (m);

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

d = é o valor numérico da espessura do corpos de prova (m).

2.1.5 Determinação do desgaste por abrasão de materiais inorgânicos

A realização deste ensaio deve ser feita com 2 (dois) corpos de prova na forma de um paralelepípedo regular medindo 70±2 mm e com altura entre 25 a 50 mm. Deve-se medir 30 mm das arestas em direção ao centro dos corpos de prova, utilizando-se do dispositivo para medir a perda de espessura, chamado de medidor comparador. Realiza-se a primeira medida no medidor comparado e coloca-se os corpos de prova no aparelho utilizado, chamado AMSLER, o qual possui dois dispositivos chamados de sapatas, onde são colocados os corpos de prova nas respectivas sapatas e

aplica-se uma carga de 66N em cada peça. Com os corpos de prova em seus lugares e devidamente acomodados deve-se iniciar o desgaste e liberar o abrasivo (areia normal n°50) em uma vazão constante de 72 ± 6 cm³/min. Coloca-se o equipamento em funcionamento, até que tenha se obtido 250 voltas, equivalente a 500 m. Retiram-se os corpos de prova do equipamento, realizando-se mais uma vez a medição no medidor comparador, tendo o cuidado de retirar o excesso de abrasivo da amostra antes de realizar a operação e repetir a operação de desgaste com mais 250 voltas até completar 500 voltas, para que se possa obter o total de 1000 m, onde após realizar a última medição, obtendo-se três valores médios nas dadas situações, valor inicial, valor ao final de 50 m e por fim o valor ao final de 1000 m. Os resultados relativos a 500 m e a 1000 m de percurso são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura final e leitura intermediária, e pela diferença entre a leitura final e a inicial (NBR 12042, ABNT 2012).

2.1.6 Resistência ao impacto de corpo duro

Para a realização deste ensaio a amostra de rocha deve ser representativa das características da jazida de interesse e devem ser preparados, no mínimo, cinco corpos de prova na forma de placas com acabamento e espessura de uso e apresentar as dimensões de 20 cm X 20 cm ($\pm 0,05$ cm), nos quais as superfícies devem ser paralelas entre si, sendo que o corte final deve apresentar as feições estéticas que terão as placas quando do seu emprego na obra e espessuras de 2,5 ($\pm 0,2$ cm). Para a execução do ensaio deve-se assentar o corpo de prova sobre um colchão de areia (normal), medindo 10 cm de espessura, nivelando-a o mais

perfeitamente possível com auxílio do nível de bolha. Alça-se a esfera de aço, a qual tem peso de 1 kg e faz parte de um dispositivo armado em aço e cano de PVC, até uma altura inicial de 20 cm (distância entre a face da placa a ser submetida ao impacto e o centro de massa da esfera), abandonando-a a seguir em queda livre. A partir desta altura inicial, deve-se repetir o procedimento em intervalos, crescentes, de altura de 5 cm até que ocorra fissura ou ruptura da placa. As alturas em que esses eventos ocorrerem deverão ser anotadas segundo (NBR 15845-8, ABNT 2015). Os resultados deverão ser expressos, segundo NBR 15845-8 (ABNT 2015), pela média aritmética das alturas de rupturas e pela energia de ruptura das placas de acordo com a seguinte expressão:

$$W = m \times g \times h \quad (6)$$

Onde:

W = representa a energia de ruptura, expressa em joules (J);

m = é a massa da esfera em kg;

g = é a aceleração da gravidade (9,806 m/s²)

h = altura de ruptura expressa em metros.

2.1.7 Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear

Neste ensaio utiliza-se 2 (dois) corpos de prova, na forma cilíndrica. No caso de corpos de prova obtidos de amostras na forma de placas, são necessários dois corpos de prova obtidos em direções ortogonais e contidas no plano da placa. As placas devem ter espessura mínima de 30 (± 2) mm. Os corpos de prova, cilíndricos, devem ser retos (não oblíquos), seus topos paralelos e todas suas superfícies lisas, sem rugosidades (NBR 15845-3, ABNT 2015).

Para a execução do ensaio adotam-se os procedimentos indicados na NBR 15845-3 (ABNT 2015). Coloca-se os corpos de prova no dessecador com água, deionizada ou destilada, e proceder a sua saturação, sob vácuo, por no mínimo 2h ou nas condições do ambiente por no mínimo 24h. Retira-se o corpo de prova do dessecador e mede-se seu comprimento inicial (L_0). Executa-se o ensaio da seguinte maneira:

1. Introduzir o corpo de prova no equipamento;
2. Ajustar o dispositivo de medição de deformações no topo do corpo de prova;
3. Proceder ao resfriamento até a estabilização na temperatura mínima (0 °C) e na deformação do corpo de prova, registrar o valor alcançado – incremento negativo ($|\Delta L|$) (contração);

Procede-se ao aquecimento até a estabilização na temperatura máxima (50 °C) e na deformação do corpo de prova, registrar o valor alcançado – incremento positivo ($|\Delta L|$) (contração). O resultado deve ser expresso como a média dos coeficientes de dilatação térmica linear no resfriamento e no aquecimento calculados pelas seguintes expressões:

$$\alpha_1 = \frac{\Delta L_1}{L_0 \times \Delta T_1} \quad (7) \quad \alpha_2 = \frac{\Delta L_2}{L_0 \times \Delta T_2} \quad (8)$$

Onde:

α_1 é o coeficiente de dilatação térmica linear no resfriamento, expresso em milímetros por metros vezes grau centígrado (mm/m x °C);

α_2 é o coeficiente de dilatação térmica linear no aquecimento, expresso em milímetros por metros vezes grau celsius (mm/m x °C);

ΔL_1 é o diferencial de comprimento do corpo de prova no resfriamento, expresso por milímetros (mm);

ΔL_2 é o diferencial de comprimento do corpo de prova no aquecimento, expresso por milímetros (mm);

L_0 é o comprimento inicial do corpo de prova, expresso em metros (m);

ΔT_1 é o diferencial de temperatura no resfriamento, expresso em graus celsius (°C);

ΔT_2 é o diferencial de temperatura no aquecimento, expresso em graus celsius (°C).

2.1.8 Determinação da resistência ao ataque químico

Para realizar este ensaio as amostras de rocha deverão ser preparadas, no mínimo, cinco corpos de prova na forma de placas polidas com acabamento e espessura de uso e apresentar as dimensões de 10 cm X 10 cm ($\pm 0,05$ cm), nos quais as superfícies devem ser paralelas entre si, sendo que o corte final deve apresentar as feições estéticas que terão as placas quando do seu emprego na obra e espessuras entre 2,5 e 3,0 cm ($\pm 0,2$ cm) (NBR 13818, ABNT 1997).

Para a execução do ensaio deve-se limpar a superfície polida do corpo de prova com álcool etílico (etanol) ou outro solvente adequado, retirar as fotografias das superfícies polidas antes do ataque químico para posterior avaliação e, com auxílio de um espectrofotômetro e um medidor de brilho, mede-se a cor e o brilho das superfícies polidas antes do ataque químico. Após as medições é necessário fixar o cilindro de PVC ou similar sobre a superfície polida do corpo de prova com a massa de vedação, de modo que não haja vazamento da solução pelas bordas do cilindro. Enche-se os cilindros com as soluções, ácido cítrico, cloreto de amônia, hipoclorito de sódio, hidróxido de potássio e ácido clorídrico,

mantendo a temperatura a $(25 \pm 5 \text{ mm})^\circ\text{C}$, até um nível mínimo de $(20 \pm 5 \text{ mm})$. A seguir cobre-se com uma placa petri, de vidro e manter a solução em contato com a superfície polida durante os espaços de tempos previstos de 24 horas, para ácido cítrico, cloreto de amônia e hipoclorito de sódio, e 96 horas para o hidróxido de potássio e o ácido clorídrico. Agita-se levemente o conjunto em ensaio uma vez ao dia e se houver abaixamento do nível da solução, reabastecê-la até o nível de início do ensaio (marcação inicial). Substitui-se a solução após dois dias para repor eventual consumo de reagente pela placa de rocha. Passadas as horas do contato entre a substância e a rocha, é feita a remoção da solução de ataque, os cilindros e os resíduos da massa de vedação. Limpa-se a superfície polida com solvente para gordura (por exemplo, thinner) e seca-se em seguida (NBR 13818, ABNT 1997). O passo seguinte é medir a cor, brilho e retirar fotografias das superfícies polidas dos corpos de prova após os ataques químicos. Os resultados deverão ser expressos de três formas:

- a) Resultado de avaliação visual, baseado em fotos ou uma amostra padrão, do mesmo material utilizado no ensaio;
- b) Resultado de avaliação de mudança de cor, baseado em medidas colorimétricas de antes e após o ataque químico nas superfícies polidas e;
- c) Resultado de avaliação de perda de brilho, baseado em medidas de antes e após o ataque químico nas superfícies polidas.

3. PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

As patologias nos revestimentos são estudadas com o intuito de diagnosticar as causas do problema, estabelecer os devidos reparos de acordo

com o revestimento em questão, além de fornecer os procedimentos que minimizem ou evitem a ocorrência dessas patologias em outros revestimentos pétreos (IAMAGUITI, 2002).

Em geral, as patologias estão associadas a diversos fatores:

- Especificação de materiais incompatíveis com as condições de utilização, por desconhecimento das características e propriedades das “pedras”, bem como do nível de solicitações a que as mesmas estarão submetidas dentro de sua vida útil;
- Emprego das técnicas de execução não adequadas;
- Ausência de um projeto construtivo;
- Falta de controle de qualidade das etapas de produção.

A alteração do revestimento pétreo está intimamente ligado à interação dos agentes ambientais sobre a natureza da rocha. Rochas carbonáticas como mármore e calcários são atacados por ácidos e resistem pouco à abrasão. Arenitos, rochas muito porosas, sofrem ações de tração, devido à cristalização dos sais nos espaços intergranulares, principalmente os de granulação fina, homogênea e desprovidos de estruturas planares. Os granitos são as rochas mais resistentes aos agentes agressores, tanto químico quanto físicos.

Rochas que apresentam alto grau de absorção d'água, avançado grau de alteração mineralógica ou presença de minerais deletérios serão muito mais susceptíveis à aparição de manifestações patológicas.

As patologias são provocadas por agentes físicos, químicos e biológicos, atuam sobre a rocha de maneira tanto isolada como simultânea. Esses fatores podem ser intrínsecos ou extrínsecos (IAMAGUTI, 2002).

O primeiro refere-se às caracte-

rísticas dos materiais e o segundo inclui o sistema de fixação das placas ao substrato, as condições do meio e as técnicas de manutenção do revestimento. As alterações mais frequentes, observadas nos revestimentos pétreos são: modificações na coloração original, manchamentos, eflorescências, degradações, deteriorações, fissuramento ou trincamento, bolor, perda da resistência mecânica, desgaste, descolamento, juntas descontínuas, falhas nos selantes (rejuntaemento), perda de brilho, além de outras. A preocupação com a correta utilização das rochas ornamentais, desde a especificação até a colocação, somente vem a beneficiar o setor, evitando-se problemas futuros. Dessa forma a rocha passa a ser uma aliada aos projetos dos profissionais da área de arquitetura.

3.1 Manchamentos

O manchamento pode ser causado por diversos fatores como eflorescência, modificações na coloração/brilho original, perda de cor ou oxidação, utilização indevida de materiais de assentamento e de materiais de limpeza, ou até mesmo a própria gordura humana, a qual pode manchar as rochas, geralmente colocadas em balcões de comércio.

O ensaio de análise petrográfica é o estudo macroscópico e microscópico visando à caracterização completa e classificação de uma rocha. Os dados da análise petrográfica (aspectos composicionais, texturais e estruturais) são correlacionados com os dados tecnológicos, de alterabilidade química e de durabilidade das rochas estudadas objetivando a avaliação do comportamento dos mesmos frente às várias solicitações a que estarão sujeitos quando em uso nas obras de engenharia

civil. Este ensaio dará informações como a classificação e a natureza da rocha, se a rocha é ígnea, sedimentar ou metamórfica, identificação de seus componentes minerais, os quais vão nos informar possíveis reações ou alteração (Figura 1 a e b) que podem ocorrer com o tempo ou com a utilização de materiais de limpeza não recomendáveis, além de nos informar sobre as microfissuras existentes, que podem impactar na resistência, porosidade e durabilidade da mesma.

Os índices físicos abrangem a massa específica aparente, absorção d'água e porosidade aparente. Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha. Os valores dos índices físicos são inter-relacionados, ou seja, quanto menor a densidade aferida para granitos de uma mesma linhagem, tanto maior se pode estimar o volume de espaços vazios existentes na rocha. Sendo maior o volume de espaços vazios, maior será a porosidade aparente e, possivelmente, a porosidade efetiva. Com maior porosidade efetiva, que nos indica a existência de poros e/ou cavidades intercomunicantes, maior será a absorção d'água esperada para a rocha e provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica. Portanto, a porosidade aparente mostra uma relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas. A absorção d'água mostra relação com a possibilidade de infiltração de líquidos e a massa específica aparente tem relação direta com os aspectos de resistência físico-mecânica, além de permitir calcular o peso individual das placas especificadas no projeto arquitetônico de uma edificação. Um fator importante para esse parâmetro é a qualidade da argamassa utilizada, a qual pode conter excesso de água, que junto com a

porosidade da rocha acarreta em manchamentos como pode ser observado na Figura 1 (c e d).

Para alcançar os resultados visuais pretendidos, é preciso considerar certas particularidades de cada rocha, tais como o índice de absorção de água e os tipos de tratamento que podem ser aplicados. A má integração rocha/ambiente poderá traduzir-se em alteração. O grau de alterabilidade dos minerais é uma característica fundamental no estudo das rochas, principalmente para aproveitamento como rochas ornamentais.

O polimento é o processo que confere à superfície da rocha brilho, que realça a coloração predominante dos diferentes minerais presentes no material. O brilho é conseguido pela eliminação das rugosidades presentes na superfície da peça e pelo fechamento dos poros entre os diferentes minerais ou cristais que formam o material. E com a aplicação deste ensaio nas rochas é possível evitar patologias diversas, como manchamentos, perda de brilho e de cor ocasionadas devido a alguns reagentes comumente utilizados (produtos de limpeza, tratamento de águas de piscina, produtos antimofa, sabão, etc.) para verificar-se a susceptibilidade da rocha ao seu uso.

3.2 Fissuras ou trincas

As fissuras podem ser causadas tanto devido a uma expansão da rocha quanto a uma liberação de energia como a queda de algo sobre a superfície da placa de rocha.

O ensaio de resistência ao choque (impacto de corpo duro) dá informações acerca da capacidade do material absorver e dissipar energia. Este ensaio é importante para os materiais que são

utilizados como revestimento de pisos. A capacidade de um determinado material absorver energia do impacto está ligada à sua tenacidade que, por sua vez, está relacionada à sua resistência e ductilidade, propriedades dependentes do grau de imbricação dos cristais, estado de microfissura e porosidade da rocha.

Entende-se como resistência à "Compressão Uniaxial" a tensão de ruptura (MPa) suportada por um material rochoso quando submetido a esforços de compressão, ou seja, a determinação da capacidade que uma rocha pode apresentar para suportar forças compressivas. Os resultados referentes a este parâmetro são valiosos para a realização de cálculos geotécnicos e de dimensionamento, e estão condicionados a vários fatores intrínsecos à rocha, dos quais se pode destacar: dimensões dos minerais e porosidade; estado de fissura; estado de alteração do corpo rochoso; direção do esforço de compressão em relação às estruturas da rocha. Valores elevados de resistência à compressão implicam, de maneira geral, em rochas de baixa porosidade e de alta resistência mecânica. Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.

A avaliação da resistência das placas rochosas à ruptura por flexão é cada vez mais importante frente às modernas técnicas de revestimento em pisos e fachadas. Estas técnicas envolvem fixação do revestimento através de anteparos metálicos, sem contato direto das chapas com a base do piso ou com a estrutura das fachadas. Nas duas situações verifica-se esforço de carga perpendicular à maior superfície da placa, pela pressão do vento nas fachadas e peso dos objetos colocados sobre os

pisos. Também nas bancadas, a resistência à ruptura por flexão é fator muito importante para qualificação das rochas.

Dilatação é a propriedade que os materiais têm de se expandir ou contrair com a variação de temperatura; dilatam-se quando aquecidos e contraem-se quando resfriados. As rochas, assim como a maioria dos materiais, apresentam valores de dilatação variados. O coeficiente de dilatação térmica, aferido para os diferentes tipos litológicos, permite definir o espaçamento mínimo recomendável entre as chapas de um revestimento, de forma a se evitar o seu contato, compressão lateral e imbricamento (Figura 1 g e h). Em revestimentos verticais fixados com “inserts” metálicos, sem argamassa, o espaço entre as placas pode, eventualmente não ser preenchido e permite acomodar a dilatação. Em revestimentos de pisos e fachadas fixados com argamassas, o rejuntamento das placas com materiais ligantes, rejuntas cimentícios ou selantes elastoméricos (ex.: mástique a base de poliuretano), ocupa esses espaços vazios que acomodariam a dilatação. Nesta condição, caso o material de preenchimento da junta apresente baixa resiliência e a argamassa apresente pequena adição polimérica (o que aumenta sua rigidez), o problema é ainda agravado pelo coeficiente de dilatação diferencial da rocha, da argamassa e do material de rejuntamento, que pode acarretar o descolamento das chapas e sua queda de fachadas.

3.3 Desgaste

O desgaste de uma rocha ornamental pode ocorrer devido um grande fluxo de pessoas em um

determinado local, por exemplo. Rochas com uma resistência baixa a abrasão não podem ser colocadas em localidades com características de grande movimentação porque, em pouco tempo, a rocha vai se desgastar e talvez até seja necessário a troca do material rochoso.

A resistência ao desgaste abrasivo de uma rocha está diretamente relacionada à sua composição mineralógica, granulação, arranjo e coesão de seus minerais e porosidade do material rochoso. Portanto, uma rocha será tanto mais desgastável ou abrasível quanto menor for a sua dureza, que por sua vez está relacionada com a composição mineral (FRAZÃO, 2002). Rochas silicáticas (graníticas) são mais resistentes que as carbonáticas (mármore e travertinos), por exemplo. Entre os granitos (rocha com grande percentual de quartzo), uma maior resistência será diretamente proporcional a quantidade de quartzo. Entre os mármore, a resistência será maior em relação ao maior caráter dolomítico (magnesiano). Observa-se assim que, como função da dureza dos minerais, os quartzitos (rocha composta basicamente por quartzo) e granitos mostram maior resistência ao risco (arranhões) e ao desgaste abrasivo, sendo, por isto, idealmente especificados para pisos, sobretudo nos casos onde se espera grande tráfego de pedestres. Um bom exemplo de tal patologia ocorreu no Aeroporto de Congonhas – SP, onde foram colocados dois tipos diferentes de rochas, uma com índice de desgaste maior e outra com índice de desgaste menor, e com o tempo e o grande tráfego de pedestre as placas de rocha ficaram desniveladas (Figura 1 e f).

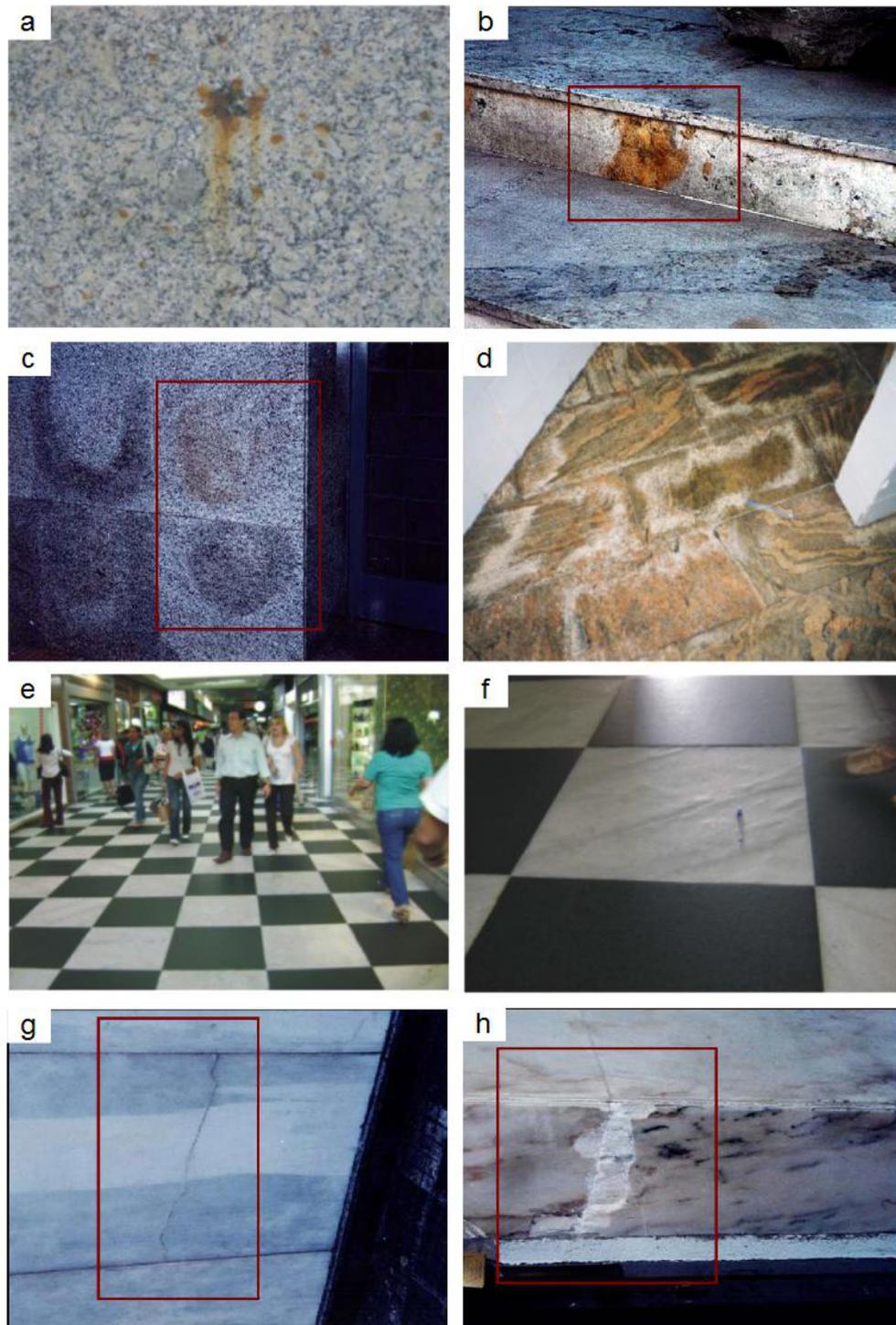


Figura 1 – a) Presença de minerais deletérios (pirita), alterado por oxidação, manchando superfície polida de granito; b) Mancha de ferrugem causada pela decomposição de minerais feríferos presentes no mármore com os agentes do meio externo, Bauru – SP; c) Manchas provenientes tanto da umidade excessiva da argamassa (manchas escuras) quanto de impurezas do material fixante (manchas amareladas) em placas de granito, Botucatu – SP; d) Exemplo de piso em granito, com patologia de escamação superficial causado por umidade ascendente; e) Piso (preto) e mármore (branco) sujeito a alto tráfego de pedestres (Aeroporto de Congonhas – SP), com detalhe para observar o desgaste abrasivo mais elevado no mármore (branco) em f); g) e h) Trincas de placas de mármore causadas por juntas de dilatação com largura insuficiente, Bauru – SP. Fonte: Iamaguti (2001) em b, c, g e h; Chiodi Filho & Rodrigues (2009) em a, d, e e f. Revista de Geologia 31 (2), 2018.

4. MÉTODOS DE TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O melhor método de tratamento, sem dúvida, é a prevenção das patologias, através do conhecimento aprofundado do material utilizado no empreendimento. O estudo das manifestações patológicas em revestimentos é de grande importância, pois a falta de cuidados necessários para a manutenção nestes materiais faz com que o empreendimento fique desagradável esteticamente. Como grande parte do valor da edificação está relacionada à aparência do imóvel, o mesmo se torna insatisfatório economicamente caso venha apresentar alguma inconformidade no revestimento, por exemplo (SILVA, 2016).

Quando não se tem o conhecimento prévio do material a ser utilizado e quando a patologia surge em uma obra pronta, tem que fazer certos tratamentos dessas patologias. Segundo Assis (2012) Para a solução de problemas relacionados a manchas decorrentes de oxidação da fachada, temos as seguintes alternativas:

- Remover as pedras manchadas ou fissuradas, e assentar novas pedras;
- Remover as manchas de oxidação;
- Impermeabilizar toda a fachada, com um produto hidro óleo repelente.

Para remover as manchas pode ser utilizado certos tipos de produtos como removedor de oxidação em pedra natural: foi desenvolvido para devolver a beleza natural do revestimento. Destina-se a remoção de manchas de ferrugens, provocadas por granalhas de aço e outros agentes ferruginosos em granitos e pedras naturais em geral. Nesse método é necessário fazer um curativo em cima dos pontos oxidados, deixando o produto agir por 24 horas,

para após esse período retirá-lo (ASSIS, 2012).

Os impermeabilizantes são peliculares, translúcidos ou não, fixados como um verniz ou camada sobre uma superfície, e os hidrofugantes, de ação superficial eles não formam filmes sobre a superfície, mas criam uma condição de alta tensão superficial repelindo a água. Dependendo de sua fluidez, os selantes penetram mais ou menos profundamente na superfície das rochas, pela maior ou menor capacidade de permear os espaços vazios (poros) intercomunicantes. A quantidade e dimensão dos poros determinam a capacidade de a rocha absorver líquidos e portanto, os próprios selantes. Assim se uma rocha, ou superfície polida dessa rocha, absorve pouca água, ela não precisa ser selada, porque também não absorverá o selante (ASSIS, 2012).

5. COMENTÁRIOS FINAIS

As rochas utilizadas em edificações e revestimentos apresentam grandes variedades e características peculiares: cor, aspecto e textura. E muitas dessas características são únicas, o que pode acrescentar, e muito, a beleza de um determinado empreendimento. Com isso a crescente procura por esse material nos últimos tempos, e a grande utilização dela como revestimentos, faz-se necessária a procura por um aperfeiçoamento em relação ao conhecimento das patologias decorrentes durante um período em que se descobriu que a rocha poderia desenvolver certos tipos de patologias. Por isso a importância dos estudos sobre os casos de danos em rochas ornamentais como os ensaios e análises especificados neste trabalho que fornecerão parâmetros, para cada tipo rochoso.

Os dados das análises são correlacionados, gerando informações sobre o comportamento das rochas frente às várias solicitações a que estarão sujeitas quando em uso nas obras de engenharia civil. Estes ensaios propõem a classificação e a natureza da rocha, identificação de seus componentes minerais, os quais vão nos informar possíveis reações ou alteração, definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha, avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos, informações acerca da capacidade do material absorver e dissipar energia, permite definir o espaçamento mínimo recomendável entre as chapas de um revestimento, de forma a se evitar o seu contato, compressão lateral e imbricamento.

Com tudo, podemos concluir que a caracterização tecnológica das rochas é importante para melhor especificar o uso dos materiais, possibilitando que estes permaneçam por mais tempo com os padrões de qualidade, faz-se, então, necessário que as análises e ensaios de caracterização sejam exigidos pelas empresas responsáveis pelas obras já que ocorrendo algum tipo de patologia, em alguns casos, poderá acarretar a necessidade da troca do revestimento.

Agradecimentos

Nosso agradecimento a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC, a qual deu todo apoio necessário para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, L. E. A. Análise de Patologia em Revestimento de Fachada Com Placas de Granito Branco Caravelas. Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação em Avaliações e Perícias de Engenharia da Pontifícia – Instituto de Educação Continuada (IEC) – Belo Horizonte – MG. 21 p. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 1: Rochas para Revestimento Parte 1 – Análise petrográfica. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 2: Rochas para Revestimento Parte 2 – Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 3: Rochas para Revestimento Parte 3 – Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 5: Rochas para Revestimento Parte 5 – Determinação da resistência a compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 6: Rochas para Revestimento Parte 6 – Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 8: Rochas para Revestimento Parte 8 – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

- TÉCNICAS. NBR 12042: Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845 - 8: Rochas para Revestimento Parte 8 – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818 - Placas cerâmicas para revestimento, Anexo H – Determinação da resistência ao ataque químico. Rio de Janeiro, 1997.
- CHIODI FILHO, C. RODRIGUES, E. P. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. 2009. 118 p. Projeto Bula - São Paulo: ABIROCHAS, 2009.
- 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. 2002. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – Curso de Rochas Ornamentais, Rio de Janeiro – CETEM/MTC, 2002.
- FRAZÃO, E. B. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. 2002. 132 p. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE, São Paulo. 2002.
- IAMAGUTI, A. P. S. Manual de rochas ornamentais para arquitetos. 2001. 318 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- MARANHÃO, F. L. BARROS, M. M. S. B. Causas patológicas e recomendações para a produção de revestimentos aderentes com placas de rocha. 2006, – São Paulo: EPUSP, 2006. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC, v. 2006, p. 1-23, 2006.
- SILVA, E. M. Manifestações Patológicas em Revestimentos: Análise e Terapia. Trabalho de conclusão, apresentado ao Curso de Engenharia Civil – UFSM, Santa Maria/RS, 2016.