

ENSAIOS DE ALTERAÇÃO ACELERADA EM ROCHAS PARA REVESTIMENTO – ESTUDOS EXPERIMENTAIS EM ROCHAS GRANÍTICAS

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frasca¹ e Jorge Kazuo Yamamoto²

¹Geóloga, IPT – Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
R. Monte Alegre, 1352 – apto 02 – CEP 05.014-002 São Paulo – SP. E-mail: mheloisa@ipt.br
²Geólogo, IGc – Instituto de Geociências / USP – Universidade de São Paulo

RESUMO

Os materiais rochosos usados no revestimento de edificações tendem a se modificar e deteriorar, naturalmente, com o tempo; processo que pode se acelerar em condições climáticas agressivas, ambientes poluídos ou pela utilização de procedimentos construtivos ou de manutenção inadequados.

Dado que os processos de deterioração, ao se instalarem, são praticamente irreversíveis, é de fundamental importância o conhecimento antecipado das possíveis deteriorações em situações de uso.

Os estudos experimentais aqui apresentados e realizados por meio da simulação da ação climática (variações térmicas), da ação de poluentes dispersos na atmosfera e da ação da cristalização de sais (eflorescências), com foco em materiais graníticos, estão, por um lado ao estabelecimento de uma metodologia para ensaios laboratoriais que permitam antecipar as deteriorações do material rochoso em situações de uso e, por outro, agregar a questão da durabilidade aos critérios de escolha dessas rochas, quando utilizadas como revestimento, pela indústria de construção civil.

INTRODUÇÃO

As rochas para revestimento são produtos obtidos do desmonte de materiais rochosos em blocos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas e ladrilhos.

Essas rochas têm seu mais nobre e valorizado uso como elementos ornamentais (arte estatuária, arte funerária, pias, tampos de mesa e outras peças decorativas) e, mais largamente, como material de construção civil, sendo aplicadas como elementos estruturais (colunas e pilares) e, especialmente, nos revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos), de interiores e exteriores de edificações.

As rochas graníticas, pela sua durabilidade e enorme variedade de cores e padrões texturais e estruturais, têm sido as mais utilizadas nos revestimentos de interiores e exteriores, tanto em pisos quanto em paredes e fachadas.

Os materiais rochosos usados no revestimento de edificações tendem a se modificar e deteriorar, naturalmente, com o tempo; processo que pode se acelerar em condições climáticas agressivas,

ambientes poluídos ou pela utilização de procedimentos construtivos ou de manutenção inadequados.

A degradação ou deterioração de rochas (segundo Houaiss; Villar, 2001) são termos utilizados para se referir ao estado alterado para pior, ou seja, danificação, decomposição, estrago do material rochoso.

Os processos de deterioração têm sido empiricamente relacionados à interação das características petrográficas, físicas e mecânicas das rochas com os agentes do meio ambiente e os procedimentos de fixação, limpeza e manutenção. Resultam na alteração da superfície exposta da rocha, seja pela modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e manchamentos), seja pela sua danificação ou ainda pela perda de resistência mecânica.

Alterações cromáticas e manchamentos de ladrilhos de rocha são freqüentemente associados às interações com reagentes químicos que compõem produtos de limpeza. Degradações da face exposta da rocha, como inchamento, escamação, despegamento de fragmentos minerais e outros, são muitas vezes decorrentes da formação de eflorescências e subeflorescências, a partir de sais provenientes de argamassas, pelo emprego de procedimentos inadequados de assentamento (Frasca, 2003).

Estudos diagnósticos de deteriorações de rochas para revestimento indicam que a maior parte dos problemas está relacionada ao desconhecimento do usuário sobre as interações da rocha com o ambiente externo, tanto pelas condições criadas pelas inúmeras variáveis impostas pelos sistemas empregados no beneficiamento e na aplicação da rocha, como pela poluição e intervenções antrópicas. Dado que os processos de deterioração, ao se instalarem, são praticamente irreversíveis, é de fundamental importância o conhecimento antecipado das possíveis deteriorações em situações de uso.

Os objetivos dos estudos experimentais aqui apresentados e realizados por meio da simulação da ação climática (variações térmicas), da ação de poluentes dispersos na atmosfera e da ação da cristalização de sais (eflorescências), com foco em materiais graníticos, estão, por um lado ao estabelecimento de uma metodologia para ensaios laboratoriais que permitam antecipar as deteriorações do material rochoso em situações de uso e, por outro, agregar a questão da durabilidade aos critérios de

escolha dessas rochas, quando utilizadas como revestimento, pela indústria de construção civil.

A DETERIORAÇÃO DE ROCHAS

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

A degradação ou deterioração dessas rochas, ao serem utilizadas na construção civil, ocorre por meio de mudanças nas propriedades desses materiais, em contato com o ambiente natural, no decorrer do tempo (Viles, 1997). Inclui mudanças físicas e químicas, que resultam na diminuição da resistência da rocha e modificações na aparência estética; desde incipientes alterações cromáticas até esfoliações de camadas superficiais.

É importante reconhecer que a deterioração também é um fenômeno natural e, portanto, um “problema” não inteiramente induzido pela atividade humana e que possa ser inteiramente “resolvido” (Viles, 1997).

A taxa e o tipo de degradação são determinados pela natureza dos materiais envolvidos e do ambiente ao qual estão expostos. Segundo Viles (1997), a deterioração é um problema notável quando uma ou mais das três condições a seguir são encontradas:

- o processo natural de deterioração é acelerado, pois:
 - o ambiente é naturalmente corrosivo, tal qual áreas costeiras e desérticas com abundantes aerossóis salinos; e/ou
 - os materiais são relativamente fracos, já predispostos a degradar e desintegrar.
- a atuação humana acelera a deterioração por causa da poluição atmosférica, manutenção inadequada etc.;
- edifícios e monumentos de grande valor ou significância são afetados.

A deterioração envolve mudanças físicas e químicas da superfície do material, ou da camada superficial, quando se trata de materiais porosos. Isto resulta em numerosos efeitos visíveis e invisíveis, como descoloração, formação de crostas e manchas ferruginosas, escurecimento superficial e produção de cavidades, descamação superficial, buracos e fragmentação. Também resultam em custos financeiros ligados à necessidade de reparação dos danos, limpeza e restauração.

O tipo litológico (mineralogia, alteração, textura e estrutura), a presença de fraturas e/ou fissuras (porosidade) e o clima (temperatura e intensidade de chuvas, entre outros) podem ser considerados os fatores que mais influenciam a susceptibilidade e taxa do intemperismo físico e químico em rochas para revestimento. Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos, nos ambientes urbanos, e o

emprego de processos inadequados para o assentamento e manutenção de rochas.

Modificações físicas das rochas para revestimento, atribuídas às técnicas empregadas na extração e de beneficiamento, podem levar ao aumento do fissuramento, porosidade e outros (Dib *et al.*, 1999), que irão contribuir para a acentuação dos efeitos deletérios dos agentes intempéricos ou da ação antrópica (manutenção e limpeza inadequadas, entre outras) (Frasca; Quitete, 1999).

Desta forma, as principais causas da degradação destes materiais rochosos, tendo em vista as condições climáticas e técnicas construtivas empregadas no Brasil, conforme Frasca (2002), são:

- clima tropical (intensas variações de temperatura e umidade);
- agentes de limpeza, os quais atuam através de diversas substâncias químicas, cujos componentes podem causar modificações, especialmente no aspecto estético das rochas;
- poluição ambiental, na qual os diversos elementos dispersos na atmosfera têm grande influência;
- cristalização de sais, principalmente quando as rochas são usadas no revestimento de pisos e assentadas com argamassa.

CAUSAS DA DEGRADAÇÃO ROCHOSA

O clima, em todos seus aspectos, é uma das causas fundamentais da degradação das edificações, por meio da falência de seus materiais constituintes, os quais, por sua vez, afetam a estrutura (Feilden, 1994).

As ações físico-químicas das águas e as ações químicas dos componentes da atmosfera são importantes, sobretudo quando atuam em conjunto. A atmosfera e seus componentes sólidos, líquidos e gasosos atuam sobre as rochas para revestimento por meio de mecanismos físicos (umedecimento, cristalização de sais e outros fenômenos provocados por variações do estado higrométrico da atmosfera), químicos (desde sulfatação nas rochas carbonáticas a fenômenos de hidrólise nas rochas granitoides, atuantes na superfície e no interior das rochas) e biológicos (ações químicas e/ou físicas promovidas por microorganismos diversos: bactérias, algas, fungos e líquens, musgo e mesmo arbustos).

Temperatura

A causa das mudanças da temperatura do ar é quase inteiramente decorrente do aquecimento do sol durante o dia, pela radiação das ondas curtas e longas, e pela perda desse calor durante a noite, pela radiação e convecção de ondas longas.

Todos os materiais de construção, inclusive as rochas para revestimento, expandem quando aquecidos e contraem quando resfriados –

movimento térmico – que é a maior causa da degradação de edificações.

A cor e a refletividade do material alteram a absorção de calor, responsável pelo aumento da temperatura; assim, os materiais escuros absorvem (baixo albedo) mais calor que os claros (alto albedo). A extensão do movimento térmico depende do intervalo de temperatura resultante do calor incidente e é modificado pela capacidade térmica da estrutura e pela espessura, condutividade e coeficiente de expansão dos materiais.

Ação dos poluentes

Uma importante propriedade das rochas para revestimento é sua durabilidade, que se refletirá em maior e mais efetiva proteção das estruturas, por sua vez colaborando para o prolongamento do tempo de serviço destas.

A interação da rocha com fenômenos externos torna, porém, a sua durabilidade comprometida, devido às variações de temperatura, ataque ácido de poluentes e outros.

O conhecimento dos mecanismos e da taxa de atuação dos poluentes pode ser muito útil para o uso de medidas preventivas e de proteção do material rochoso e aumento da sua vida útil.

Um parceiro inevitável do ataque químico dos poluentes é a água; pois age: (a) como solvente dos agentes agressivos; (b) meio de transporte desses agentes e dos produtos de reação; (c) em alguns casos, componente dos produtos de reação (ex. gipso) (Zivica; Bajza, 2001).

A consequência prática dos efeitos químicos do ataque ácido é a gradual degradação das propriedades tecnológicas do material rochoso. O processo se inicia com a deterioração da superfície exposta, como inchamento, escamação e despegamento. Com sua progressão do exterior para o interior da rocha, passa a ocorrer gradual perda da resistência pelo aumento da porosidade.

Ação da cristalização de sais

A cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois é por meio dela que ocorre a degradação de rochas em ambientes marinhos, climas úmidos e ambientes poluídos. Sua ação em um meio poroso, especialmente rochas sedimentares, causa a perda de coerência entre os grãos.

O mecanismo de degradação é a pressão de cristalização dos sais e depende do grau de saturação e do tamanho do poro (Winkler; Singer, 1972 e outros).

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

A zona capilar, que depende do sistema poroso da rocha, é caracterizada pelas eflorescências (quando sais se cristalizam na superfície da rocha), subeflorescências (quando sais se cristalizam abaixo da superfície exposta da rocha) e pelas perdas de material (Uchida *et al.*, 1999). Zona de imersão, nessa concepção, é a porção de rocha que fica mais próxima ao solo. A cristalização de sais se dá preferencialmente na zona de capilaridade.

A concentração de sal pode ocorrer na superfície do material rochoso, onde se cristaliza; e dentro dos capilares próximo à superfície da rocha, onde a ação mecânica de sais, nas fissuras, pode iniciar seu trabalho destrutivo.

ENSAIOS DE ALTERAÇÃO ACELERADA

A alteração e deterioração de rochas em edifícios e monumentos, como já comentado, estão ligadas à interação de fatores intrínsecos e extrínsecos.

Dentre as várias causas e mecanismos de deterioração rochosa, foram considerados relevantes e objetos de investigação a exposição ao meio ambiente, marinhos e poluídos, as variações térmicas e a ação da cristalização de sais (Frasca, 2003), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Situações potencialmente degradadoras de rochas ornamentais

SITUAÇÃO	ENSAIO	OBJETIVO
VARIAÇÕES TÉRMICAS	Exposição de ladrilhos polidos a choque térmico.	Verificar eventual queda de resistência da rocha, após ciclos de aquecimento e resfriamento imediato em água.
AÇÃO DE POLUENTES	Exposição de ladrilhos polidos a atmosferas ácidas e salinas, em câmaras climáticas.	Simulação de ambientes urbanos poluídos (umidade e H ₂ SO ₄) e marinhos (névoa salina), potencialmente degradadores de materiais rochosos.
AÇÃO DA CRISTALIZAÇÃO DE SAIS	Imersão parcial em soluções ácida e alcalina.	Simulação da cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências) na face polida de ladrilhos de rocha para a observação da sua ocorrência e possíveis efeitos deletérios.

Os ensaios de alteração acelerada, em laboratório, simulando essas situações, visam a fornecer informações quanto à alterabilidade da rocha em relação aos agentes intempéricos, além da investigação dos mecanismos de degradação para cada caso.

As simulações de alteração procuraram verificar – dentro de um grupo de rochas graníticas relativamente homogêneas, quanto à composição mineralógica e química, mas heterogêneas em relação à ambiência geológica – as respostas dessas características intrínsecas quando expostas aos mesmos ambientes potencialmente degradadores.

Essas investigações buscam, também, inserir os conceitos de durabilidade para os materiais em questão. A durabilidade de materiais, e mais recentemente de rochas, para construção civil ou em

monumentos históricos é de fundamental importância, pois as agressividades do meio ambiente, estão cada vez mais acentuadas.

ENSAIOS EM CÂMARAS CLIMÁTICAS

Exposição ao dióxido de enxofre

O ensaio por exposição ao SO₂ baseia-se nas normas ABNT NBR 8 096 (ABNT, 1983a) e DIN 50 018 (DIN, 1997). Consiste em um determinado número de ciclos, de 24 horas cada, nos quais a câmara é mantida aquecida por 8 horas a (40±3) °C, com umidade relativa 100%, desligada e aberta, para ventilação por 16 horas. Após isso, a água da câmara é renovada e inicia-se novo ciclo.

A concentração de SO₂, na água da bandeja na porção inferior da câmara, estipulada pela norma é de 0,67%, que corresponde ao volume de 2,0 L de SO₂ a ser adicionado a cada 300 L de volume da câmara.

São ensaiados três corpos-de-prova, por amostra. Para cada tipo, ficando reservado um corpo-de-prova padrão para controle.

As inspeções são realizadas periodicamente, registrando-se as modificações em planilhas.

As principais degradações ocorridas acham-se ilustradas nas Figuras 1 e 2.

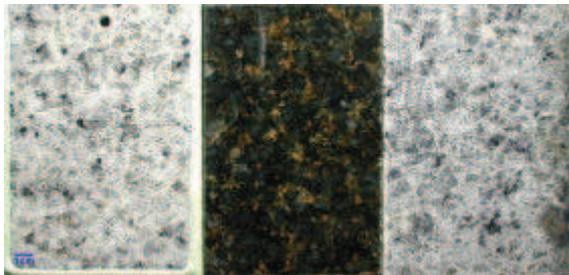


Figura 1 – Exposição ao dióxido de enxofre. Total branqueamento da rocha.

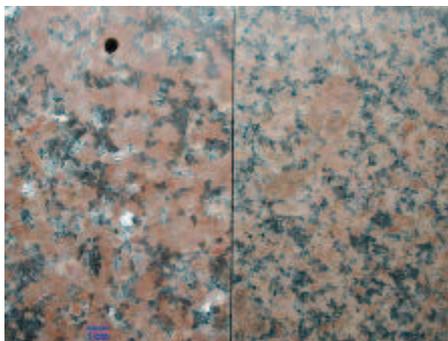


Figura 2 – Exposição ao dióxido de enxofre. Formação de sais em fissuras superficiais e, localmente, sobre biotita
Nota: acima, corpo-de-prova de controle.

Exposição à névoa salina

O ensaio de intemperismo artificial por exposição à névoa salina baseia-se nas normas ABNT NBR 8094 (ABNT, 1983b) e ASTM B 117 (ASTM, 1997).

Nesse ensaio, os corpos-de-prova são colocados em suportes na câmara, de modo a ficar com um ângulo de 15° a 30° com a vertical e permitir livre acesso da névoa a todos eles.

A solução salina é preparada dissolvendo-se 5±1 partes, em massa, de cloreto de sódio em 95±1 partes de água. O pH da solução salina deve ser tal que, quando atomizada, a 35 °C, a solução tenha pH entre 6,5 e 7,2.

Os corpos-de-prova ficam permanentemente no interior da câmara, sendo retirados somente para inspeções periódicas.

À semelhança do ensaio de exposição ao SO₂, foram ensaiados três corpos-de-prova por amostra. Um corpo-de-prova padrão foi utilizado como controle.

Em cada inspeção, não ultrapassando o período de 30 minutos, os corpos-de-prova são lavados para eliminação do sal da superfície. As modificações são registradas em planilhas.

Os principais resultados verificados Figuras 3 e 4.



Figura 3 – Exposição à névoa salina. Aumento da oxidação preexistente (acima, corpo-de-prova de controle).

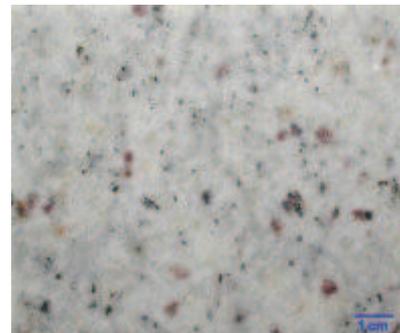


Figura 4 – Exposição à névoa salina. Aumento do amarelamento preexistente (oxidação?) e local oxidação de granada.

RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO

O ensaio de alteração por choque térmico é baseado nos procedimentos estabelecidos na versão preliminar da norma prEN WI 016 (CEN, 1998), em elaboração pela CEN.

Visa verificar o decaimento da rocha após ciclos de aquecimento e resfriamento rápido, ou seja, decorrente de variações térmicas bruscas que propiciem dilatação e contração constantes, causa de uma das principais degradações de materiais rochosos na construção civil.

González-Messones (2002) recomenda este ensaio para verificação da possível oxidação, em rochas ígneas, e de desagregação, em mármore e calcários.

Cinco a seis (quando obtidos a partir de rochas gnáissicas) corpos-de-prova, no tamanho e formato daqueles submetidos a ensaio de flexão, segundo ASTM C880/98, são secos em estufa até peso constante. Em cada um deles é medida a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (VP_i).

O ensaio propriamente dito consiste em 20 ciclos, definidos pela colocação dos corpos-de-prova por (18 ± 1) h em estufa a 105°C , em seguida imediatamente submersos em água, a temperatura ambiente, por $(6 \pm 0,5)$ h.

Após o 20º ciclo, os corpos-de-prova são novamente secos em estufa e as velocidades de propagação de ondas também medidas (VP_f).

Todos os corpos-de-prova são, então, submetidos a ensaio de flexão.

O decaimento por choque térmico é verificado pelas expressões:

$$\Delta_{RF} = \frac{RF_f - RF_i}{RF_i} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde Δ_{RF} = variação de resistência à flexão (%);

RF_f = resistência à flexão após o ensaio (MPa);

RF_i = resistência à flexão antes do ensaio (MPa).

$$\Delta_{VP} = \frac{VP_f - VP_i}{VP_i} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde Δ_{VP} = variação de velocidade de propagação de ondas (%); VP_f = velocidade de propagação de ondas após o ensaio (m/s); VP_i = velocidade de propagação de ondas antes do ensaio (m/s).

Um importante resultado dos ensaios de alteração por choque térmico é a mudança de coloração, por oxidação, de algumas rochas, geralmente provocando o amarelamento, por vezes

com tonalidades esverdeadas, bem como o aparecimento de pontos ou pequenas manchas ferruginosas (Figura 5).

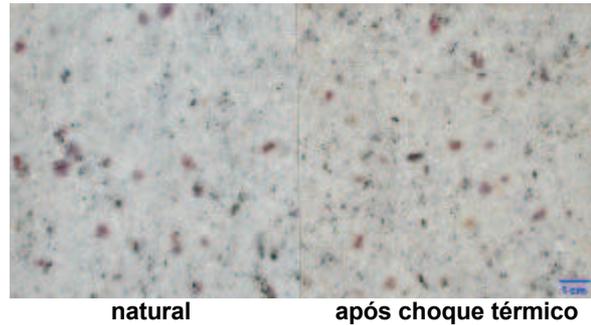


Figura 5 – Amarelamento e aparecimento de manchas ferruginosas, milimétricas, esparsas, coincidentes com os pontos macroscopicamente esverdeados.

ENSAIOS DE ALTERAÇÃO POR IMERSÃO PARCIAL EM SOLUÇÃO ÁCIDA

Visando simular a exposição da rocha a ambientes quimicamente agressivos, ácidos e alcalinos, os corpos-de-prova são colocados em contato com soluções de ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_4 - 1\%$), com pH 1 a 1,5.

A escolha do ácido sulfúrico baseia-se nas informações relativas aos poluentes atmosféricos, que reportam o ataque ácido por SO_2 como um dos maiores agentes degradadores de rocha.

O ensaio consiste em deixar os corpos-de-prova parcialmente submersos (até cerca de 1 cm, a partir da base), em recipientes plásticos, de fundo liso e reto, contendo as soluções mencionadas. As faces polidas ficaram expostas ao meio ambiente, para que as eventuais modificações fossem aí registradas. Deve ser realizado em sala desumidificada, com temperatura de cerca de 25°C .

A duração do ensaio aqui proposto é de 30 dias consecutivos, com monitoramento diário e troca de soluções em dias alternados, com o registro das modificações. Após esse período, as soluções são retiradas, e os corpos-de-prova continuaram no mesmo ambiente por um período de mais 30 dias, com monitoramento periódico, até sua secagem total. Somente após esse período, os corpos-de-prova são lavados com água deionizada e secados para verificação das deteriorações ocorridas, por comparação com suas contrapartes.

O mecanismo de degradação consiste na migração da solução, pela rocha, por capilaridade, da zona imersa para a zona exposta ao meio ambiente, na qual, por evaporação e supersaturação, ocorre a cristalização dos sais.

As Figuras 6 e 7 ilustram os aspectos das eflorescências formadas durante o ensaio de imersão parcial em ácido sulfúrico.

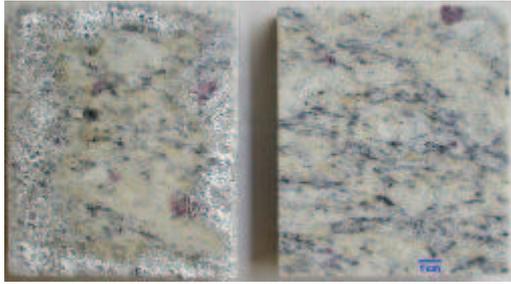


Figura 6 – Cristalização de sais nas bordas e nos cantos, preferencialmente sobre biotita.

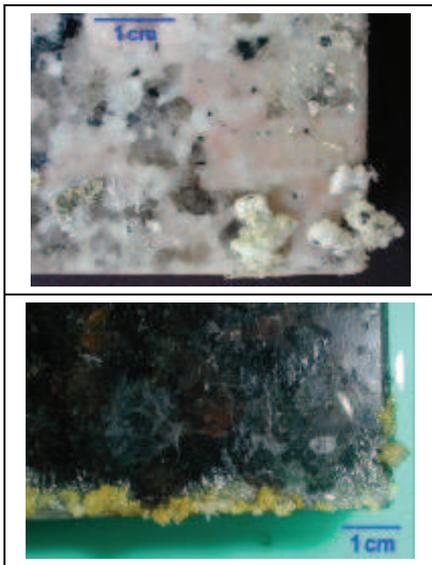


Figura 7 – Diferentes aspectos das eflorescências formadas por imersão parcial em ácido sulfúrico. Notar despegamento de lamelas de biotita, que ficam aderidas na superfície dos grumos de sais.

As degradações mais típicas observadas nas rochas graníticas estudadas, por imersão parcial em ácido sulfúrico, acham-se ilustradas nas Figuras 8 e 9.

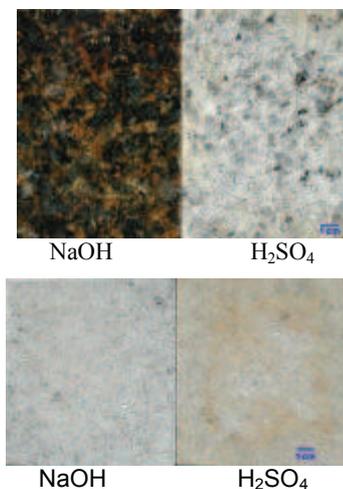


Figura 8 – Aspectos dos diferentes comportamentos das rochas após imersão parcial em soluções alcalina e ácida, em ambos exibindo

intensa mudança de coloração após imersão em H₂SO₄.

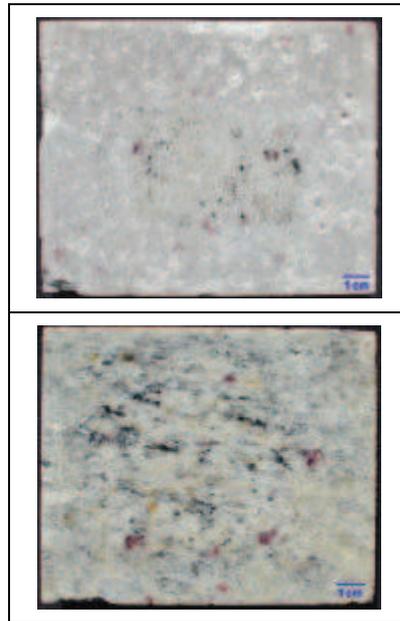


Figura 9 – Aspectos resultantes da cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências), após imersão parcial contínua em solução de ácido sulfúrico. Notar a formação de cavidade e quebra de arestas.

CONCLUSÕES

A observação visual e microscópica dos efeitos dos ambientes simulados, nas rochas estudadas, evidenciou alguns mecanismos de deterioração, conforme descrito a seguir:

- oxidação da rocha e de minerais: observado em praticamente todas as simulações. Está relacionada ao comportamento do ferro, em virtude de seu potencial de oxidação nos ambientes exógenos, nesse caso, de pH ácido (exposição ao dióxido de enxofre e imersão parcial em ácido sulfúrico) ou sob influência da temperatura e umidade (ensaio de resistência ao choque térmico). Como para as demais propriedades, também não se obteve correlação estatística entre os teores de Fe²⁺ e Fe³⁺ e as alterações verificadas. O amarelamento de algumas rochas, nessas mesmas condições também foi relacionado à oxidação e provável remobilização local do ferro;
- clareamento da rocha: observado em câmaras de dióxido de enxofre e ensaios de imersão parcial em ácido sulfúrico. Trata-se de um caso mais específico, em que rocha charnockítica exibiu notável branqueamento, por provável lixiviação do ferro, ao ser exposta a ambientes ácidos. A principal evidência é a ausência de hidróxidos de

ferro em microfissuras, e presentes nas mesmas, nos materiais *in natura*;

- cristalização de sais (eflorescências e subeflorescências): observado em câmaras de dióxido de enxofre e de imersão parcial em ácido sulfúrico. Evidenciado por inchamento, escamação e até esfoliação. A presença de sais em fissuras chegou a provocar locais despegamento em granada e feldspatos, mas a biotita foi o mineral que se revelou mais susceptível a esse processo. Sua estrutura cristalográfica deve facilitar a percolação e retenção de água (e elementos carreados), possibilitando reação com os componentes químicos do mineral e conseqüente cristalização de sais, quando as condições de supersaturação são alcançadas. A pressão de cristalização dos sais nos espaços interfoliares provoca seu destacamento.

As principais características dos ensaios de alteração experimentalmente conduzidos foram:

- exposição à névoa salina: efeitos visuais pouco perceptíveis, mas são microscopicamente visíveis os efeitos degradadores dos sais (NaCl) dissolvidos no ambiente: aumento da turvação de cristais de plagioclásio já intempericamente alterados; alargamento de fissuras preexistentes; intensificação da oxidação e/ou surgimento de pontos oxidados e outros;
- exposição a dióxido de enxofre: mostra o papel degradador desse poluente e resultou em deteriorações que atingiram, diferencialmente, a depender das características intrínsecas, praticamente todas as rochas graníticas ensaiadas e que variaram desde manchamento até escamação;
- imersão parcial em ácido sulfúrico: é uma simulação muito agressiva, e possibilita a verificação das deteriorações resultantes da cristalização de sais (eflorescência e subeflorescências) e da estabilidade dos materiais ante os reagentes químicos de caráter ácido, potenciais agentes degradadores de rochas;
- choque térmico: ensaio também bastante agressivo fornece informações sobre possíveis modificações estéticas, pela oxidação de minerais, e de resistência mecânica do material, por ação das intempéries e variações cíclicas de temperatura e umidade. O decaimento da resistência à flexão, após esse ensaio, mostrou-se diretamente proporcional às resistências obtidas nas determinações da rocha *in natura*; o que não se verificou quanto à susceptibilidade à oxidação, que está prioritariamente relacionada às

características intrínsecas da rocha (mineralogia, alteração, fissuramento etc).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1983a) *NBR 8096/83*: material metálico revestido e não revestido; corrosão por exposição ao dióxido de enxofre. Rio de Janeiro.

_____. (1983b) *NBR 8094/83*: material metálico revestido e não revestido; corrosão por exposição à névoa salina. Rio de Janeiro.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1997) *B 117/97*: standard practice for operating salt spray; fog; apparatus. Philadelphia.

_____. (1998) *C 880/98*: standard test method for flexural strength of dimension stone. Philadelphia.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1998) (draft). *prEN WI 016*: natural stone test methods: determination of resistance to ageing by thermal shock.

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: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6., 1999, São Pedro. *Boletim de Resumos...* São Pedro: SBG/UNESP. p.154.

DIN - DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. (1997) *DIN 50018*: sulphur dioxide corrosion testing in a saturated atmosphere. Berlin.

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

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

FRASCÁ, M.H.B.O. (2002) Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2., 2001, Salvador. *Anais...* Rio de Janeiro: MCT/CETEM. p.128-135.

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

GONZÁLEZ-MESSONES, F.L. (2002) La interpretación de los ensayos de caracterización de la piedra natural, en el marco de la nueva normativa

européia. In: *Curso de rochas ornamentais*. Recife. CD-ROM.

HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. (2001) *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Instituto Houaiss. 2922p.

UCHIDA, E.; OGAWA, Y.; MAEDA, N.; NAKAGAWA, T. 1999. Deterioration of stone materials in Angkor monuments, Cambodia. *Engineering Geology*, v.55, p.101-112.

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.) *The global environment: science, technology and management*. Weinheim: Scandinavian Science Publ.; VCH. p.599-609.

WARKE, P.A.; SMITH, B.J. (1998) Effects of direct and indirect heating on the validity of rock .

WINKLER, E.M.; SINGER, P.C. (1972) Crystallization pressure of salts in stone and concrete. *Geological Society of America Bulletin*, v.83, p.3.509-3.514.

WINKLER, H.G. (1976) *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 4.ed. New York: Springer-Verlag. 334p.

ZIVICA, V.; BAJZA, A. (2001) Acidic attack of cement based materials; a review; part 1: principle of acidic attack. *Construction and Building Materials*, v.5, p.331-340.