

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o estudo e avaliação da susceptibilidade de rochas com aplicação ornamental e de revestimento, à alteração, a partir do enfoque em monumentos do Barroco Mineiro e também em materiais de utilização atual.

Nesse aspecto, a partir do levantamento dos materiais empregados na construção de monumentos pétreos da região de Ouro Preto, constatou-se que no passado, esteatitos, xistos e quartzitos foram respectivamente utilizados na ornamentação de fachadas e esculturas; na estruturação e revestimento de igrejas, palácios, marcos, chafarizes etc. Da observação e descrição de rochas desses monumentos localizados em cidades como Ouro Preto e Mariana e de suas degradações ao longo dos 300 anos de exposição a variadas condições de aplicação, associados aos estudos de caracterização tecnológica e de alterabilidade, permitiram obter alguns dados, de interesse não só para pesquisadores, como também para arquitetos e responsáveis pelo Patrimônio Histórico.

Constatou-se que os esteatitos e xistos predominam no Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Nova Lima, com ampla distribuição no Quadrilátero Ferrífero. Os esteatitos ocorrem em vários afloramentos e pedreiras, na maioria das vezes de pequeno a médio porte, nas proximidades das cidades de Ouro Preto e Mariana, com especial destaque para Santa Rita de Ouro Preto, Acaiaca, Cachoeira do Brumado e Furquim, principais locais de exploração de pedra-sabão na região. Os xistos, com suas variações petrográficas, como os clorita xistos e os quartzito xistos com granada e cianita e os xistos com anfibólio foram utilizados nas construções de colunas, pilares, muros, pias de chafarizes e no revestimento de pisos, como pode ser visto na região de Mariana e Ouro Preto, Cachoeira do Campo, São Bartolomeu e Brumal, município de Santa Bárbara. Os xistos com segregações de quartzito e cianita em tons de cinza, comuns nos revestimentos e nas estruturas das construções em Mariana e em alguns locais em Ouro Preto são confundidos com os esteatitos devido à coloração. Atualmente não se encontram mais construções com o uso desses materiais. São muito raros os afloramentos de xisto com características semelhantes aos que foram usados no passado e não se tem qualquer registro sobre a localização de suas antigas áreas de extração, o que compromete o trabalho de reconstituição dos monumentos. Um exemplo foi o afloramento de xisto no Bairro Santo Antônio, na região de Mariana, do qual o restaurador e historiador Rinaldo Urzedo se utilizou para recuperar e substituir, dentro do contexto legítimo de restauração, as obras da igreja S. Francisco destruída num incêndio em 2003 na cidade. As deteriorações neste litotipo são

evidenciadas pelas formas de esfoliação e escamação, caracterizadas pelo desprendimento de fragmentos da rocha paralelos à superfície da rocha, devido às características de xistosidade.

Os esteatitos, ACA, FUR, LUN estudados neste trabalho, têm ampla utilização tanto como placas padronizadas para revestimentos de fornos e lareiras, pisos etc, inseridos no mercado europeu, quanto artesanal para a fabricação de peças ornamentais e utensílios, como as painéis de pedra, vendidas no comércio local e também exportadas. Entretanto, desde o início de utilização no período colonial até os dias de hoje as aplicações ornamentais, adequadas pela baixa dureza e fácil trabalhabilidade para peças artísticas, apresentam inconvenientes devido à falta de seleção desses materiais. Os esteatitos apresentam conteúdos mineralógicos variados, cujas diferenças se fazem nas proporções dos minerais: talco, carbonatos, cloritas, anfíbolios e opacos, além dos aspectos texturais que refletem em diferentes propriedades físico-mecânicas e resistências aos processos de alteração. As características intrínsecas a essas rochas as tornam mais ou menos favoráveis à susceptibilidade às deteriorações e alterabilidade. Assim, esteatitos com proporções maiores de carbonatos e opacos sempre constituirão problemas seja no aspecto estético, seja na durabilidade conforme observado nas deteriorações *in situ* nos monumentos e nos ensaios de alterabilidade. As deteriorações mais frequentes em monumentos de esteatitos foram mudanças de coloração, relevo, fissuras e perda de fragmentos de rocha, o que está de acordo com os resultados de alterabilidade que induziram a modificações estéticas devido a descolorações e desenvolvimento de cavidades milimétricas nas amostras de esteatitos ACA, FUR, LUN analisados. Os esteatitos analisados em parte são apropriados para uso como revestimentos internos de paredes e no uso doméstico como utilitários e adornos. No entanto, suas características de heterogeneidades composicionais e desgaste elevado os tornam impróprios para locais que exigem frequentes limpezas com produtos químicos e em situações que se utilizam de ácidos cítricos.

Os quartzitos foram e ainda são largamente aplicados em conjuntos arquitetônicos em Minas Gerais como elementos estruturais, em colunas e pilares, janelas e portais, chafarizes, revestimentos de paredes, além de aplicações ornamentais para confecção de peças ornamentais, como lanternas, carrancas, especialmente desenvolvidas na Oficina de Cantaria da UFOP. De modo geral, os quartzitos apresentam grandes variações em termos de cor e seus conteúdos mineralógicos. Geologicamente se inserem no Grupo Itacolomi, em grande parte aflorante no Parque Estadual do Itacolomi, de onde se pode extrair o quartzito sob autorização do IBAMA para os trabalhos de cantaria e restauração de monumentos em Ouro Preto e Mariana. Os quartzitos Lages inseridos na Formação Moeda, Supergrupo Minas, desde o início de sua utilização até hoje, constituem a maioria dos revestimentos de pisos e paredes nas edificações pela sua constituição mineralógica e

textural diferente do quartzito Itacolomi. Amplamente encontrado nas encostas da Serra de Ouro Preto e Mariana, o quartzito Lages ainda é extraído de forma garimpeira na região do Taquaral, Lages e em pequenas áreas ao longo da Serra de Ouro Preto e Mariana. A avaliação do quadro de deteriorações dos quartzitos a partir do estudo dos monumentos, integrados aos estudos de alterabilidade mostraram que as formas mais freqüentes nesses tipos pétreos são relevos, desintegração granular, esfoliação, além das colorações alóctones, seja devido à deposição de material particulado, seja devido a colonização microbiológica nas partes mais inferiores das edificações. Em termos de propriedades tecnológicas, os quartzitos Itacolomi apresentam índices de absorção de água elevados, resistência à compressão dentro do limite estabelecido por Frazão & Farjallat (>100MPa) e resistência à flexão bem abaixo do valor limite de 10MPa. Assim, tais materiais apresentam algumas limitações quanto à utilização em ambientes de alta taxa de umidade ou sujeitos à ação de agentes agressivos e não podem suportar cargas elevadas. Nos quartzitos Lages, a deterioração se resume ao desgaste e desprendimento de constituintes minerais devido a limpezas freqüentes dos pios e paredes, nos quais esses materiais são amplamente usados.

Ressalta-se que os dados aqui apresentados em relação às características físico-mecânicas destas rochas, podem apresentar diferenças ao longo do tempo. Tais disparidades devem estar associadas às variações composicionais, texturais, estruturais, alterações mineralógicas, grau de fraturamento nos afloramentos dos quartzitos Itacolomi cuja área abrange 7000 km². É importante uma amostragem sistemática dessas rochas para finalidades de caracterização tecnológica, de maneira que resultem na obtenção de valores médios dentro dos limites aceitáveis para utilização numa edificação ou escultura, levando em conta o tipo de condição a que a rocha estará exposta, bem como o estado de conservação da rocha ainda bruta.

Na segunda fase da pesquisa, foram estudados tipos de rochas de aplicação ornamental e de revestimento em edificações civis atuais, com ênfase para os granitos denominados comercialmente de Ás de Paus, Café Imperial, Preto Rio e Branco Eliane, para caracterizar os granitos e avaliar as alterações decorrentes da aplicação desses materiais tanto em revestimentos, quanto no uso doméstico. As rochas correspondentes aos granitos *lato sensu*, sob o ponto de vista petrográfico são designados como aegirina-augita ortoclásio sienitos (Café Imperial) de cor marrom esverdeado escuro; o sienito (Ás de Paus) de coloração cinza clara, o diorito (Preto Rio) de cor escura e sillimanita granada gnaïsse (Branco Eliane) de coloração branco amarelado e rosado.

Os resultados dos ensaios de alterabilidade mostraram a susceptibilidade à alteração em formas e intensidades variáveis conforme suas propriedades intrínsecas e a situação simulada (choque

térmico, lixiviação estática, resistência ao ataque químico e cristalização de sais). A resistência das rochas analisadas diante do ataque químico das substâncias químicas foi o ensaio que efetivamente apresentou efeitos mais deletérios em função das características texturais e, sobretudo, composicionais que refletem na coloração das rochas. Assim, o granito *lato sensu* de coloração clara como o Branco Eliane, de composição quartzo feldspática e o Ás de Paus, de composição alcalina, foram afetados nos ensaios de alterabilidade de maneira mais discreta em relação às rochas de coloração escura como o sienito Café Imperial e o diorito Preto Rio.

A integração de dados sobre as características tecnológicas como índices físicos e desgaste além dos ensaios de alterabilidade foram importantes nos critérios mais adequados às aplicações pretendidas. Os tipos petrográficos estudados apresentam valores de absorção de água e porosidade dentro dos limites estabelecidos por Frazão & Farjallat (1995). Nesse aspecto, estes materiais apresentaram valores muito semelhantes, porém, o granito Preto Rio destaca-se como o menos poroso, seguido pelo Café Imperial, Branco Eliane e por último, Ás de Paus, sendo adequados para revestimentos externos e internos. Por outro lado, o sienito Café Imperial e o diorito Preto Rio apresentaram baixa resistência aos ensaios de alterabilidade e desgaste moderado sendo recomendado para locais de pouco tráfego e em ambientes que exijam limpezas eventuais através de agentes neutros. Já o sillimanita granada gnaiss (Branco Eliane) e o sienito Ás de Paus podem ser indicados para pavimentos internos e externos e revestimentos internos e externos. No entanto, deve-se evitar, para esses tipos estudados, exposições prolongadas a substâncias que contenham em sua composição ácido clorídrico, hidróxido de potássio e citros de modo geral, devido ao aspecto antiestético que podem apresentar, conforme ensaios de alterabilidade realizados.

No estudo da alterabilidade, dentre as substâncias utilizadas, os granitos *lato sensu* mostraram-se mais sensíveis aos ácidos clorídrico e cítrico, tendo o hidróxido de potássio e o hipoclorito de sódio atuado de forma mais discreta. Assim, o HCl afetou os feldspatos, cuja ação mais prolongada desencadeou desagregação e formação de microcavidades na superfície atacada, com conseqüente acompanhamento de alterações cromáticas e moderada redução de brilho das superfícies polidas. Em relação ao brilho todas as substâncias químicas provocaram danos, entretanto, o hidróxido de potássio foi o agente responsável pelas maiores alterações cromáticas, redução de brilho e opacidade da superfície. Tais modificações não afetam em curto prazo as suas durabilidades, no entanto as qualidades estéticas são influenciadas (brilho e cor) logo nos períodos iniciais de utilização. Contudo, cuidados especiais devem ser dispendidos em relação à limpeza desses materiais aplicados como revestimento, garantindo desse modo, a conservação das suas qualidades estéticas por períodos mais amplos.

Nos estudos de alterabilidade, através de ensaios acelerados, como aqui realizados: ensaio de choque térmico, oxidação por ataque com peróxido de hidrogênio, resistência ao ataque químico (HCl, KOH, NaClO, ac. cítrico), cristalização de sais com Na₂SO₄ são válidos e aplicáveis para avaliar a susceptibilidade de rochas ornamentais à alteração. No entanto, é necessário critérios rigorosos e sistemática na execução de ensaios em laboratórios com infra-estrutura adequada e credenciados de acordo com normas já estabelecidas pela CEN.

Enfatiza-se que as heterogeneidades intrínsecas aos materiais rochosos indicam seu desempenho ante aos processos de alteração e neste aspecto a caracterização microscópica possibilita uma melhor visualização e interpretação. Sob esse aspecto, a aplicação direta de soluções aciduladas em lâminas delgadas de rochas sem lamínula tem sido usada com sucesso na avaliação da susceptibilidade de rochas à alteração na Universidade Nova Lisboa, Portugal e poderá substituir métodos que exijam análises químicas posteriores.

O ideal é trabalhar com corpos de prova de dimensões adequadas tanto aos ensaios tecnológicos quanto para ensaios de alterabilidade, exceto para rochas destinadas aos revestimentos interiores em que dados de resistência à compressão, flexão e desgaste são pouco importantes, como já estabelecido na literatura. O ensaio de lixiviação estática para avaliar alterabilidade de rochas face aos agentes atmosféricos constitui um método útil com a possibilidade de usar amostras de dimensões variáveis para ensaios físico-mecânicos, porém caro devido à necessidade de análise química dos elementos lixiviados.

Este estudo, no campo experimental da susceptibilidade de rochas de edificações históricas à deterioração e de rochas graníticas para revestimento à alteração acelerada, há necessidade de futuros trabalhos, dentre os quais sugere-se:

- pesquisas para adequação das técnicas de conservação de rochas, a partir do conhecimento prévio dos efeitos degradadores e as alterações de cada rocha submetida a ensaios de alteração acelerada, dispondo-se desses parâmetros para a seleção de técnicas de fixação, assentamento, impermeabilização e outros;
- aprimoramento na preparação de amostras e de soluções analíticas e futura normalização dos procedimentos para os ensaios de alteração acelerada, em especial aqueles que se revelam mais eficientes como: resistência ao ataque químico
- Nos ensaios de alterabilidade convém reavaliar as rotinas em aspectos como, concentrações dos reagentes a usar, tempo de exposição para visualizar as mudanças físicas e químicas,

assim como o estudo das respostas com outros tipos de acabamento de rochas, como apicoamento, flameado, etc.

- É recomendável a aplicação dos ensaios de alterabilidade tanto em outras variedades litológicas comercializadas como rochas ornamentais, quanto em materiais usados em obras civis como concretos, materiais para enrocamentos, etc.