

Mineralogia, Petrografia e Microscopia Eletrônica de Varredura do Material Pétreo que Recobre o Monumento ao Cristo Redentor

Joedy Patrícia Cruz Queiroz

Bolsista do Programa de Capacitação Institucional, Geóloga, D. Sc.

Adriano Caranassios

Orientador, Eng^o de Minas, D. Sc

Resumo

A presente pesquisa teve como objetivo de subsidiar o trabalho dos restauradores da empresa Cone Engenharia, com informações tecnológicas sobre o material pétreo, esteatito, que recobre a estátua do Cristo Redentor, para isso foi realizada uma extensa pesquisa que envolveu estudo petrográficos, microscopia de varredura eletrônica e análises mineralógicas, além de ensaios de alterabilidade, que porém, não foram contemplados no presente trabalho. Os resultados permitiram um melhor entendimento sobre a influencia dos agentes intempéricos e a reações decorrentes dos seus mecanismos, de forma a facilitar a tomada de decisões adequadas quanto à condução dos trabalhos de conservação, que estavam em andamento.

1. Introdução

As rochas são materiais muito duráveis e, por isso, muito usados em monumentos e edificações. No entanto, suas propriedades estéticas e mecânicas sofrem um decaimento ao longo do tempo, devido a diversos processos de alteração que serão mais ou menos acelerados dependendo da intensidade dos mesmos e do estado inicial do material. Dentre os fatores endógenos de alteração das rochas os mais importantes são: a natureza da rocha quanto à sua estrutura e composição mineralógica, as solicitações mecânicas a que estão submetidas na obra, bem como as técnicas de lavra e beneficiamento utilizadas para a obtenção do produto final. O esteatito ou pedra sabão possui alta resistência e durabilidade, apresenta superfície de brilho acetinado, é pouco porosa, séctil, e untuosa ao tato (Yardley, 2004). Devido a estas características a pedra-sabão foi escolhida para recobrir o Monumento ao Cristo Redentor (Figura 1a), no qual cada peça que compõe o recobrimento é designada como tessela (Figura 1b). Para este trabalho foram analisadas tesselas retiradas do monumento descritas como originais, tesselas de reposição utilizada na restauração de 2000 e tesselas de reposição utilizada na restauração de 2010.



Figura 1. (A) Mosaico de tesselas no monumento; (B) Tessela de esteatito.

2. Materiais e Métodos

2.1. Análise Petrográfica

A análise petrográfica foi feita a partir da interpretação de lâminas delgadas representativas das feições macroscópicas de 1 tessela original extraída do revestimento do Cristo Redentor, de 1 tessela de 2000 e de 1 rocha de reposição de 2010. Cada lâmina foi examinada ao microscópio a fim de se observar a textura, a composição mineralógica, a natureza da rocha, o estado microfissural e as alterações dos minerais. Tal ensaio foi realizado segundo a norma ABNT 12.768/92.

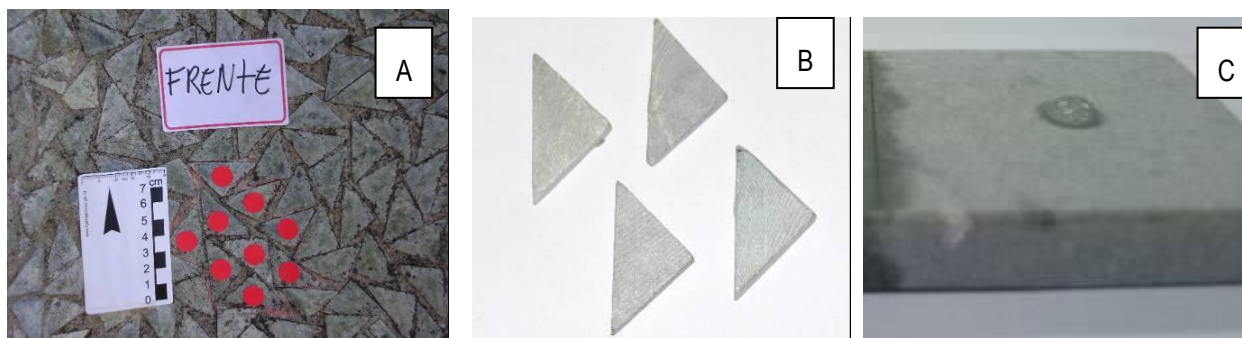


Figura 2. (A) Tesselas Originais; (B) Tessela da restauração de 2000; (C) Tessela da restauração de 2010.

2.2. Microscopia Eletrônica de Varredura

As amostras das tessela original, 2000 e de 2010 para análise ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram embutidas em resina epóxi, desbastadas e polidas. Em seguida, secções polidas foram recobertas com carbono, com o metalizador Bal-Tec SCD 005, para tornarem-se condutores, adequados à análise ao MEV. Para a tessela original foram embutidos pedaços da mesma amostra (fachada sul), que foram seccionados paralelamente e perpendicularmente a superfície de exposição.

As amostras foram analisadas no MEV através de imagens formadas pelo detector de elétrons retro-espalhados ou elétrons secundários. Eventualmente foram realizadas microanálises por EDS. A resolução da microanálise por EDS é da ordem de 1 μm de raio em superfície e uma profundidade da ordem de 5 μm , para a densidade do material analisado.

2.3. Análise Mineralógica

Os difratogramas de raios-X (DRX) das amostras foram obtidos pelo método do pó, utilizando um equipamento da marca *Bruker-D4 Endeavor*. As interpretações qualitativas das fases minerais presentes nas amostras foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 em *software Bruker DiffracPlus*.

3- Resultados e Discussão

3.1. Análise Petrográfica

a) Tesselas originais

Macroscopicamente, a rocha apresenta coloração cinza-esverdeada, granulação fina e aspecto maciço, com elevado grau de degradação, caracterizado pela presença de manchas, descoloração, pontos negros, perda de material rochoso, causando o arredondamento dos cantos das tesselas, desintegração evidenciada pelo desprendimento paralelamente à superfície da rocha e fissuras.

Microscopicamente, a rocha apresenta textura nematoblástica a granolepidoblástica,. De modo geral, a rocha apresenta uma quantidade pequena de microfissuras e o nível de alteração é intermediário. A alteração é caracterizada por zonas manchadas levemente amarronzadas que ocorrem próximo as microfissuras (Figura 2a). Outra evidência de alteração é notada nos anfibólios (tremolita), com partes destes minerais arrancadas ou sem apresentar suas características óticas preservadas (Figura 2b).

A composição mineralógica é predominantemente formada por talco, em menor quantidade ocorrem clorita, carbonato e anfibólios disseminados, mas por vezes ocorre aglomerado na lâmina, são raros os minerais opacos. Os cristais de talco apresentam-se incolores em luz natural, de tamanhos variados, hábito lamelar e cor de interferência verde-rosa, localmente formando aglomerados. A clorita ocorre em forma de palhetas de cor verde-claro em luz natural. Os carbonatos ocorrem agregados por toda a lâmina com cristais inequigranulares. O anfibólio (tremolita-actinolita) ocorre com hábito acicular e cor verde-claro em luz natural e birrefringência moderada.

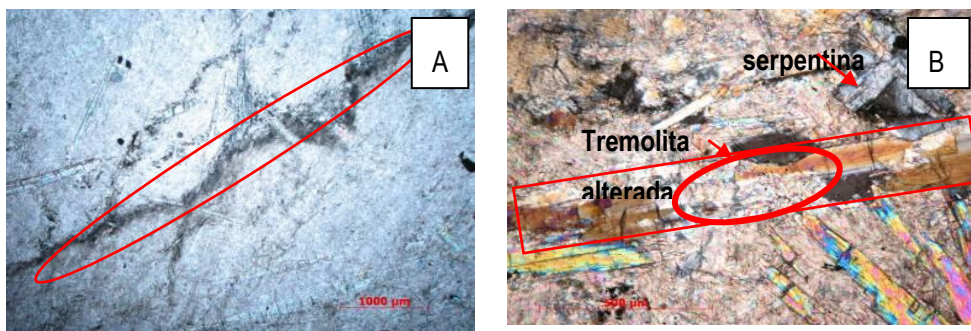


Figura 3. (A) Fotomicrografias da textura geral do esteatitom e mostrando uma zona de alteração da rocha feitas a partir das tesselas originais (luz natural); **(B)** Fotomicrografias de esteatitom, feitas a partir das tesselas originais detalhe de aglomerado de cristais de tremolita e zona alterada (nicóis cruzados).

b) Tesselas da Restauração de 2000

Macroscopicamente a rocha apresenta coloração acinzentada, granulação fina e aspecto maciço, sem alterações visíveis a olho nu. Microscopicamente, apresenta textura diaclástica em que os minerais não apresentam uma orientação e não são equidimensionais (Figuras 3a). Não ocorrem microfissuras e a alteração é fraca. A composição mineralógica da rocha é formada predominantemente por talco. Subordinadamente ocorre serpentina e carbonatos disseminados por toda a lâmina, raras cloritas e minerais opacos são observados.

Os grãos de talco são lamelares, apresentam-se incolores em luz natural, de tamanho variado e cor de interferência verde-rosa, localmente formando aglomerados (Figura 3b). Os carbonatos ocorrem com cristais inequigranulares, formando agregados por toda a lâmina. A serpentina ocorre associada ao talco em cristais anédricos fibrolamelares de cor incolor a levemente esverdeada. Os minerais opacos estão disseminados na lâmina com cristais subédricos a anédricos.

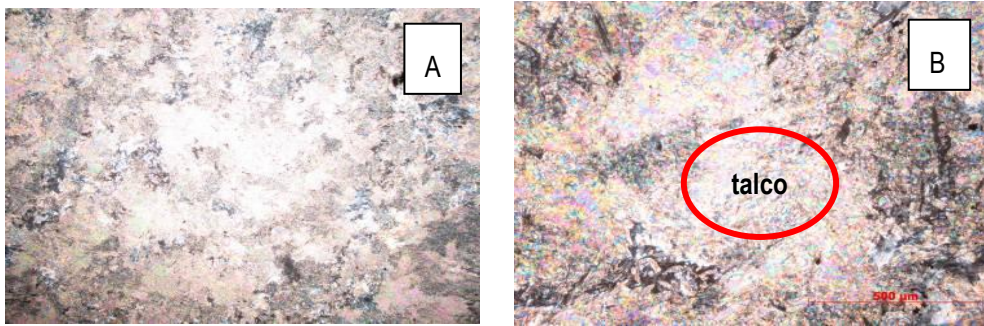


Figura 4. (A) Fotomicrografia da textura geral do esteatito, feita a partir das tesselas de reposição de 2000 (luz natural); **(B)** Detalhe de aglomerado de cristais de talco (nicóis cruzados).

c) Tesselas da Restauração de 2010

Macroscopicamente, a rocha apresenta coloração verde acinzentado, granulação fina e aspecto maciço, sem alterações visíveis a olho nu. Microscopicamente a rocha que forma as tesselas de 2010 são muito semelhante com a rocha de reposição de 2000, tanto na textura dioclástica (Figuras 4a e 4b), como no seu estado microfissural e composicional. O nível de alteração da rocha é muito fraco, pontualmente nota-se a alteração nos minerais opacos. A rocha é formada por talco, subordinadamente ocorrem serpentina e minerais opacos disseminados por toda a lâmina. Os grãos de talco são lamelares subédrico a anédricos, apresentam-se incolores em luz natural, de tamanho variado e cor de interferência verde-rosa, localmente formando aglomerados. Como na rocha de 2000 a serpentina também ocorre associada ao talco, apresenta-se em cristais fibrolamelares anédricos. Os minerais opacos que são formados principalmente por ferro, na maioria das vezes forma aglomerados e apresentam-se alterados, com sinais de desferrificação o que causa manchamento levemente avermelhado ao seu redor. Os carbonatos ocorrem formando agregados muitas vezes se confundindo com o talco.

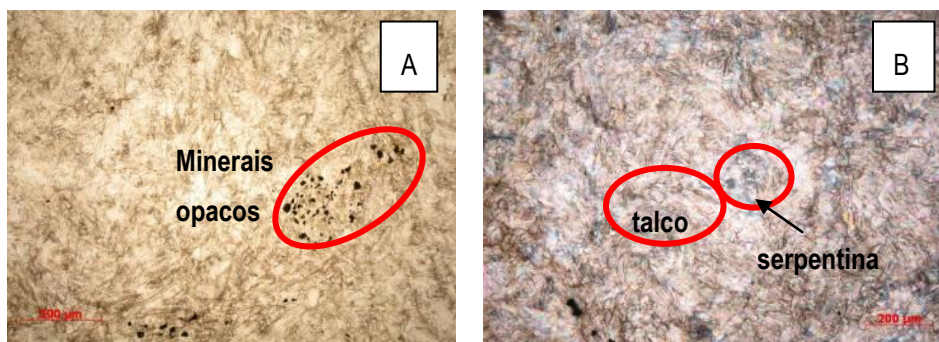


Figura 5. (A) Fotomicrografia da textura geral do esteatito, feita a partir das tesselas de reposição de 2010 (luz natural); **(B)**. Fotomicrografia da textura geral do esteatito e detalhe do arranjo do talco na rocha das tesselas de reposição de 2010 (nicóis cruzados).

2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

A Figura 5a demonstra a disposição dos minerais de hábito lamelar e poros representando perda de material para as amostras originais, além do nível de alteração da rocha, que apresenta uma superfície bastante desgastada e vários espaços vazios (poros).

A Figura 5b nos dá uma idéia da ação do intemperismo, que possivelmente começa com a percolação de fluidos através de pequenas fraturas presente nas tesselas. Estes fluidos, por sua vez, reagem degradando principalmente minerais silicáticos como a tremolita e actinolita nas suas bordas, para depois os alterando quase completamente.

A análise do MEV veio confirmar as feições e o mecanismo do intemperismo para as tesselas de 2000 e 2010, só foi possível gerar imagem de superfície, mas que demonstram a similaridade da textura e da mineralogia dessas duas rochas (Figura 5c e b).

Os espectros de dispersão de energia (EDS) demonstraram que nas amostras de 2000 e 2010 possuem composições semelhantes, com a presença de ferro, cálcio e potássio e predominância de silício, alumínio e magnésio. Na amostra original, observa-se de maneira geral, a presença dos mesmos elementos encontrados nas amostras de 2000 e 2010. A maior diferença é a quantidade menor de cálcio, ferro e alumínio.

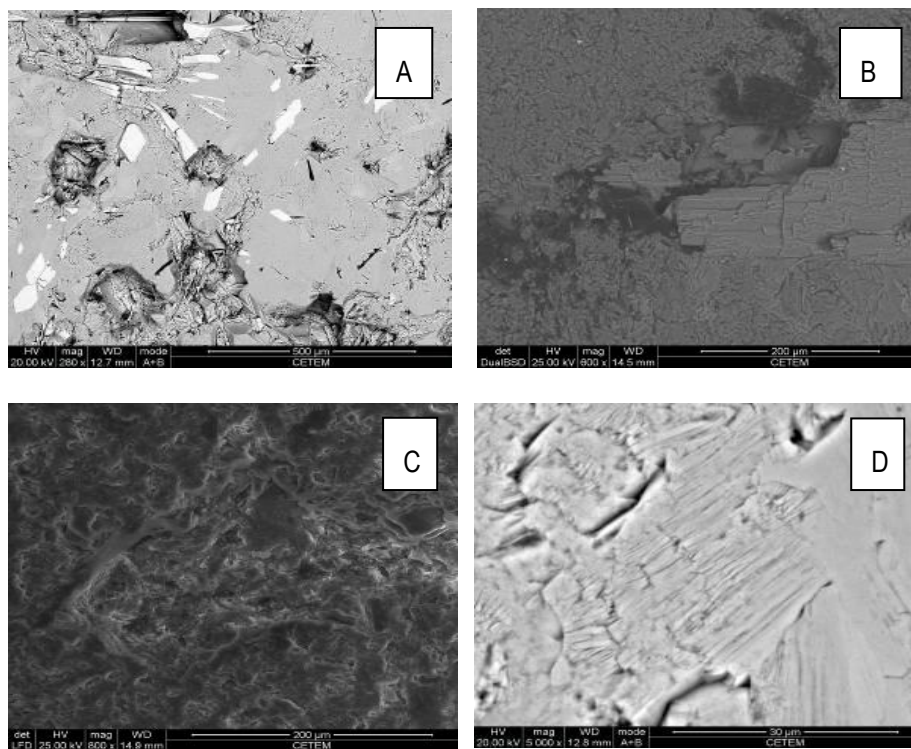


Figura 6. Imagens obtidas no MEV. A) Hábito e disposição dos minerais e detalhe dos poros na superfície da tessela. B) Fissura que facilita a percolação de fluidos com detalhe do desgaste na borda da tremolita; C) Textura da rocha de 2000 e disposição dos minerais. D) Detalhe de disposição dos cristais de talco da rocha de 2010.

2.5. Análise mineralógica

A análise mineralógica mostrou as fases minerais presentes nas rochas que compõem as tesselas originais, as de reposição de 2000 e as de reposição de 2010. No difratograma da tessela original, os picos com maior intensidade foram atribuídos à presença, principalmente, da fase mineral talco. Os picos de menor intensidade marcam à presença das fases minerais clorita, calcita, tremolita, actinolita e serpentina (Figura 6a). O

difratograma da tessela de 2000 confirma a presença predominante de talco nos picos de maior intensidade, e nos picos de menor intensidade, a presença de serpentina (Figura 6b). O mesmo é observado no difratograma da tessela de 2010, com a predominância de talco e picos de menor intensidade representativos de serpentina (Figura 6c).

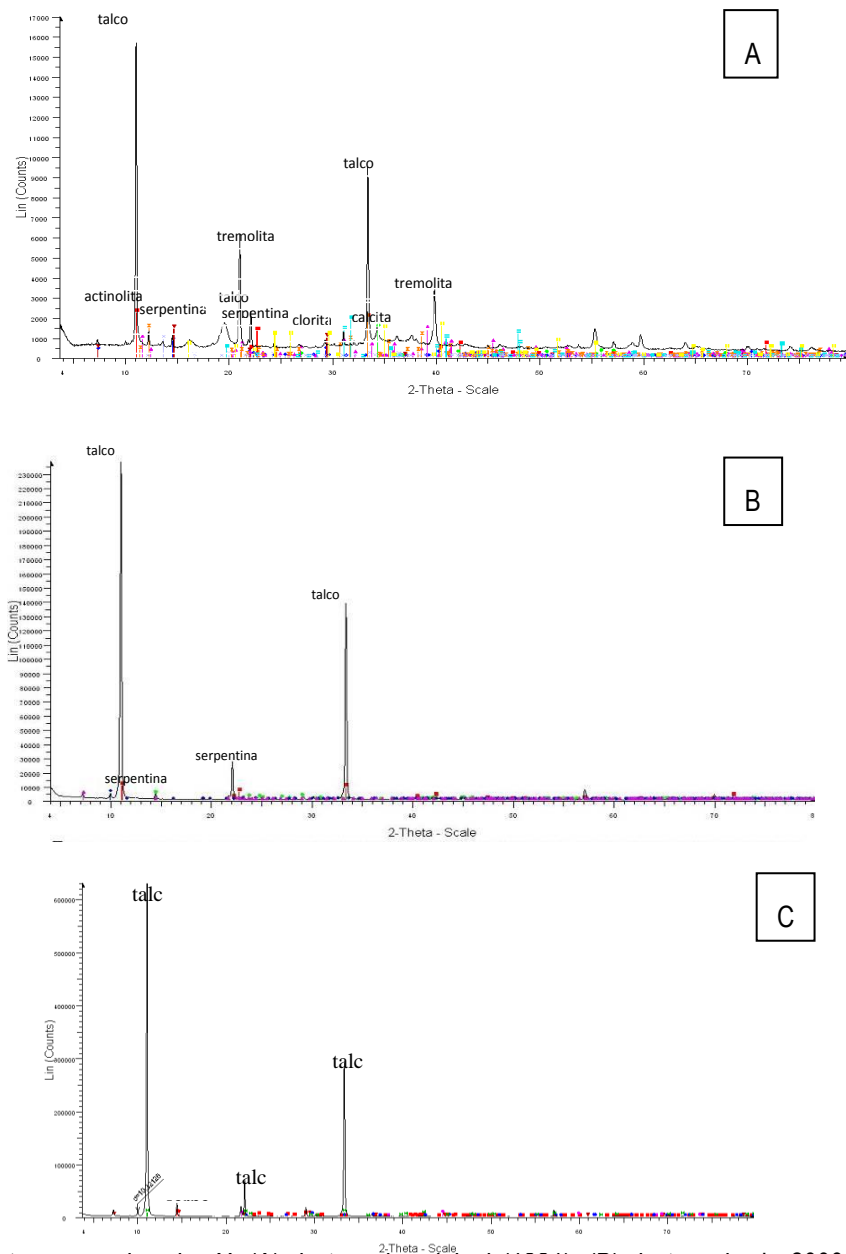


Figura 7. Difratogramas de raios-X: (A) da tessela original (1931); (B) da tessela de 2000; (C) da tessela de 2010.

3. Conclusão

As análises comparativas utilizando métodos tradicionais (petrografia) e técnicas sofisticadas, como a microscopia de varredura e difração de raios X, demonstraram que a composição das rochas que constituem as tesselas de 2000 e as tesselas de 2010, são semelhantes. Já as tesselas originais (1931) possuem uma composição diferenciada das anteriormente citadas.

A similaridade mineralógica das tesselas de 2000 e de 2010 confirma o que foi visto na análise petrográfica e na microscopia eletrônica de varredura, pois apresentam os mesmos elementos e aspectos texturais e pode indicar que os materiais são da mesma região.

Comparando-se a mineralogia observada nas amostras analisadas da tessela original e das tesselas de 2000 e 2010, nota-se que as originais têm uma variedade mineralógica maior na sua composição, mas com menor quantidade de cálcio, ferro e alumínio, indicando mais uma vez a perda destes elementos através da ação do intemperismo em minerais como a tremolita e calcita. A perda ou desagregação destes minerais contribuem para a aceleração do intemperismo das tesselas, já que aumenta a porosidade facilitando por sua vez a percolação de fluidos nestas tesselas, além de contrinuir para a proliferação de microorganismos e acelerar a degradação das tesselas.

4. Agradecimentos

Agradeço ao CNPQ pela bolsa e ao CETEM pela oportunidade, a equipe que faz parte da CATE/CACI principalmente à Núria Castro, Roberto Ribeiro, Julio Guedes e Francisco Hollanda, que contribuíram para a realização deste trabalho.

5. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.768/92: rochas para revestimento, análise petrográfica. Rio de Janeiro. 1992.

GONZÁLEZ-MESONES, F. L. La alterabilidad y durabilidad de la piedra natural. Curso de Especialização em Tecnologia e Valorização de Rochas Ornamentais, UFRJ-CETEM-CETEMAG, 2003. Notas de aula.

YARDLEY, D. W. B. **Introdução à petrologia metamórfica**. 2ed. Editora UNB. 2004