

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE DOIS CONSOLIDANTES NO GNAISSE FACOIDAL

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TWO CONSOLIDANTS IN FACOIDAL GNEISS

Victor Emanuel de Oliveira Martins

Aluno de graduação em Geologia, 6º período, UFRJ - IGEO-RJ

Período PIBIC /CETEM: fevereiro de 2025 a agosto de 2025

contateoemanuel@gmail.com

Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda

Orientadora, Geóloga, D.Sc.

mcerqueda@cetem.gov.br

Nuria Fernández Castro

Coorientadora, Engenheira de Minas, D.Sc.

ncastro@cetem.gov.br

RESUMO

O Gnaisse Facoidal é uma rocha intimamente ligada à história do Rio de Janeiro. Devido à sua relevância cultural, histórica e patrimonial, foi recentemente reconhecida como "Pedra do Patrimônio" pela União Internacional das Ciências Geológicas. Presente em importantes edificações, como o Centro Cultural Banco do Brasil e o Museu Nacional, essa rocha sofre processos naturais de degradação ao longo do tempo, os quais são intensificados pela ação humana. Por isso, sua conservação e manutenção tornam-se indispensáveis. Para sua conservação, são utilizados diversos produtos químicos, entre os quais se destacam os consolidantes, cuja função é reduzir parcialmente a porosidade da rocha sem obstruir totalmente seus poros. É fundamental que a aplicação desses produtos não provoque alterações estéticas na rocha. O objetivo do presente estudo é avaliar a efetividade de consolidantes disponíveis no mercado em gnaisses históricos do Rio de Janeiro. Neste estudo, foram selecionadas amostras doadas pela Santa Casa de Misericórdia, previamente submetidas a alterações artificiais e escolhidas com base em seu grau de degradação e fissuramento. Os consolidantes testados foram o BS3003 e o TEOS28%. O processo de consolidação foi realizado duas vezes. Antes e após cada consolidação, as amostras foram caracterizadas quanto a porosidade e absorção de água, absorção por capilaridade (método da esponja e tubo de Karsten), dureza, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (VPU), e cor e brilho. Após os ensaios, foi constatado que os consolidantes foram eficazes para diminuir os vazios da rocha, entretanto foi notado um escurecimento das amostras, o que é indesejado quando se trata de preservar o patrimônio.

Palavras chave: Gnaisse facoidal , conservação, consolidantes.

ABSTRACT

Facoidal gneiss is a rock intimately connected to the history of Rio de Janeiro. Due to its cultural, historical, and patrimonial significance, it was recently recognized as a "Heritage Stone" by the International Union of Geological Sciences. Present in important buildings, such as the Banco do Brasil Cultural Center and the National Museum, this rock naturally undergoes degradation processes over time, which are intensified by human activity. Therefore, its conservation and maintenance are essential. Various chemical products are used for its conservation, among which consolidants stand out. Their function is to partially reduce the porosity of the rock without completely blocking its pores. It is crucial that the application of these products does not cause aesthetic changes to the rock. The objective of this study is to evaluate the effectiveness of consolidants available on the market in historical gneisses from Rio de Janeiro. In this study, samples donated by the Santa Casa de Misericórdia were selected,

previously subjected to artificial alteration and chosen based on their degree of degradation and fissuring. The consolidants tested were BS3003 and TEOS 28%. The consolidation process was carried out in two stages. The tests applied included capillary absorption, sponge method, Karsten tube, hardness, ultrasonic propagation velocity (VPU), as well as color and gloss analysis, all performed before consolidation, after the first application, and after the second application of the products. After the tests, it was found that the consolidants were effective in reducing the voids in the rock; however, it was noted that the samples darkened, which is undesirable when it comes to preserving heritage.

Keywords: Facoidal gneiss, conservation, consolidants.

1. INTRODUÇÃO

A cidade do Rio de Janeiro é uma paisagem cultural do patrimônio mundial (UNESCO, 2012), título no qual o Gnaisse Facoidal, formado durante a aglomeração do continente Gondwana há 560 Ma, desempenha um papel significativo. Essa rocha, que modela a paisagem natural da Baía da Guanabara, é a principal constituinte de geossítios mundialmente conhecidos, como o Pão de Açúcar e foi a principal pedra de construção da cidade entre os séculos XVI e XX, compondo seu patrimônio cultural com belos exemplos como o Museu Nacional, o Palácio do Catete, o Centro Cultural Banco do Brasil e o Museu de Ciências da Terra (CASTRO et al., 2021). O Gnaisse Facoidal é, por esses motivos, testemunho e elo de ligação entre a história geológica e cultural da cidade do Rio, o que inspirou Mansur et al. (2008) a apelidá-lo de "A mais carioca das rochas" e, em 2024, tornou-se a primeira rocha brasileira designada como Pedra do Patrimônio Mundial pela União Internacional das Ciências Geológicas (*IUGS-Heritage Stone*) (EHLING et al., 2024).

A utilização do Gnaisse Facoidal em edificações, fora de seu ambiente de formação e, especialmente, em centros urbanos, acelera seu processo de degradação, quando comparado ao processo natural da rocha decorrente do intemperismo, (FRASCÁ, 2003).

Diante desse cenário, destaca-se a importância de estudos voltados à conservação do Gnaisse Facoidal presente no patrimônio histórico, artístico e cultural, com vistas à proteção e valorização desses bens. Para isso, é necessário o uso de métodos e produtos que melhorem sua resistência frente aos agentes de degradação. Entre esses produtos, os consolidantes são aplicados nas pedras dos monumentos quando essas apresentam sinais de perda coesão e resistência, atuando na sua reestruturação por meio da solidificação de compostos em seu interior que formem ligações entre os minerais. Os mais utilizados em rochas silicáticas são emulsões ou soluções de compostos orgânicos de base silano que hidrolisam, liberando os solventes e solidificam como sílica amorfa no interior dos poros. Eles promovem, assim a redução da porosidade e o consequente aumento da resistência mecânica, e costumam apresentar efeito hidrofugante. A preservação parcial da porosidade é fundamental, pois sua completa obstrução pode impedir o intercâmbio de vapor d'água com o meio externo. O consolidante ideal deve apresentar afinidade química com os minerais constituintes da rocha, elevada capacidade de penetração, ausência de formação de películas superficiais, estabilidade cromática e não gerar subprodutos residuais (RODRIGUES; PINTO, 2016).

Existem muitos tipos de consolidantes utilizados regularmente em outros países, sendo os mais frequentes para gnaisses e granitos os de base de tetraortossilicato de etila (TEOS). No entanto, no Brasil, o uso é quase restrito à água de cal, não efetiva para rochas silicáticas, devido à falta de estudos dos efeitos no restauro de pedras do patrimônio dos produtos disponíveis no mercado nacional.

2. OBJETIVO

Avaliar a efetividade de dois produtos consolidantes em amostras de Gnaisse Facoidal alteradas.

3. METODOLOGIA

Utilizaram-se 10 amostras (5 cm^3) de Gnaisse Facoidal provenientes de cantarias da demolição de um prédio anexo à Santa Casa de Misericórdia, Rio de Janeiro, previamente alteradas termicamente por Mello et al. (2024). Nessas amostras, foram aplicados dois consolidantes disponíveis comercialmente no Brasil: o Walker BS3003 e o Famethyl TEOS28%. A consolidação da rocha foi realizada por capilaridade (EN 15801). Cinco amostras receberam o BS3003 e as outras cinco receberam o TEOS 28%. Após a aplicação, as amostras passaram por um período de cura de 30 dias.

Para avaliar a efetividade dos produtos, antes e após cada aplicação de consolidante, determinaram-se: porosidade aparente e absorção de água à pressão atmosférica (%) (ABNT 15845-2), absorção de água por capilaridade ($\text{kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{s}}$) (DIN EN 15801, 2009), absorção de água pelo método do tubo de Karsten ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) (CEN EN 16302, 2013) e pelo método da esponja de contato ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$) (BSI EN 17655, 2022), cor no sistema CIEL*a*b* com observador D65 e ângulo de 10° (BS EN 15886, 2022) e brilho (GU) com espectrofotômetro BYK Gardner, dureza superficial Leeb com sonda D (HLD) (ISO 16859 – 1, 2015) e velocidade de propagação de ondas ultrassônicas — VPU (m/s) (ABNT NBR 8802, 2019). Os ensaios foram realizados em três momentos diferentes: antes da consolidação, após a aplicação e cura do consolidante pela primeira vez e após a aplicação e cura do consolidante pela segunda vez.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, seguir, mostra os resultados da avaliação das determinações físicas realizadas, sob a forma de percentual de aumento ou redução dos valores de cada análise, com exceção da cor apresentada pela diferença total de cor (ΔE^* - CIEL*a*b*).

Tabela 1: Variações percentuais dos parâmetros avaliados após as etapas de consolidação.

	Identificação do Corpo de Prova e o consolidante aplicado									
	1B1 BS	2B1 T28	2B2 BS	2B4 T28	3B2 BS	3B4 BS	4B4 T28	7B2 T28	8A4 T28	8B1 BS
ρ - $\Delta 1$	↓ 38	↓ 16	↓ 71	↑ 2	↓ 60	↑ 0,4	↑ 5	↑ 6	↑ 4	↓ 42
ρ - $\Delta 2$	↓ 58	↓ 22	↓ 81	↓ 10	↓ 75	↓ 62	↓ 66	↓ 2	↓ 15	↓ 76
CA - $\Delta 1$	↓ 85	↓ 66	↓ 98	↓ 42	↓ 97	↓ 79	↓ 97	↓ 58	↓ 45	↓ 97
CA - $\Delta 2$	↓ 82	↓ 82	↓ 94	↓ 75	↓ 95	↓ 95	↓ 4	↓ 65	↓ 86	↓ 95
Wa - $\Delta 1$	↓ 97	↓ 84	↓ 99	↓ 30	↓ 99	↓ 97	↓ 99	↓ 95	↓ 93	↓ 99
Wa - $\Delta 2$	↓ 97	↓ 97	↓ 99	↓ 98	↓ 99	↓ 99	↓ 99	↓ 99	↓ 99	↓ 99
W - $\Delta 1$	↓ 85	↓ 29	↓ 96	↓ 21	↓ 95	↓ 65	↓ 100	↓ 6	↑ 20	↓ 97
W - $\Delta 2$	↓ 88	↓ 94	↓ 100	↓ 65	↓ 100	↓ 95	↓ 100	↓ 98	↓ 77	↓ 100
HLD - $\Delta 1$	↑ 13	↑ 13	↑ 3	↓ 1	↑ 7	↑ 4	↓ 1	↓ 1	↓ 11	↓ 25
HLD - $\Delta 2$	↑ 13	↑ 7	↓ 7	↓ 11	↑ 8	↑ 2	↓ 13	↓ 17	↓ 7	↓ 17
VPU - $\Delta 1$	↑ 35	--	↓ 3	↓ 5	--	↓ 15	--	↓ 11	0	↓ 100
VPU - $\Delta 2$	↑ 43	--	↑ 4	↑ 23	--	↓ 14	↑ 11	↓ 7	↑ 50	↓ 12
ΔE^* - $\Delta 1$	1,40	5,36	5,10	2,55	4,03	5,77	6,26	4,13	0,78	4,37
ΔE^* - $\Delta 2$	2,19	11,58	5,86	5,49	5,31	6,65	7,93	8,72	7,57	7,28
GU - $\Delta 1$	↑ 9	↓ 21	↓ 28	↓ 25	↓ 12	↓ 36	↓ 45	↓ 44	↓ 21	↓ 24
GU - $\Delta 2$	↑ 10	↓ 14	↓ 18	↓ 8	↓ 9	↓ 18	↓ 31	↓ 26	↓ 21	↓ 22

Legenda: BS: Wacker BS3003, T28 TEOS 28%; $\Delta 1$: 1ª consolidação/ sem consolidação, $\Delta 2$: 2ª consolidação/ sem consolidação. ↑ Aumento dos valores (%) e ↓ redução dos valores (%).

ρ : porosidade aparente, CA: coeficiente de absorção de água por capilaridade, Wa: absorção de água pela esponja de contato, W: absorção de água pelo método do Karsten, HLD: dureza superficial Leeb, VPU: Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas; ΔE^* : diferença total de cor; GU: Brilho.

Após a primeira consolidação foi observado uma redução significativa na porosidade aparente nas amostras que receberam o BS3003, já nas amostras que receberam o TEOS 28% houve um leve aumento nessa característica. Entretanto com a segunda consolidação todas as amostras mostram uma redução, indicando que a consolidação foi efetiva.

Os resultados obtidos também mostraram que os valores percentuais do coeficiente de absorção capilar foram reduzidos na maioria das amostras que receberam o BS3003. Já as amostras que receberam o TEOS 28% apresentaram um aumento pouco expressivo no coeficiente de absorção capilar. A segunda consolidação, por outro lado, mostrou um padrão de redução para todas as amostras.

No ensaio com a esponja de contato, verificou-se que, nas duas etapas da consolidação, nenhum corpo de prova apresentou aumento nos valores de absorção de água, o que é indicativo dos efeitos hidrofugantes do processo de consolidação.

O método do Karsten, assim como o método da esponja de contato, apresentou uma redução nos valores percentuais, o que já era esperado. Nota-se também a diferença entre os valores da primeira e da segunda consolidação, especialmente nas amostras que receberam o TEOS 28%, o que indica que a realização de uma segunda consolidação foi mais eficaz nessas amostras.

Os valores de dureza apresentados na Tabela 1 se referem a medições nas faces onde foi aplicado o consolidante, para verificar se provocou modificações de resistência na superficial, o que poderia indicar um aumento da coesão naquela face da rocha. Os dados da segunda consolidação foram observados uma redução nesse parâmetro, indicando que não houve uma boa penetração na rocha.

Os valores do brilho (G) apresentaram uma leve redução nas amostras consolidadas em relação a original da rocha. A interpretação dos resultados da cor e do brilho também mostraram diferenças na cor sendo verificadas nas diferenças totais de cor (ΔE^*) acima de 5 unidades que são perceptíveis a olho nu. Essa diferença é indesejável, porém a tendência é com o tempo essa diferença diminuir.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, as duas etapas da consolidação para as amostras tratadas com o BS3003 e o TEOS 28% tiveram uma redução da porosidade aparente mostrando que a consolidação foi eficaz.

Em consonância com os resultados da porosidade aparente, verificou-se a redução da absorção capilar nas amostras, não houve aumento na absorção de água no método da esponja de contato, devido ao efeito hidrofugante dos consolidantes e a diminuição nos valores percentuais que ocorreram no método do Karsten.

A redução dos valores da dureza Leeb na face de aplicação da amostra demonstraram que não houve uma boa penetração na rocha nas etapas da consolidação.

Os resultados do brilho mostram uma leve diminuição nas amostras consolidadas em comparação as amostras sem tratamento, sendo os resultados das diferenças totais de cor mais perceptíveis a olho nu, entretanto, essa diferença tende a reduzir conforme o tempo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura fornecida, ao CNPq pela bolsa concedida, a Michelle Teixeira e ao Bruno Piacesi pelo suporte na efetuação das análises.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. A956-12, Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products. 2017. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15845-2. Rochas para Revestimento Parte: Determinação da Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2010. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 8802:2019. Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. 2019. 8p.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS EN 17655. Conservation of cultural heritage - Determination of water absorption by contact sponge method. British Standards Limited, Londres. 2022. 13p.
- CASTRO, N.F. Pedras do Patrimônio da Cidade do Rio de Janeiro e Métodos de Diagnóstico para sua Conservação. 2024. 283 p. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).
- CASTRO, N.F., MANSUR, K.L., FRASCÁ, M.H.B.O.; SILVA, R.E.C. 2021, ‘A heritage stone of Rio de Janeiro (Brazil): the Facoidal gneiss’, Episodes, v. 44, no. 1, pp. 59-74, 2021. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2020/0200s13>.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 15801 Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity, Beuth Verlag GmbH, Berlim.2009, 11 p.
- EHLING, A., KAUR, G., JACKSON, P.N.W., CASSAR, J., DEL LAMA, E.A., HELDAL, T. The first 55 IUGS Heritage Stones. IUGS Subcommission on Heritage Stones, 2024.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. EN 15801. Conservation of cultural property - Test methods – Determination of water absorption by capillarity. 2009. 11 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. EN 16302. Test Methods. Measurement of water absorption by pipe method. European Standard. 2013. 15 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-EN15886 Conservation of cultural property - Test methods - Colour measurement of surfaces, CEN, Bruxelas. 2010. 11p.
- FRASCÁ, M.H.B.O. Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento. Instituto de Geociências. 2003. 263 p. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. São Paulo (Brasil).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16859-1 - Metallic materials – Leeb hardness test – Part 1: Test method. ISO, 2015.
- MANSUR, K.L.; CARVALHO, I.S.; DELPHIM, C.F.M.; BARROSO, E.V. O Gnaisse Facoidal: a mais Carioca das Rochas. Anuário do Instituto de Geociências. v. 31, 2/2008, p. 9-22.
- MELLO, B.B.; CERQUEDA, M.L.A.; RIBEIRO, R.C.C.; CASTRO, N.F. Estudo dos Efeitos do Fogo no Gnaisse Facoidal do Pedestal do Monumento a Pedro Álvares Cabral. In: XXXII Jornada de Iniciação Científica e VIII Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. 2024. 5p
- RODRIGUES, J.D., PINTO, A.P.F. Consolidação de Calcários muito Porosos, problemas e perspectivas de solução. Geonomos. v.24. n.2. 2016. 202-208p. doi: 10.18285/geonomos.v24i2.884
- SANTOS, K.O., CASTRO, N.F. CONCEIÇÃO, M.N., CERQUEDA, M.L.A. Aplicação e Análise da Eficácia de Consolidantes em Amostras de Leptinito do Mosteiro de São Bento previamente Alteradas em laboratório. In: XXXII Jornada de Iniciação Científica e VIII Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. 2024. 131-136 p.