

# **Efeitos da cristalização de NaCl no gnaisse facoidal: ensaios laboratoriais**

## **Effect of NaCl crystallization on facoidal gneiss: laboratory tests**

**Bruno Filgueiras Conde Piaresi**

Bolsista PCI, Téc. Meio Ambiente

**Nuria Fernández Castro**

Supervisora, Enga. de Minas, D. Sc.

Lab. de Alterabilidade e Conservação – LACON/CETEM

### **Resumo**

O Gnaisse Facoidal, rocha representativa da paisagem carioca foi o principal material de construção no Rio de Janeiro por quatro séculos, sendo encontrado em inúmeros implementos urbanos e monumentos. O estudo dos processos de degradação das rochas no ambiente construído é necessário para a conservação do patrimônio cultural, sendo a cristalização de sais uma das principais causas de deterioração. Buscando entender como a cristalização de NaCl, presente na atmosfera da cidade e encontrado em muitos monumentos, afeta ao Gnaisse Facoidal, foram realizados dois tipos de ensaio de cristalização de NaCl em quatro amostras cúbicas; um baseado em variações de temperatura e o outro em variações de umidade relativa. A formação e distribuição dos sais cristalizados foi avaliada por microtomografia de raios X (micro-CT), velocidade de ondas ultrassônicas e porosidade. O NaCl cristalizou no interior dos corpos de prova, e a alguns milímetros sob a superfície, como observado nos monumentos, especialmente no ensaio com variações de umidade relativa. Ambos ensaios, também resultaram em formação e crescimento de fissuras e desagregação granular no Gnaisse Facoidal, comprovando o efeito deletério do NaCl nessa rocha.

**Palavras-chave:** pedras do patrimônio; deterioração; Rio de Janeiro.

### **Abstract**

Facoidal Gneiss, the most significant rock of the Rio de Janeiro landscape, was the main construction material in this city for four centuries, composing numerous urban structures and monuments. Understanding the decay mechanisms affecting heritage stones is essential for cultural heritage conservation, where salt crystallisation represents a major pathway of material degradation. Seeking to understand the effect of NaCl crystallisation on Facoidal Gneiss, two types of NaCl crystallisation tests were performed in four samples: one based on variations of temperature and the other on relative humidity. The formation and distribution of crystallised salts was evaluated by X-ray microtomography (micro-CT), ultrasonic wave velocity and porosity. The NaCl crystallised inside the specimens, and a few millimeters under the surface, as observed in the monuments, especially in the test with relative humidity variations. Both assays also resulted in the formation and growth of cracks and granular disaggregation in Facoidal Gneiss, proving the deleterious effect of NaCl, present in the city's atmosphere and found in many monuments, on this rock.

**Keywords:** heritage stone; decay; Rio de Janeiro.

## **1. Introdução**

O Rio de Janeiro possui um rico patrimônio edificado, caracterizado pelo uso extensivo de rochas representativas da geologia da cidade, destacando-se o Gnaisse Facoidal, um augen gnaisse neoproterozoico, com caracterísiticos megacristais de K-feldspato em forma de amêndoas em matriz granítica rica em biotita. Pela sua importância no patrimônio cultural e natural do Rio de Janeiro, o Gnaisse Facoidal foi apelidado de “a mais carioca das rochas” e reconhecido como Pedra do Patrimônio mundial (EHLING et al., 2024). As rochas sofrem degradação ao longo do tempo e estudos sobre seu comportamento perante agentes e processos, dentre os quais a cristalização de sais é um dos mais deletérios, são fundamentais para auxiliar na sua conservação (LUBELLI et al., 2023). Nos trabalhos realizados, pelo LACON a cristalização de NaCl na forma de subeflorescências (alguns milímetros sob a superfície da rocha), tem sido frequentemente encontrada no Gnaisse Facoidal em monumentos da cidade do Rio de Janeiro.

## **2. Objetivos**

Observar a ação da cristalização de NaCl e entender como afeta amostras de Gnaisse Facoidal.

## **3. Material e Métodos**

Quatro amostras cúbicas de Gnaisse Facoidal obtidas de cantarias de demolição doadas pela Santa Casa da Misericórdia-RJ em incipiente estado de alteração, foram utilizadas para simular a cristalização de NaCl por meio de dois ensaios diferentes, adaptados da norma europeia EN 12370 (CEN, 1999) e da nova recomendação RILEM (LUBELLI et al., 2023). O primeiro consistiu em 13 ciclos de 5 horas de contaminação por capilaridade com solução de NaCl (20%), seguidos de 16 horas de secagem (105°C) buscando garantir a cristalização no interior da rocha e não na superfície, lavagem superficial com água a 18±2°C para desentupir a superfície e empurrar os possíveis sais acumulados para o interior, secagem e resfriamento a temperatura ambiente. O segundo consistiu em três ciclos de uma semana de duração de contaminação por capilaridade e variações de umidade relativa. Em cada ciclo, dois corpos de prova foram contaminados com 2 g (conteúdo de umidade capilar calculado previamente pelo ensaio de absorção por capilaridade) de solução de NaCl (20%,) durante 5 horas (50% de UR e 25°C), duas horas de secagem em estufa a 70°C (UR <15%), e períodos de 16 h de Alta UR (>90%) e 8 horas de secagem (primeiro a 25°C e UR 50% e depois acelerando em estufa a 70 °C e UR <15%). No final de cada ciclo semanal as amostras foram reumedecidas por capilaridade com água destilada (5 horas a 25°C e UR 50%) e secas à temperatura ambiente ( $26 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) em dessecador com sílica (UR <5%) por 65 horas. No final dos 3 ciclos as amostras foram secas à temperatura ambiente ( $26 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) em dessecador com sílica (UR <5%) por 190 horas. O efeito da cristalização de sal no Gnaisse Facoidal foi avaliado pela medição da velocidade de ondas ultrassônicas, com equipamento Pundit PL200, da Proceq, pela determinação da porosidade aparente – NBR 15845-2 (ABNT, 2015) e por microtomografia de raios X (micro-CT), no Laboratório de Recuperação avançada de Petróleo – LRAP/COPPE.

#### **4. Resultados e Discussão**

A velocidade de ondas ultrassônicas média diminuiu de 3400 m/s para 3200 m/s, variação pouco significativa, mas que indica impacto na estrutura interna, enquanto que a porosidade diminui (de 1,6% para 1,4%), pela cristalização do sal nos poros das amostras e desagregação granular interna. Esses resultados foram corroborados pela observação no microtomógrafo de raios X dos sais no interior das amostras, principalmente entre as lamelas de biotita, bem como o crescimento de fissuras pré-existentes e a formação de novas. A fissuração foi maior nas amostras submetidas ao primeiro ensaio, possivelmente pelo efeito do choque térmico, porém as variações de umidade relativa, aplicadas no segundo ensaio, também aumentaram e produziram novas fissuras no interior das amostras, principalmente a alguns milímetros sob a superfície de evaporação, onde houve maior concentração de cristais de NaCl.

#### **5. Conclusão**

Foi cristalizado NaCl em amostras de Gnaisse Facoidal por dois métodos de ensaio diferentes: um baseado em ciclos de absorção de solução salina e secagem rápida a 105 °C e o outro com ciclos de umidade relativa variável após a contaminação. Foi possível inferir leve degradação interna por velocidade de ondas ultrassônicas, preenchimento de alguns poros por sais cristalizados ou minerais desagregados resultando em diminuição da porosidade e visualizar o NaCl cristalizado no interior das amostras por microtomografia de raios-X. Conclui-se que o NaCl, presente na atmosfera do Rio de Janeiro, pode causar danos ao Gnaisse Facoidal dos monumentos da cidade como fissuração e desagregação mineral.

#### **6. Agradecimentos**

A Nuria Castro pela orientação e apoio nos ensaios, ao CETEM pela infraestrutura, ao CNPq pela bolsa, a equipe do Lacon pelo suporte e a Maira Lima do LRAP/COPPE pela realização da microtomografia de raios X.

#### **7. Referências Bibliográficas**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15845 2 – Rochas de revestimento. Métodos de Ensaio - Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água**, 2015.
- 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 12370 - Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallization**, 1999, 7p.
- LUBELLI, B. et al. Recommendation of RILEM TC 271-ASC: New accelerated test procedure for the assessment of resistance of natural stone and fired-clay brick units against salt crystallization, **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, vol. 56, no. 5, 2023, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1617/S11527-023-02158-0/TABLES/3>.