

Lorraine Cristine Silva Benedicto

**O Efeito da Cristalização de Sais Solúveis na Porosidade e Resistência de
um Charnockito**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2011



UFRJ

Lorraine Cristine Silva Benedicto

**O Efeito da Cristalização de Sais Solúveis na Porosidade e Resistência de
um Charnockito**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Emílio Velloso Barroso

Rafael Silva Ribeiro

Rio de Janeiro
Dezembro de 2011

BENEDICTO, Lorraine Cristine Silva

O efeito da cristalização de sais solúveis na porosidade e resistência de um charnockito / Lorraine Cristine Silva
Benedicto- Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2011.

vii, 8p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2011.

Orientadores: Emílio Velloso Barroso, Rafael Silva Ribeiro 1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Emílio Velloso Barroso; Rafael Silva Ribeiro. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. O efeito da cristalização de sais solúveis na porosidade e resistência de um charnockito

Lorraine Cristine Silva Benedicto

O Efeito da Cristalização de Sais Solúveis na Porosidade e Resistência de um Charnockito

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Emílio Velloso Barroso

Rafael Silva Ribeiro

Aprovada em: ____ de dezembro de 2011

Por:

Orientador: Emílio Velloso Barroso (UFRJ)

Andrea Ferreira Borges (UFRJ)

Helena Polivanov (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2011

RESUMO

BENEDICTO, Lorraine Cristine Silva. **O efeito da cristalização de sais solúveis na porosidade e resistência de um charnockito.** 2011. vii, 8p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Avenida Athos da Silveira Ramos, nº 274, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ *E-mail:lorrainevr@yahoo.com.br*

O sal, ao cristalizar nos poros de uma rocha, modifica suas propriedades físicas. Os danos oriundos desse processo dependem do grau de saturação, da distribuição de tamanho dos poros da rocha e do tipo de sal. Entre os mecanismos atuantes durante a cristalização de sais, está pressão de cristalização exercida sobre a parede dos grãos. Rochas utilizadas como materiais de construção estão sujeitas a este fenômeno em regiões costeiras, polares e desertos. O objetivo do trabalho é avaliar a influência da cristalização de sais solúveis na porosidade e resistência de um charnockito. Primeiramente, as amostras tiveram suas porosidades e resistências iniciais medidas. Parte das amostras foi submetida à ciclagem em solução salina-estufa e outra parte em água-estufa, sendo realizados um total de 40 ciclos. A cada 10 ciclos foi retirado um grupo de 10 amostras de cada uma das ciclagens e foram medidas suas porosidades e resistências à compressão pontual. Assim, obteve-se a evolução desses parâmetros com a ciclagem. A porosidade foi determinada pela técnica da saturação e submersão em água e a resistência à compressão pontual pelo ensaio de “*point load*”. Os resultados foram analisados através de gráficos da porosidade normalizada versus o número de ciclos e verificou-se que após 40 ciclos em água-estufa e solução salina-estufa, a rocha apresentou aumento médio na porosidade de 29% e 93%, respectivamente. Os resultados do “*point load*” indicam perda de resistência de 26% e 81% após 30 ciclos em água-estufa e solução-salina-estufa, respectivamente.

Palavras-chave: intemperismo, sais solúveis, porosidade, resistência

ABSTRACT

BENEDICTO, Lorraine Cristine Silva. **The Effect of Soluble Salts Crystallization in Charnockite Porosity and Strength.** 2011. vii, 8p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Avenida Athos da Silveira Ramos, n° 274, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ *E-mail:lorrainevr@yahoo.com.br*

When salts crystallize in rock porous network, they modify the rock physical properties. The damage depends on the degree of saturation, the pore size distribution and the type of salt. One of the mechanisms that occurs during salt crystallization is the crystallization pressure, which is exerted on the wall of the grains. Rocks used as building materials are subject to this phenomenon in deserts, coastal and polar regions. The aim of this study is to evaluate the influence of the soluble salts crystallization in the porosity and the strength of charnockite. First, the samples had their initial strength and porosity obtained. A group of samples was subjected to cycling in salt solution-oven and other group in water-oven, and a total of 40 cycles was performed. Every 10 cycles, a sample composed by 10 specimens was removed from cycling and the sample porosity and punctual compressive strength were measured, obtaining the evolution of these parameters along the cycling. The porosity was determined by the technique of saturation and submersion in water, while the strength was measured by the point load test. The results analysis was made by charts plotting normalized porosity against the number of cycles and it was found that after 40 cycles in water-oven and salt solution-oven, the rock showed an average increase in porosity of 29% and 93%, respectively. The point load results indicate rock strength loss of 26% and 81% after 30 cycles in water-oven and salt solution-oven cycling, respectively.

Keywords: weathering, soluble salts, porosity, strength

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Enrocamento na Baía de Angra dos Reis, RJ (Foto de Emílio Barroso, 2009).....	3
Figura 2 - Amostras de charnockito.....	3
Figura 3- Charnockito ao microscópio, a nicóis cruzados, após 30 ciclos em água-estufa.....	4
Figura 4- Porosidades iniciais (η) das amostras de charnockito cicladas em água-estufa.....	4
Figura 5- Porosidades iniciais (η) das amostras de charnockito cicladas em solução salina-estufa.....	4
Figura 6- Imersão das amostras em água destilada por 48 horas (à esquerda) para a medida das massas saturada e submersa (balança à direita).....	5
Figura 7- Estufa utilizada para obtenção da massa seca.....	5
Figura 8- Ensaio de point load.....	5
Figura 9- Ensaio de point load.....	5
Figura 10- Curva de calibração dos 10°, 20° e 30° ciclos do charnockito.....	5
Figura 11- Curva de calibração do 40° ciclo do charnockito.....	5
Figura 12- Tipos de ensaios: (a) diametral, (b) axial, (c) amostra em forma de bloco, (d) amostra com forma irregular.....	5
Erro! Indicador não definido.	
Figura 13- Variação da porosidade do charnockito na ciclagem em água-estufa.....	7
Figura 14- Variação da porosidade do charnockito na ciclagem em solução salina-estufa.....	7
Figura 15- Gráfico da resistência da rocha versus o número de ciclos em água-estufa.....	7
Figura 16- Gráfico da resistência da rocha versus o número de ciclos em solução salina-estufa.....	7
Figura 17- Gráfico da resistência média normalizada versus o número de ciclos em água-estufa.....	8
Figura 18- Gráfico da resistência média normalizada versus o número de ciclos em solução salina-estufa.....	8

Sumário

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	2
2 MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1 ROCHA E PETROLOGIA.....	3
2.2 METODOLOGIA.....	4
2.2.1 CICLAGEM.....	4
2.2.2 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE.....	4
2.2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL.....	5
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1 EVOLUÇÃO DA POROSIDADE.....	7
3.2 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL.....	7
4 CONCLUSÃO.....	8
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9

1 INTRODUÇÃO

Sais estão entre os agentes intempéricos mais destrutivos para rochas porosas, concreto e tijolo, logo, é relevante conhecer seu processo de cristalização em materiais porosos a fim de evitar ou minimizar a deterioração dos mesmos (Angeli *et al.*, 2007). Ciclos de cristalização-dissolução de sais podem alterar as características porosas da rocha e, conseqüentemente, alterar suas propriedades físicas. Este processo provoca perda de massa, de coesão entre os grãos da matriz, variação no tamanho dos grãos e dos poros, além de originar visível deterioração superficial. A forma mais comum de estimar essas alterações é medir a perda de massa das amostras (Benavente *et al.*, 2001). Os danos dependem do grau de supersaturação, distribuição de tamanho de poros da rocha (Shahidzadeh-Bonn *et al.*, 2008), tipo de sal, número de ciclos e do mecanismo de intemperismo, o qual depende das condições ambientais, particularmente umidade relativa e temperatura (Kamh, 2005 apud Mottershead, 1989).

Os mecanismos pelos quais o sal altera a rocha vêm sendo investigados por várias décadas. Diferentes explicações teóricas foram propostas, sendo as mais conhecidas a pressão de cristalização contra a parede dos poros (que é proporcional ao grau de supersaturação) e variações de volume na estrutura do sal durante os ciclos de umedecimento e secagem (Shahidzadeh-Bonn *et al.*, 2008). Quando a pressão de cristalização é maior que a resistência a tração, o material fratura (La Iglesia *et al.* 1997; Cultrone & Sebastián, 2008 apud Espinosa *et al.*, 2008). Contudo, nenhuma hipótese explica com sucesso porque, sobre condições experimentais idênticas, alguns sais, são mais prejudiciais as rochas que outros, como por exemplo, a maior ação intempérica do sulfato de sódio em relação

ao cloreto de sódio (Shahidzadeh-Bonn *et al.*, 2008). Observa-se, no entanto, que certos tipos de sais cristalizam preferencialmente no exterior e outros no interior dos poros da rocha. O primeiro fenômeno é denominado eflorescência e o segundo subeflorescência, sendo este último responsável por maiores alterações na rocha que o anterior (Shahidzadeh-Bonn *et al.*, 2008).

O intemperismo pela ação do sal é um processo importante em diferentes ambientes, como por exemplo, em desertos, em regiões polares, como “*Dry Antarctic Valleys*”, e regiões litorâneas (Steiger & Asmussen, 2008 apud Goudie & Viles, 1997; Cooke & Smalley, 1968; Wellman & Wilson, 1965; Evans, 1970; Trenhaile 1987). Entre as fontes de sal destacam-se o spray marinho, água subterrânea próxima a superfície, alteração química do conteúdo carbonático da rocha em ambientes úmidos poluídos, como aqueles que dominam na Europa (Kamh, 2005 apud Webb *et al.*, 1992), além do uso de tratamentos inapropriados ou materiais de construção incompatíveis com as rochas (Cultrone & Sebastián, 2008 apud Cardell *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2006). O “*spray*” marinho, gerado pela ação do vento na superfície da água do mar, introduz íons na atmosfera, principalmente cloretos e sulfatos (Hossain *et al.*, 2009 apud Campos *et al.*, 2006; Caritat *et al.*, 2001; McKay *et al.*, 1994; Davidson *et al.*, 1993; Carlos *et al.*, 2003; Clair *et al.*, 1989; Davidson *et al.*, 1989; Seinfeld & Pandis, 1998). A névoa salina causa deposição de íons na superfície externa de estruturas, os quais penetram no interior do material por difusão iônica (Hossain *et al.*, 2009). Em rochas utilizadas como cantaria em construções próximas ao solo, a solução salina ascende através da rocha por capilaridade até atingir a altura potencial de ascensão capilar (ou zona capilar), a qual depende do tamanho dos poros da rocha. Na zona capilar, ocorre

evaporação e cristalização de sais (Benavente *et al.*, 2001).

Diversos estudos foram realizados, a partir de simulações físicas em laboratório, com o propósito de avaliar o efeito da cristalização de sais na durabilidade de rochas. Estes estudos diferem em suas condições experimentais, como o tamanho da amostra, tipo e concentração da solução salina, número de ciclos, temperatura e umidade relativa (Benavente *et al.*, 2001 apud Sperling & Cooke, 1985; Richardson, 1991; Goudie, 1993; Goudie, 1999; Goudie & Viles, 1995; Ordóñez *et al.*, 1997).

Nesse estudo, simulam-se situações em que rochas são submetidas a ciclos de umedecimento e secagem, durante os quais, sais, inicialmente em solução, podem cristalizar, danificando o material, como por exemplo, nos casos de enrocamentos em obras marítimas (figura 1). O objetivo do trabalho é avaliar a evolução da porosidade e resistência a compressão pontual em um charnockito submetido à cristalização de sais solúveis.

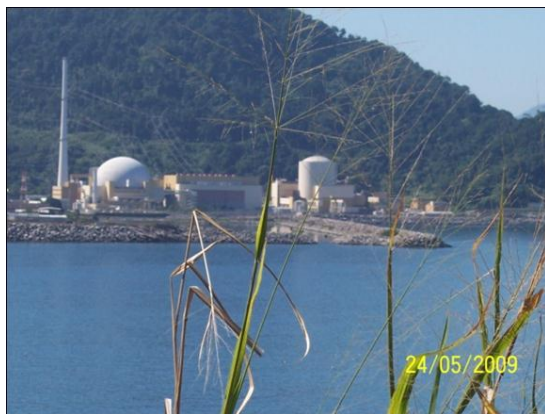


Figura 1- Enrocamento na Baía de Angra dos Reis, RJ (Foto de Emilio Barroso)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ROCHA E PETROLOGIA

Nesse estudo, foram utilizadas amostras de um charnockito, em forma de bloco, obtidas em marmoraria, com procedência desconhecida (figura 2). Justifica-se o estudo deste tipo de rocha dada sua vasta ocorrência no Complexo Paraíba do Sul (Silva *et al.*, 1987) e em vários estados da federação, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo (Celino & Botelho, 2005). A proximidade das regiões costeiras torna possível identificar essas rochas empregadas na construção civil para diversos fins.



Figura 2- Amostras de charnockito

A rocha foi analisada ao microscópio óptico e constatou-se textura fanerítica inequigranular porfirítica e índice de cor em torno de 10% (leucocrática). Sua mineralogia é composta essencialmente por k-feldspato, plagioclásio e quartzo (minerais essenciais), além de minerais acessórios (clinopiroxênio, ortopiroxênio, horblenda, biotita, zicão e apatita), figura 3. Esta rocha é incluída na série charnockítica e classificada como quartzo-sienito a quartzo-monzonito de acordo com Streckeisen, 1976 e LeMaitre, 1989.

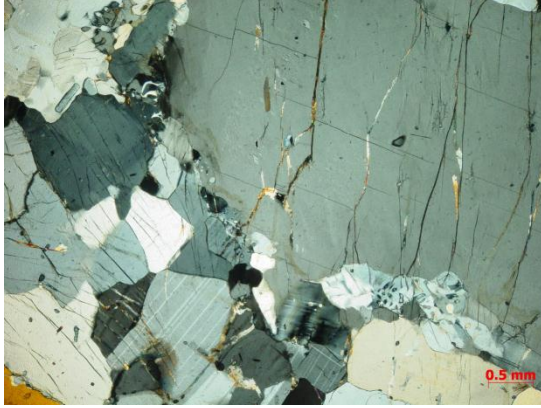


Figura 3- Charnockito ao microscópio, a nicóis cruzados, após 30 ciclos em água-estufa. Observa-se a predominância de k-feldspatos e plagioclásios fraturados

2.2 METODOLOGIA

Inicialmente, as amostras tiveram a resistência à compressão pontual e a porosidade medidas previamente aos ciclos de saturação e secagem, ou seja no estado natural. Foram então separados 9 grupos, contendo 10 amostras cada, de porosidades médias semelhantes (figuras 4 e 5), e estes foram submetidos à ciclagem com o intuito de observar o efeito da cristalização do Cloreto de Sódio (NaCl), bem como quantificar a parcela da degradação das propriedades físicas da rocha devida ao processo de fadiga térmica. Neste último caso, a ciclagem foi realizada com submersão das amostras em água destilada e secagem em estufa.

Ciclo	$\eta_{\text{mín}}$	$\eta_{\text{máx}}$	$\eta_{\text{média}}$
10	0,57	0,90	0,71
20	0,57	0,90	0,71
30	0,57	0,90	0,72
40	0,58	0,91	0,72

Figura 4- Porosidades (η) iniciais das amostras de charnockito cicladas em água-estufa, mostrando a utilização de grupos de amostras de porosidades médias semelhantes.

Ciclo	$\eta_{\text{mín}}$	$\eta_{\text{máx}}$	$\eta_{\text{média}}$
10	0,54	0,84	0,70
20	0,54	0,85	0,70
30	0,55	0,85	0,70
40	0,55	0,86	0,70

Figura 5- Porosidades iniciais das amostras de charnockito cicladas em solução salina-estufa, mostrando a utilização de grupos de amostras de porosidades médias semelhantes.

As propriedades físicas utilizadas para avaliar a progressão da alteração foram a porosidade, pela técnica da saturação e da submersão em água (ISRM, 1979), e a resistência à compressão pontual (ISRM, 1985).

2.2.1 CICLAGEM

Um grupo de amostras foi submetido à ciclagem em solução salina-estufa, e outro grupo à ciclagem em água-estufa, sendo realizados um total de 40 ciclos, cada um com duração de 24 horas e composto das seguintes etapas: imersão em solução supersaturada de NaCl (15 horas), secagem em estufa (8 horas) e resfriamento (1 hora). A cada 10 ciclos, até o 40º, foi retirado um grupo de 10 amostras de cada uma das ciclagens e foram medidas as porosidades e as resistências à compressão pontual, obtendo-se a evolução dessas propriedades com as ciclagens.

2.2.2 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

Para obtenção dos valores de porosidade da rocha, foi utilizada a técnica da saturação e da submersão em água

(ISRM, 1979). Nesse procedimento, as amostras foram imersas em água destilada por 48 horas para obtenção das massas saturada e submersa (figura 6), em seguida foram colocadas na estufa por 24 horas para obtenção da massa seca (figura 7).



Figura 6- Imersão das amostras em água destilada por 48 horas (à esquerda) para a medida das massas saturada e submersa (balança à direita)



Figura 7- Estufa utilizada para obtenção da massa seca

A partir dos valores das massas saturada, submersa e seca, a porosidade foi obtida pela equação 1. Os dados foram analisados por gráficos da porosidade normalizada versus o número de ciclos. Se $\bar{\eta}$ é 1, não há alteração na porosidade, se $\bar{\eta}$ for maior que 1, significa aumento da porosidade (equação 2).

(1)

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} = \frac{m_{sat} - m_{seca}}{m_{sat} - m_{sub}}$$

onde η = porosidade, V_v = volume de vazios, V_t = volume total, m_{sat} = massa saturada, m_{seca} = massa seca e m_{sub} = massa submersa

(2)

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_{ciclo}}{\eta_{natural}}$$

onde $\bar{\eta}$ = porosidade normalizada, η_{ciclo} = porosidade da amostra após a ciclagem e $\eta_{natural}$ = porosidade da amostra antes da ciclagem

2.2.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL

A resistência a compressão pontual foi obtida pelo ensaio de “Point Load” (figuras 8 e 9).



Figura 8- Ensaio de point load



Figura 9- Ensaio de point load

O ensaio permite a obtenção da leitura manométrica, ou seja, a pressão que o sistema hidráulico deve exercer para romper a rocha. A força de ruptura equivalente a essa pressão foi calculada pela equação de calibração do equipamento. As duas curvas de calibração são apresentadas nas figuras 10 e 11.

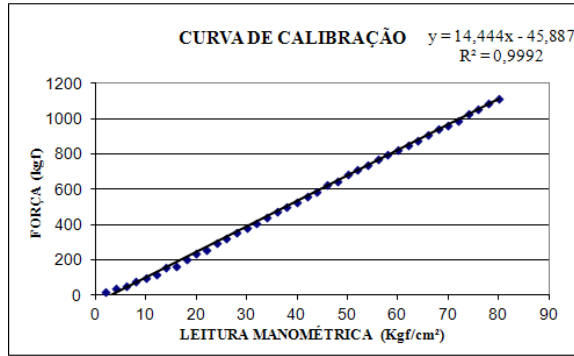


Figura 10- Curva de calibração dos 10º, 20º e 30º ciclos

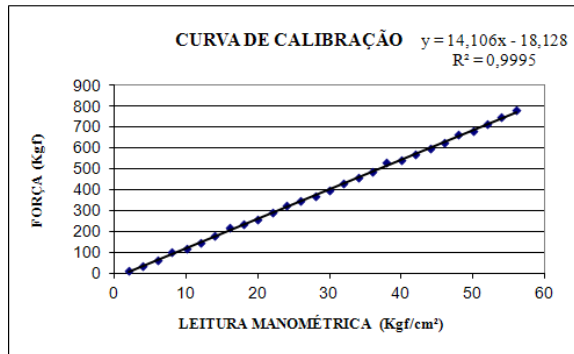


Figura 11- Curva de calibração do 40º ciclo

A resistência a compressão pontual foi obtida pela razão entre a força de ruptura e o diâmetro equivalente ao quadrado (equação 3), em kgf/cm². Posteriormente seu valor foi convertido para MPa.

(3)

$$Is = \frac{P}{de^2}$$

onde: $de^2 = \frac{4WD}{\pi}$ e $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$

em que Is = resistência a compressão pontual (kgf/cm²), P = carga de ruptura (kgf), de = diâmetro equivalente (cm), D = largura da amostra (cm) e W_1 e W_2 = comprimento do maior e menor lado da amostra, respectivamente (cm).

Para padronização dos valores de resistência obtidos em ensaios com amostras de formas e dimensões diferentes, é utilizado um fator de correção (FC), que converte as

resistências obtidas para valores correspondentes em um ensaio diametral com diâmetro 50 mm (figura 12).

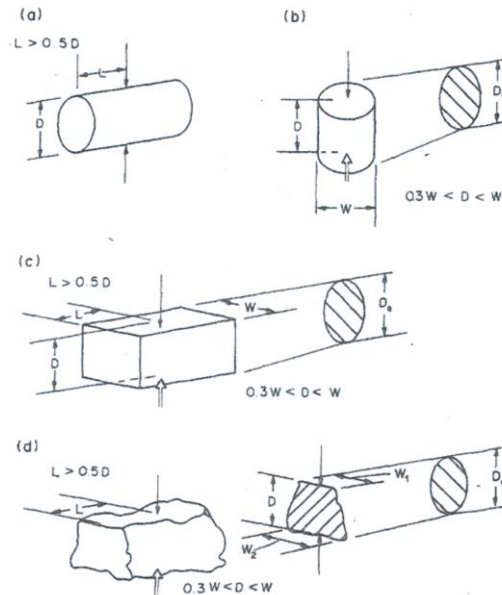


Figura 12- Tipos de ensaios: (a) diametral, (b) axial, (c) amostra em forma de bloco, (d) amostra com forma irregular

Dessa forma a resistência foi multiplicada pelo FC e o valor obtido foi empregado nesse estudo (equação 4). Os dados foram analisados por meio de gráficos da resistência e da resistência média normalizada versus o número de ciclos.

(4)

$$Is_{50} = FC \times Is,$$

onde $FC = \left(\frac{de}{5}\right)^{0,45}$

em que Is_{50} = resistência a compressão pontual padronizada FC = fator de correção e de = diâmetro equivalente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EVOLUÇÃO DA POROSIDADE

Os gráficos da porosidade normalizada versus o número de ciclos mostram que na ciclagem em água-estufa não há alteração da porosidade da rocha até o 30º ciclo e a partir daí ela aumenta em até 29% em 40 ciclos (figura 13). Na ciclagem em NaCl-estufa, observa-se desde o início um aumento contínuo da porosidade, o qual atinge 93% em 40 ciclos. Nesse caso, verifica-se duas velocidades de degradação, a primeira até o 20º ciclo e uma maior do 20º ao 40º (figura 14)

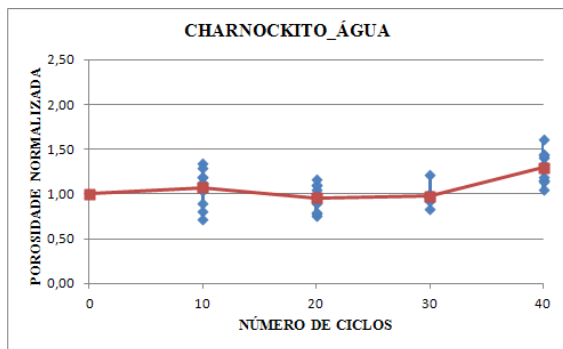


Figura 13- Variação da porosidade do charnockito na ciclagem em água-estufa

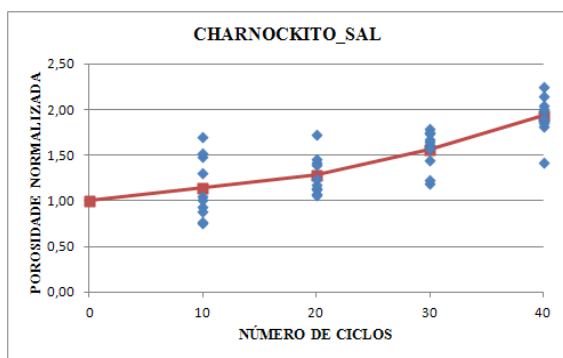


Figura 14- Variação da porosidade do charnockito na ciclagem em solução salina-estufa

Considerando os 40 ciclos, a velocidade de alteração do charnokito imerso em solução salina é 3,2 vezes maior do que imerso em água, evidenciando o papel do sal no incremento da porosidade.

3.2 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL

O charnockito quando submetido à cristalização de sais apresentou maior perda de resistência do que ao ser submetido apenas a umedecimento em água e secagem em estufa, como indicam as figuras 15 e 16, nas quais observa-se a variação da resistência com a ciclagem.

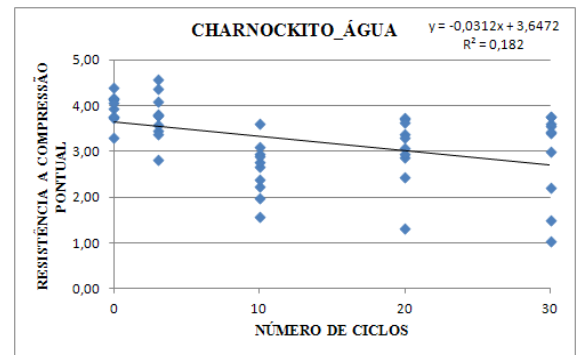


Figura 15- Gráfico da resistência da rocha versus o número de ciclos em água-estufa

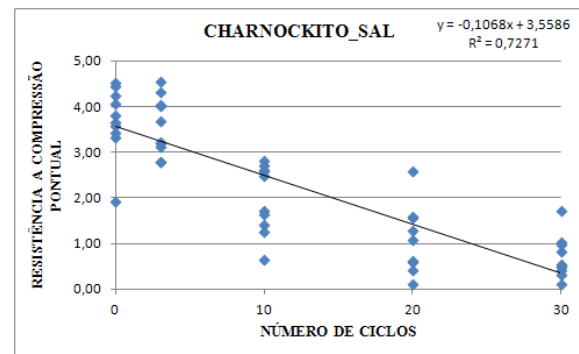


Figura 16- Gráfico da resistência da rocha versus o número de ciclos em solução salina-estufa

Após 30 ciclos, a perda de resistência é de 26% e 81% nas ciclagens em água-estufa e solução salina-estufa, respectivamente (figuras 17 e 18). Portanto a perda de resistência após 30 ciclos é 3,1 vezes maior em solução salina do que em água.

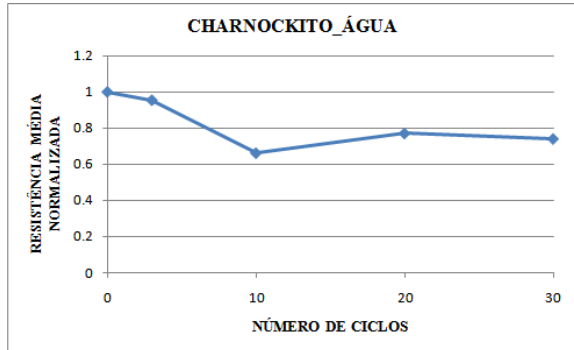


Figura 17- Gráfico da resistência média normalizada versus o número de ciclos em água-estufa

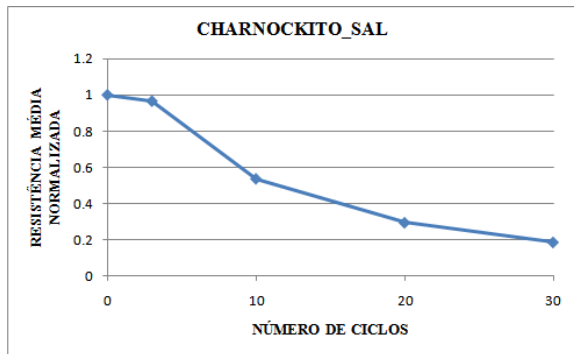


Figura 18- Gráfico da resistência média normalizada versus o número de ciclos em solução salina-estufa

4 CONCLUSÃO

O experimento mostrou que a ação da cristalização de sais solúveis no intemperismo da rocha é maior que a da água destilada, uma vez que há maior aumento na porosidade e maior perda de resistência na ciclagem em solução salina-estufa do que na ciclagem em água-estufa. As amostras cicladas em água-estufa apresentaram aumento da porosidade de 29% e perda de resistência de 26%, enquanto que as que foram cicladas em solução salina-estufa revelaram percentuais para aumento da porosidade de 93% e perda da resistência de 81%. A análise da porosidade foi feita com 40 ciclos e da resistência com 30 ciclos.

O estudo constata que quanto maior o aumento da porosidade, maior a perda de resistência e permite quantificar o quanto o processo de cristalização de sais no interior dos poros da rocha afeta sua porosidade e resistência. No entanto, ensaios de laboratório necessitam ser correlacionados com processos análogos “*in situ*”.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. 1992. Agregados – Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa. NBR 12696

Angeli, M.; Bigas, J.P.; Benavente, D.; Menéndez, B.; Hébert, R. & David, C. 2007. Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage. *Revista Environmental geology*, 52: 205–213

Benavente, D.; García del Cura, M.A.; Bernabéu, A.; Ordóñez, S. 2001. Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. *Revista Engineering Geology*, 59: 313 - 325

Celino, J. J. & Botelho. N. F. 2005. Evolução geoquímica e petrogênese de charnockitos ígneos no cinturão móvel Costeiro do Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 57, p. 25-47.

Cultrone, G. & Sebastián, E. 2008. Laboratory simulation showing the influence of salt efflorescence on the weathering of composite building materials. *Revista Environmental Geology*, 56: 729 – 740

Hossain, K.M.A.; Easa, S.M. & Lachemi, M. 2009. Evaluation of the effect of marine salts on urban built infrastructure. *Revista Building and Environment*, 44: 713 – 722

ISRM. 1979. Suggested method for determining water content, porosity, density, absorption and swelling and slake-durability index properties. *International Journal of Rock Mechanics & Geomechanics Abstracts*. Vol.16, nº 2, pp: 141-156.

ISRM. 1985. Suggested methods for determining Point Load Strength. *International Journal of Rock Mechanics*

& Geomechanics Abstracts. Vol.22, nº 2, pp: 51-60.

Kamh, G.M.E. 2005. The impact of landslides and salt weathering on Roman structures at high latitudes- Conway Castle, Great Britain: a case study. *Revista Environmental Geology*, 48: 238 – 254

Shahidzadeh-Bonn, N.; Rafai, S.; Bonn, D. & Wegdam, G. 2008. Salt Crystallization during Evaporation: Impact of Interfacial Properties. *Revista Langmuir*, 24 (16): 8599 - 8605

Silva, J.M.R.; Lima, M.I.C.; Veronese, V.F.; Ribeiro Jr., R.N.; Rocha, R.M. & Siga Jr., O. 1987. Geologia. In Brasil - MME. Projeto RadamBrasil. Folha SE.24- Rio Doce, Rio de Janeiro, 544p.

Steiger, M. & Asmussen, S. 2008. Crystallization of sodium sulfate phases in porous materials: The phase diagram Na₂SO₄-H₂O and the generation of stress. *Revista Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 4291 - 4306