

Viviane Farroco da Silva

**SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DA DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS POR
CRISTALIZAÇÃO DE SAL SOLÚVEL**

Dissertação de Mestrado (Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2012



UFRJ

Viviane Farroco da Silva

**SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DA DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS POR
CRISTALIZAÇÃO DE SAL SOLÚVEL**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental

Orientador(es):

Emílio Velloso Barroso

Andrea Ferreira Borges

Rio de Janeiro
Julho de 2012

SILVA, Viviane Farroco

Simulação experimental da degradação de rochas por cristalização de sal solúvel/ Silva, Viviane Farroco - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2012.

xii, 110 f. : il.; 30cm

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2012.

Orientador(es): Emílio Velloso Barroso; Andrea Ferreira Borges

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Dissertação de Mestrado. I. Emílio, Velloso Barroso; Andrea, Ferreira Borges. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. **Simulação experimental da degradação de rochas por cristalização de sal solúvel.**

Viviane Farroco da Silva

SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DA DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS POR CRISTALIZAÇÃO DE SAL SOLÚVEL

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Geologia de Engenharia e Ambiental

Orientador(es):

Emílio Velloso Barroso

Andrea Ferreira Borges

Aprovada em: 31.07.2012

Por:

Presidente: Eurípedes do Amaral Vargas Junior - IGEO/UFRJ

Eliane Aparecida Del Lama - IGC/USP

Helena Polivanov - IGEO/UFRJ

UFRJ
Rio de Janeiro
2012

Aos meus pais Olivia Farroco da Silva e Celso Marques da Silva (*in memoriam*), meu irmão Celso Marques da Silva Junior e minha avó Adelina Ferreira.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, que me ajudou a chegar até aqui, e que me deu todas as pessoas que foram fundamentais não só para esse trabalho, mas para toda a minha vida.

Agradeço a minha família, por serem minha base e serem minhas razões e motivos para conseguir mais essa grande vitória.

Agradeço aos meus orientadores e Professores Andrea Ferreira Borges e Emílio Velloso Barroso por todo o suporte dado a este trabalho e pelos preciosos ensinamentos.

Agradeço aos geólogos Rodrigo Brauns e Lorraine Benedicto pelo acompanhamento em todas as fases desse trabalho.

Agradeço aos meus parentes, amigos, e pessoas nem tão próximas, mas que com conselhos, incentivos, mesmo que no silêncio do olhar, e principalmente com suas orações, foram essenciais para a minha conquista.

Resumo

Silva, Viviane Farroco. **Simulação experimental da degradação de rochas por cristalização de sal solúvel**. Rio de Janeiro, 2012. xiii, 110 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Sais estão entre os agentes intempéricos mais destrutivos para rochas porosas, concreto e tijolos, 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). Avaliar os mecanismos que geram a deterioração da rocha tem grande importância e tem sido objeto de estudo de diversos autores. O intemperismo devido à cristalização de sais afeta as rochas que revestem patrimônios históricos e obras de engenharia em regiões costeiras, podendo comprometer suas propriedades estéticas e/ou mecânicas. A degradação relacionada à cristalização do sal ocorre principalmente quando a pressão de cristalização dos sais excede a resistência da rocha. Nesse trabalho buscou-se avaliar o efeito da cristalização de sais em amostras de dois tipos de rocha, charnockito e granito. Para tal foram realizados ensaios de ciclagem em solução salina/água de acordo com a norma NBR 12696/92. Para avaliação do dano gerado foram utilizadas as medidas de porosidade e perda de resistência a compressão pontual. Como resultado foram observadas que ambas as rochas foram afetadas pelo intemperismo salino, sendo que os charnockitos, que inicialmente estavam mais alterados foram os que tiveram maiores perdas. Entender o mecanismo de cristalização de sais nos poros e como este irá afetar as rochas é essencial para conservação dos patrimônios históricos e para garantir a integridade das obras de engenharia.

Palavras-chave: intemperismo, sais solúveis, cristalização de sais

Abstract

Silva, Viviane Farroco. **Experimental Simulation of breakdown of rocks by soluble salts**. Rio de Janeiro, 2012. xiii, 110 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Salts are among the most destructive weathering agents for porous rock, concrete and bricks, so it is important to know its crystallization process in porous materials to prevent or minimize the deterioration, (Angeli *et al.* 2007). Evaluate the mechanisms that generate the deterioration of the rock is very important and has been studied by several authors. The weathering due to salt crystallization affect masonry rocks and engineering works in coastal regions, which could compromise their aesthetic and/or mechanical properties. The degradation related to the salt crystallization occurs mainly when the salt crystallization pressure exceeds the strength of the rock. In this study, we ought to evaluate the effect of salt crystallization in samples of two rock types, charnockite and granite. For this, a water and saline solution exposure cycle was produced under laboratory conditions according to NBR 12696/92. For evaluation of the damage we used the values of porosity and loss of resistance (point load test). As a result we observed that both rocks were affected by salt weathering, but the charnockites, which were initially more damaged presents the higher losses. Understanding the mechanism of crystallization of salts in the pores and how this will affect the rocks are essential to conservation of historical sites and even for future choices of rocks to be used in building façades and to ensure the integrity of engineering works.

Key-Words: weathering, soluble salts, salt crystallization.

Lista de figuras

FIGURA 1: INTEMPERISMO SALINO DEVIDO A EFEITO DE CAPILARIDADE NO PRÉDIO ALICANTE, ESPANHA. AS ROCHAS QUE REVESTEM TAL PRÉDIO SÃO CALCARENITOS (BENAVENTE, <i>ET AL.</i> 2001).....	15
FIGURA 2: THE SHIMOREN KILN, EM TÓQUIO. AS PAREDES FEITAS DE TIJOLOS APRESENTAM-SE SOB INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO SALINO, PODENDO SER OBSERVADAS EFLORESCÊNCIAS E SUBEFLORESCÊNCIAS (MATSUKURA <i>ET AL.</i> , 2004).....	15
FIGURA 3: (A)ESTRUTURA CÚBICA DO NaCl. (B) NOTAR QUE NA REALIDADE OS CÁTIOS DE Na ESTÃO EM CONTATO COM OS ÂNIOS DE Cl. NAS FIGURAS O Na É REPRESENTADO PELAS ESFERAS MENORES E O Cl PELAS ESFERAS MAIORES. (CHANG, 1991).	19
FIGURA 4: SOLUBILIDADE E UMIDADE DE EQUILÍBRIO RELATIVA DOS SAIS. (CHEMICAL SOCIETY OF JAPAN, 1984 <i>APUD</i> MATSUKURA <i>ET AL.</i> , 2004).....	21
FIGURA 5: EXEMPLO DA MORFOLOGIA DE ALTERAÇÃO DESAGREGAÇÃO GRANULAR. (HENRIQUES <i>ET AL.</i> , 2005).....	23
FIGURA 6: DESENHO ESQUEMÁTICO MOSTRANDO O PROCESSO DE INTEMPERISMO SALINO. WÜST & SCHLÜRCHTER, 2000 MODIFICADO DE AMOROSO & FASSINA (1983). EM (1) A SOLUÇÃO COM IONS DISSOLVIDOS SE CONCENTRA NA SUPERFÍCIE DA ROCHA (A) E NOS POROS CONECTADOS (B). EM (2A) TEM-SE O INÍCIO DA FASE DE SECAGEM, QUANDO A CRISTALIZAÇÃO OCORRE PREDOMINANTEMENTE NA SUPERFÍCIE DA AMOSTRA NA FORMA DE EFLORESCÊNCIA. EM (2B) DEVIDO A ALTA VENTILAÇÃO, A CRISTALIZAÇÃO OCORRE DENTRO DA ROCHA, NA FORMA DE SUBEFLORESCÊNCIA.	25
FIGURA 7: EVOLUÇÃO DO PESO NORMALIZADO PARA DUAS DIFERENTES AMOSTRAS ESTUDADAS POR ANGELI <i>ET AL.</i> , 2007. EM (A) ILUSTRA-SE O CASO DE UM ARENITO E EM (B) A EVOLUÇÃO DO PESO NORMALIZADO PARA UM CALCÁRIO. NOTAR OS TRÊS ESTÁGIOS ESTABELECIDOS INDICANDO A EVOLUÇÃO DO PROCESSO INTEMPÉRICO.	26
FIGURA 8: PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DA MIRABILITA (Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O) PARA DIFERENTES FORMAS DE POROS, ASSUMINDO QUE O PORO ESTA TOTALMENTE PREENCHIDO PELO CRISTAL (BENAVENTE <i>ET AL.</i> 2007). NA FIGURA ΔP É A PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO, γ É A ENERGIA LIVRE DA INTERFACE SÓLIDO-LÍQUIDO E dV É O VOLUME DO PORO.....	28
FIGURA 9: CINÉTICA DE EVAPORAÇÃO DE DUAS AMOSTRAS DO MESMO VOLUME PORÉM EM DIMENSÕES DIFERENTES. A MESMA ESPESURA DE ÁGUA EVAPORA NAS DUAS AMOSTRAS EM MOMENTOS DIFERENTES. A PARTE DA AMOSTRA QUE ESTÁ EM PRETO REPRESENTA A REGIÃO DA AMOSTRA COM SOLUÇÃO E A PARTE DA AMOSTRA EM BRANCO REPRESENTA A PARTE SECA.	29
FIGURA 10: INTEMPERISMO SALINO EM ROCHA (A) HOMOGÊNEA, (B) HETEROGÊNEA E (C) ANISOTRÓPICA (ANGELI, <i>ET AL.</i> 2007)....	31
FIGURA 11: OITO TIPOS DE ROCHAS SUBMETIDAS À CICLAGEM COM DIFERENTES SAIS: CARBONATO DE CÁLCIO (ESQUERDA), SULFATO DE SÓDIO (MEIO) E SULFATO DE MAGNÉSIO (DIREITA). NOTAR QUE PARA CADA TIPO DE ROCHA, O POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO DA CRISTALIZAÇÃO É DIFERENTE. (YU & OGUCHI, 2010).....	32
FIGURA 12: CRISTALIZAÇÃO DE NaCl NA AUSÊNCIA DE INIBIDORES (A) E NA PRESENÇA DO INIBIDOR NaFEC (B).....	33
FIGURA 13: FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS REALIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS GRANITOS E CHARNOCKITOS.....	36
FIGURA 14: METODOLOGIA REALIZADA NAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO PARA AVALIAÇÃO DOS DANOS GERADOS PELO INTEMPERISMO SALINO.....	37
FIGURA 15: METODOLOGIA REALIZADA NAS AMOSTRAS DE GRANITO PARA AVALIAÇÃO DOS DANOS GERADOS PELO INTEMPERISMO SALINO.	38
FIGURA 16: COMPOSIÇÃO DA ÁGUA DO MAR (A) IONS E (B) SAIS (MOHRIAK <i>ET AL.</i> , 2008).	40
FIGURA 17: AMOSTRAS SUBMERSAS EM ÁGUA DESTILADA NO BECKER DENTRO DO BANHO-MARIA (VISÃO SUPERFICIAL).....	42
FIGURA 18: (A) BANHO-MARIA; (B) CONDUTIVÍMETRO.....	43
FIGURA 19: MEDIÇÃO DO PESO SATURADO (A) E SUBMERSO (B) DA AMOSTRA PARA POSTERIOR CÁLCULO DE POROSIDADE.	44
FIGURA 20: (A)APARELHO DE COMPRESSÃO PONTUAL – POINT LOAD ; (B)MANÔMETRO PARA APLICAÇÃO DE PRESSÃO.....	47
FIGURA 21: EXEMPLO DE FRATURAS CONSIDERADAS VÁLIDAS NO ENSAIO DE POINT LOAD (TEIXEIRA, 2009).....	47
FIGURA 22: CURVAS DE CALIBRAÇÃO QUE RELACIONAM LEITURA MANOMÉTRICA COM A RESISTÊNCIA À FORÇA APLICADA.	48
FIGURA 23: RELAÇÃO DE DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVAS PARA SATISFAZER OS ENSAIOS DE CARGA PONTUAL (ISRM, 1981).	48
FIGURA 24: LÂMINA DE CHARNOCKITO ANTES DOS ENSAIOS DE CICLAGEM SALINA/TÉRMICO.....	50
FIGURA 25: LÂMINA DE MONZO-GRANITO ANTES DOS ENSAIOS DE CICLAGEM SALINA/TÉRMICO.	51
FIGURA 26: LÂMINA DO CHARNOCKITO INICIAL (NICÓIS CRUZADOS). NOTAR O ELEVADO NÚMERO DE FRATURAS PRESENTES.....	52
FIGURA 27: LÂMINA DO CHARNOCKITO INICIAL (NICÓIS CRUZADOS).	52
FIGURA 28: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM ÁGUA APÓS 10 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	53
FIGURA 29: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM ÁGUA APÓS 10 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	54
FIGURA 30: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM ÁGUA APÓS 30 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	54
FIGURA 31: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM ÁGUA APÓS 40 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	55
FIGURA 32: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM SAL APÓS 40 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	56
FIGURA 33: LÂMINA DO CHARNOCKITO SUBMETIDO À CICLAGEM EM SAL APÓS 40 CICLOS (NICÓIS CRUZADOS).....	56
FIGURA 34: GRÁFICOS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA X TEMPO PARA DIFERENTES CICLOS DO GRANITO.	58

FIGURA 35: VARIAÇÃO DA POROSIDADE NORMALIZADA PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM COM (A) ÁGUA E (B) SAL	61
FIGURA 36: VARIAÇÃO DA POROSIDADE NORMALIZADA PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS A CICLAGEM COM (A) ÁGUA ; (B) SAL SEM RETIRADA E (C) SAL COM RETIRADA	63
FIGURA 37: VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM COM (A) ÁGUA E (B) SAL.	65
FIGURA 38: VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL NORMALIZADA PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS A CICLAGEM COM (A) ÁGUA E (B) SAL.	66
FIGURA 39: VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS À CICLAGEM COM (A) ÁGUA ; (B) SAL SEM RETIRADA E (C) SAL COM RETIRADA.	68
FIGURA 40: VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL NORMALIZADA PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS A CICLAGEM COM (A) ÁGUA ; (B) SAL SEM RETIRADA E (C) SAL COM RETIRADA.	68

Lista de tabelas

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA POR BENAVENTE <i>ET AL.</i> (2001) DA DURABILIDADE DAS ROCHAS EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDA DE MASSA.	34
TABELA 2: VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES PETROFÍSICAS PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM ÁGUA.	59
TABELA 3: VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES PETROFÍSICAS PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SOLUÇÃO DE NaCl.	59
TABELA 4: VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES PETROFÍSICAS PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SOLUÇÃO DE ÁGUA.	62
TABELA 5: VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES PETROFÍSICAS PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SOLUÇÃO DE ÁGUA, COM RETIRADA DO SAL DOS POROS ATRAVÉS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	62
TABELA 6: VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES PETROFÍSICAS PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SOLUÇÃO DE ÁGUA, SEM RETIRADA DO SAL DOS POROS ATRAVÉS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.	62
TABELA 7: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE RESISTÊNCIA MÉDIOS PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SAL E EM ÁGUA.	64
TABELA 8: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE RESISTÊNCIA NORMALIZADA MÉDIA PARA AS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO SUBMETIDAS À CICLAGEM EM SAL E EM ÁGUA.	65
TABELA 9: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE RESISTÊNCIA MÉDIOS PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS A CICLAGEM EM SAL E EM ÁGUA.	67
TABELA 10: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE RESISTÊNCIA NORMALIZADA MÉDIA PARA AS AMOSTRAS DE GRANITO SUBMETIDAS A CICLAGEM EM SAL E EM ÁGUA.	67

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. ENUNCIÇÃO DO TEMA	14
1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO ESTUDO.....	17
2. INTEMPERISMO DEVIDO A AÇÃO DOS SAIS	19
2.1. SOLUBILIDADE DOS SAIS	19
2.2. EFEITO DA AÇÃO DOS SAIS SOLÚVEIS SOBRE AS ROCHAS	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1. ORIGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	38
3.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	39
3.3. ENSAIO DE IMERSÃO TOTAL EM SOLUÇÃO SALINA	39
3.4. ENSAIO DE IMERSÃO TOTAL EM ÁGUA	41
3.5. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	41
3.6. ENSAIO DE POROSIDADE	43
3.7. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL.....	44
4. RESULTADOS.....	50
4.1. DESCRIÇÃO MINERALÓGICA.....	50
4.2. LÂMINAS PETROGRÁFICAS PARA VERIFICAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS FRATURAS	51
4.3. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	57
4.4. POROSIDADE	59
4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PONTUAL.....	63
5. CONCLUSÕES	70
6. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO A – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS INICIAIS DO CHARNOCKITO	77
ANEXO B – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS INICIAIS DO GRANITO	85
ANEXO C – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO CHARNOCKITO APÓS CICLAGEM EM ÁGUA	92
ANEXO D – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO CHARNOCKITO APÓS CICLAGEM EM SAL	94
ANEXO E – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS CICLAGEM EM ÁGUA.....	96
ANEXO F – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS CICLAGEM EM SAL (COM RETIRADA DO SAL) .	98
ANEXO G – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS CICLAGEM EM SAL (SEM RETIRADA DO SAL)	100
ANEXO H – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- CHARNOCKITO (ÁGUA).....	102
ANEXO I – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- CHARNOCKITO (SAL).....	104
ANEXO J – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- GRANITO (ÁGUA)	106
ANEXO K – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- GRANITO (COM RETIRADA DO SAL).....	108
ANEXO L – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL - GRANITO (SEM RETIRADA DO SAL).....	109

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enunciação do tema

Devido a sua grande utilidade e uso pela sociedade e por apresentar as mais variadas aplicabilidades, diversidade de padrões cromáticos e estruturais, as rochas são até hoje utilizadas como elementos ornamentais, podendo ser encontradas como peças decorativas, como elementos estruturais em colunas e pilares e como rochas de cantaria, revestindo paredes e fachadas ou até mesmo como pisos, nos interiores e exteriores de edificações (Silva, 2008).

As características estéticas e a importância comercial atribuída às rochas ao longo da história da humanidade, associadas ao comprometimento da sua resistência e durabilidade no momento presente, tem levado pesquisadores em diversas partes do mundo a aplicarem recursos em pesquisas e a investigarem a alterabilidade de rochas, visando à preservação e à conservação das mesmas nas fachadas, paredes e pisos, nos interiores e exteriores, das edificações (Silva, 2008). Quando se trata de monumentos históricos a substituição dessas rochas pode ser inviável, pois as pedreiras de origem dessas rochas podem estar desativadas ou estarem atualmente em áreas onde não é mais possível a sua exploração (Teixeira, 2009).

O intemperismo relacionado à ação do sal é uma das causas de deterioração das rochas que revestem patrimônios históricos (Figura 1). Avaliar os mecanismos que geram a deterioração da rocha tem grande importância e tem sido objeto de estudo de diversos autores (Kuchitsu *et al.*, 1999 , Wüst & Schlürcher, 2000, Yavuz & Topal, 2007). O intemperismo salino também é capaz de alterar monumentos e edifícios construídos de outro material, como por exemplo, de tijolos. Um exemplo disso pode ser visto na fachada do edifício da empresa de produção de tijolos, The Shimoren Kiln, em Tóquio (Figura 2).

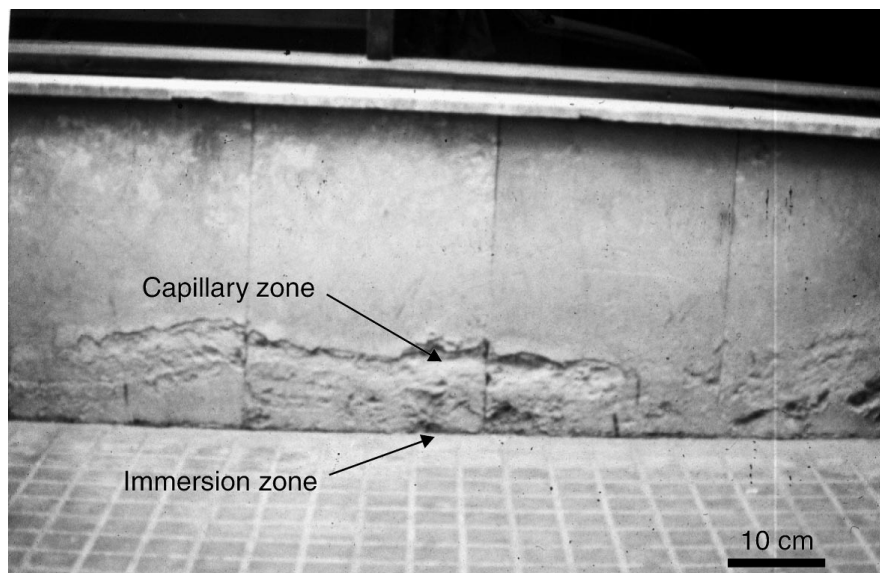


Figura 1: Intemperismo pela cristalização de sais devido a efeito de capilaridade no prédio Alicante, Espanha. As rochas que revestem tal prédio são calcarenitos (Benavente, *et al.* 2001)

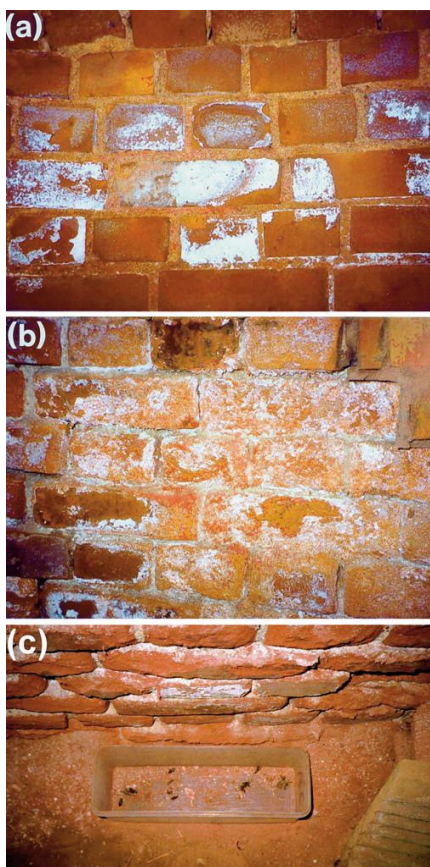


Figura 2: The Shimoren Kiln, em Tóquio. As paredes feitas de tijolos apresentam-se sob influência do intemperismo pela cristalização de sais, podendo ser observadas eflorescências e subeflorescências (Matsukura *et al.*, 2004).

A cristalização de sais no interior das rochas também afeta algumas obras marítimas como por exemplo enrocamentos. Enrocamento é um corpo granular, com distribuição granulométrica conveniente, no qual os agregados buscam compor o maciço da barragem de núcleo de terra, compor muros de arrimo, proteger barragens de terra e pilares contra erosões promovidas pelo impacto das ondas (Oliveira e Brito, 1998) além de outras funções. Quando o enrocamento tem função de proteção contra a erosão causada pelas ondas do mar, este está sujeito às variações da maré ao longo do dia, logo, estão sujeitas à cristalização de sais no interior dos poros das rochas. Um exemplo pode ser visto no enrocamento de rochas em Angra dos Reis.

Dos principais fatores que influenciam a cristalização do sal nas rochas e consequentemente a intensidade da dregadação das mesmas, destacam-se: (1) o tamanho dos poros e o tipo de porosidade predominante, (2) a natureza do sal e a facilidade com que esse atinge o ponto de saturação devido a evaporação e/ou a variações de temperatura, (3) a competição entre a taxa de fornecimento da solução e a evaporação de água e (4) a resistência do material à pressão de cristalização (Benavente *et al.*, 2007).

Existe uma grande dificuldade de estudar a alteração de rochas ornamentais pelo intemperismo relacionado à cristalização de sais uma vez que os testes de durabilidade são demorados e dispendiosos. Com isso, busca-se avaliar a durabilidade dos materiais porosos através de ensaios que simulem o efeito do intemperismo de forma acelerada. Os resultados aqui obtidos serão um indicador da susceptibilidade a alteração dessas rochas, devendo ser avaliados de forma qualitativa e não quantitativa.

A escolha do NaCl se deu por esse apresentar grande concentração na água do mar além desse ser bastante estável, apresentando solubilidades próximas para diversas temperaturas e umidades relativas do ar.

1.2. Objetivos e Justificativas do estudo

No estado do Rio de Janeiro existem diversos monumentos históricos cujo revestimento é feito com rochas de cantaria. Destes, podem ser citados a Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória, o Mosteiro de São Bento, o Paço Imperial e o Teatro Municipal do Rio de Janeiro.

Grande parte desses monumentos apresentam degradações visíveis em suas rochas de cantaria, inclusive sendo observadas eflorescências¹ em alguns desses. Estudos anteriores realizados por Silva (2008), mostraram elevados teores de sais solúveis nas rochas que revestem a Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória, indicando uma possível associação com aerossóis marinhos.

A cristalização de sais no interior das rochas também afeta fortemente as rochas utilizadas em obras de engenharia. Entender o mecanismo de alterabilidade dessas rochas apresenta grande relevância visto que o intemperismo pode levar a perda das características mecânicas das rochas e com isso comprometer a segurança da obra de engenharia.

Nesta pesquisa, busca-se avaliar a susceptibilidade à degradação devido ao intemperismo salino de rochas graníticas e charnockíticas. Essas rochas tiveram suas características petrográficas, petrofísicas (porosidade) e mecânicas (resistência à compressão pontual) avaliadas ao longo do processo de intemperismo salino. Ressalta-se que a escolha das mesmas se deu por apesar de inicialmente apresentarem porosidades próximas, o padrão de faturamento presente nas mesmas é diferente, como será descrito posteriormente.

A correta avaliação da alterabilidade resultante da ação de sais solúveis nas rochas é fundamental para fazer a prescrição adequada de rochas ornamentais em construções modernas e para proposição de medidas corretas de conservação e/ou restauração em monumentos históricos quando estes se encontram expostos a um ambiente salino.

¹ Eflorescência - Formação de agregados cristalinos, geralmente de fraca coesão e de cor clara. Se a formação ocorrer abaixo da superfície, provocando bolhas ou destaques, designa-se criptoflorescência (Henriques *et al.*, 2005).

Além disso, buscou-se caracterizar rochas brasileiras utilizadas como revestimento de fachadas (granito e charnockito), visto que não existem no Brasil trabalhos com esse caráter. Tentou-se também consolidar uma metodologia que permitisse a quantificação dos efeitos físicos e mecânicos, não apenas associado à cristalização de sais solúveis, mas separando o efeito da ação térmica sobre a degradação. Ressalta-se que os métodos tradicionais apenas quantificam a ação dos sais solúveis pela medida de perda de massa, como na norma ABNT 12696/92.

A dissertação a seguir está dividida em sete capítulos. No capítulo 1, Introdução, é apresentada uma breve motivação para o estudo do tema, bem como os objetivos principais e as justificativas para o estudo em questão.

No capítulo 2, intitulado “Intemperismo devido ação de sais” pode ser visto o estado da arte do intemperismo relacionado à cristalização dos sais nas rochas, além de apresentar os principais fatores controladores do grau da degradação.

No capítulo seguinte, capítulo 3, são apresentados os materiais utilizados assim como a metodologia escolhida para simulação do intemperismo acelerado devido a ação dos sais. No capítulo 4, podem ser vistos os resultados encontrados no estudo, sendo estes ilustrados por meio de gráficos e tabelas.

O capítulo 5 apresenta as principais conclusões obtidas. O capítulo a seguir, capítulo 6, mostra algumas recomendações para estudos futuros, recomendações estas buscando entender melhor o intemperismo devido à ação dos sais.

No último capítulo, capítulo 7, pode ser vista a bibliografia estudada para realização do estudo que se segue.

2. INTEMPERISMO DEVIDO A AÇÃO DOS SAIS

2.1. Solubilidade dos Sais

O mineral constituído por cloreto de Sódio (NaCl), conhecido como halita, consiste em um mineral isométrico e de hábito cúbico (Dana & Hurlbut, 1976). No interior de um cristal de halita, cada íon de sódio é rodeado por 6 íons de cloro e cada íon de cloro é rodeado por 6 íons de sódio, formando então o retículo cristalino cúbico (Figura 3). Devido à razão 1:1 entre cátions e ânions este composto é eletricamente neutro.

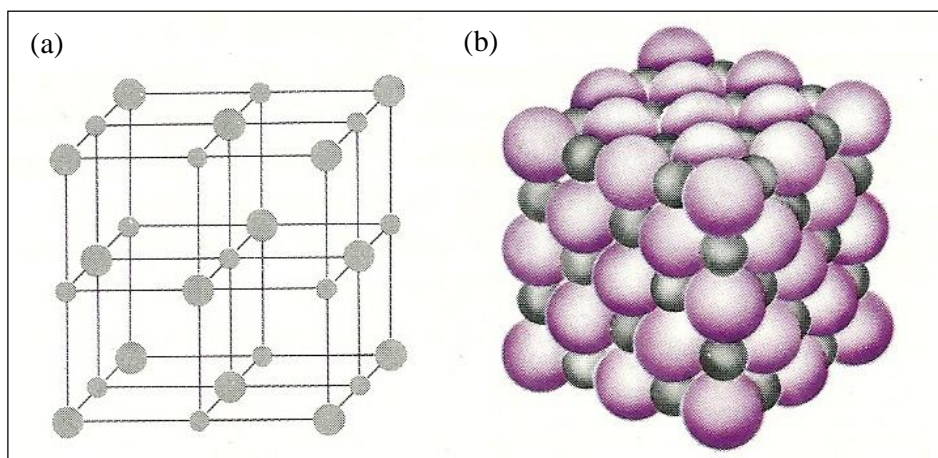


Figura 3: (a) Estrutura cúbica do NaCl. (b) Notar que na realidade os cátions de Na estão em contato com os Ânions de Cl. Nas figuras o Na é representado pelas esferas menores e o Cl pelas esferas maiores. (Chang, 1991).

Entender a solubilidade de sais é essencial para o entendimento do intemperismo salino. Sabe-se que a solubilidade da substância é diretamente influenciada pela força das ligações entre os elementos químicos, sendo esta caracterizada pelo potencial iônico.

O potencial iônico é definido como a carga de um íon dividido pela área de superfície/raio iônico (Mohriak *et al.*, 2008). Ou seja, quanto maior a carga e menor o tamanho do íon, maior será o potencial iônico. Isso ocorre pois quanto maior o íon, a carga elétrica fica distribuída em uma área maior, e portanto, a força de atração fica mais difusa. Por exemplo, os cátions Na e Mg, apresentam carga, +1 e +2, e raios iônicos de, 0,95 Å e 0,65 Å, resultando no potencial iônico de 1,05 e 3,08. Dessa

forma, o composto NaCl irá apresentar um potencial iônico mais baixo que o $MgCl_2$, sendo portanto mais solúvel na água.

Dos sais geralmente encontrados nos poros de rochas utilizadas como cantaria, o NaCl é um dos mais abundantes, pois da mesma forma que este apresenta grande facilidade de dissolução, este também é um dos primeiros a se formar, tendo solubilidade de 27g/100g e umidade relativa de equilíbrio² de 76% entre 0 a 40°C . Já o sulfato de cálcio ($CaSO_4$) apresenta solubilidade de 0,2g/100g entre 0 e 40°C e umidade relativa de equilíbrio de 100% a 20°C, sendo facilmente cristalizado em condições atmosféricas (Matsukura, *et al.*, 2004).

Considerando que a solubilidade do sal e a umidade relativa são os fatores que variam de acordo com a estação do ano, esses irão influenciar a cristalização dos sais. Espera-se portanto que em diferentes períodos os sais encontrados nas rochas apresentem diferentes concentrações. Esse efeito também pode ser observado em um mesmo monumento, em fachadas interiores e exteriores visto que estão submetidas a condições climáticas diferentes, por exemplo, a última sofre ação do vento e do sol. A figura a seguir (Figura 4) ilustra as diferentes solubilidades e umidades relativas de equilíbrio para diferentes sais a diversas temperaturas.

Outra propriedade do sal NaCl que vale a pena ser ressaltada é o seu coeficiente de expansão volumétrica que mede a variação relativa do comprimento ou do volume que produz um sólido ou um fluido devido à alteração de temperatura.

Muitos sais, incluindo os cloretos e sulfatos apresentam elevados coeficientes de expansão volumétrica, fazendo com que seu volume aumente com o acréscimo de temperatura (Wüst & Schlürchter , 2000). Associado a isso teremos que o sal que geralmente causa os maiores danos as rochas é o $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ seguido do $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Goudie 1974; 1986 *apud* Matsukura *et al.*, 2004).

² Umidade relativa de equilíbrio – Valor crítico onde a solução está em equilíbrio termodinâmico com a umidade relativa do ar. Essa pode variar entre 0 e 1.

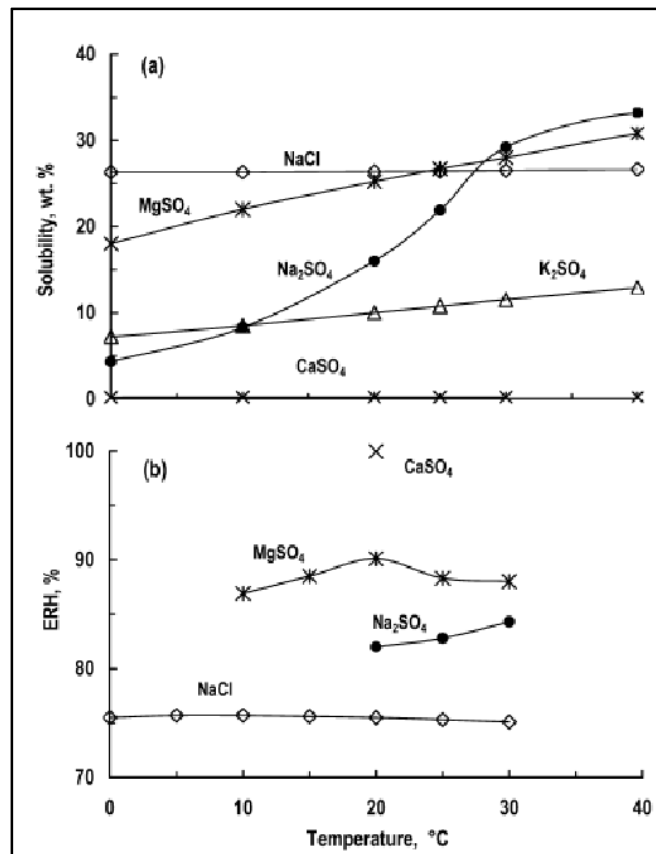


Figura 4: Solubilidade e umidade de equilíbrio relativa dos sais. (Chemical Society of Japan, 1984 *apud* Matsukura *et al.*, 2004).

Em relação à solubilidade dos sais, uma regra geral amplamente obedecida é que em compostos que contêm íons de raios amplamente diferentes são normalmente solúveis em água. Isto é, a diferença no tamanho dos íons favorece a solubilidade.

O efeito do íon comum também afeta as taxas de reação química, forçando um composto a se precipitar da solução quando se adiciona um dos seus íons na água. A adição de um íon comum irá fazer com que a solubilidade do primeiro sal diminua, de modo a precipitar mais daquele sólido (Mohriak *et al.*, 2008).

A solubilidade dos sais também dependerá da concentração do sal, da temperatura e da pressão. Quando a dissolução é um processo endotérmico, ou seja, absorve energia na forma de calor, a solubilidade aumenta com o aumento de temperatura. Já quando a dissolução é um processo exotérmico, liberando energia

em forma de calor, a solubilidade do sal diminui com o aumento temperatura. Em relação a pressão, quanto maior a pressão menor a solubilidade e vice-versa.

2.2. Efeito da ação dos sais solúveis sobre as rochas

A cristalização de sais é um dos mais comuns e importantes processos de alteração que afetam materiais como rochas, tijolos, cerâmicas e concretos, geralmente é considerada como a maior causa de danos tanto em monumentos antigos como em prédios recentes (Benavente *et al.*, 2007). Os sais podem se originar de diversas fontes, entre elas destacam-se a poluição do ar, solo, aerossóis marinhos, tratamentos inadequados de rochas, a interação entre materiais utilizados nas construções e até mesmo de cimentos, que se não preparados adequadamente podem possuir elevados teores de sulfato de sódio (Charola, 2000).

Entre as quatro principais causas da degradação das rochas utilizadas como cantaria nas construções brasileiras estão as variações de temperatura, as variações de umidade, características do clima tropical e a poluição. Também em ambientes marinhos, um dos fatores associados ao intemperismo severo é a cristalização de sais nos poros dos materiais rochosos, resultando em fortes pressões que ocasionam a expansão dos poros e a consequente fissuração ou desagregação da matriz sólida do material (Frasca, 2005 *apud* Silva, 2007). A cristalização de sais, portanto, está geralmente associada a ambientes desérticos e costeiros (Theoulakis & Moropoulou, 1999 *apud* Doehne, 2002), no entanto, as regiões de clima tropical são bem afetadas devido ao forte contraste entre as estações chuvosas e secas.

Os ciclos de cristalização de sais irão gerar perda de massa, variações nos tamanhos dos grãos, mudanças nos tamanhos dos poros, deteriorações na

superfície, microfaturas e desagregação granular³ (Figura 5). Essas variações irão causar danos nas rochas, diminuindo suas durabilidades. A forma mais comum de estimar essas alterações é medir a perda de massa das amostras (Benavente *et al.*, 2001).

Evans (1970) classificou os mecanismos que geram danos às rochas pelo sal em três tipos, são eles: pressão de cristalização, pressão de hidratação e expansão térmica diferencial (expansão e contração). Outro processo que pode influenciar a variação do meio poroso é o químico. Esse ocorre devido à reação entre a solução e a fase mineral, sendo dependente da mineralogia da amostra e da composição química da solução. Esse efeito foi observado por Benavente *et al.* (1999), onde mecanismo químico observado foi produzido pela reação entre a solução básica de sulfato de sódio, cujo pH é 8,8, e a massa amorfa de sílica da estrutura do quartzo arenito. Com isso, a solubilidade da sílica amorfa aumenta o seu pH até 8.



Figura 5: Exemplo da morfologia de alteração desagregação granular. (Henriques *et al.*, 2005).

Estudos mostram que a pressão de cristalização do sal, principal mecanismo de intemperismo salino, depende da natureza da fase mineral, da temperatura e do grau de supersaturação (Benavente *et al.*, 1999). No caso de um poro cilíndrico e

³ Desagregação Granular - perda de coesão que torna muito fácil a retirada ou o arrancamento de partículas de dimensão areia com esforços mecânicos de baixa intensidade. Henriques, *et.al.*, 2005.

com crescimento do cristal esférico, a pressão de cristalização pode ser definida como mostrado na equação 1 .

$$P_c = 2\gamma \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (1)$$

onde:

P_c =Pressão de cristalização induzida por um cristal dentro de um poro.

γ = Tensão interfacial, dependente da entalpia de cristalização e do volume molar do sólido.

r = Raio do Poro onde a pressão esta sendo induzida.

R = Raio do poro de maior tamanho na rocha

Nas rochas utilizadas como cantaria, o processo intempérico salino geralmente se inicia no período de estação seca. Esse período seco é considerado o período crítico pois é quando os sais solúveis presentes na água começam a cristalizar (Kuchitsu *et al.*, 1999). Pode-se dizer então que a cristalização do sal está associada a questões ambientais, como a evaporação ou o resfriamento (Yu & Oguchi, 2010). No caso das obras de engenharia, o intemperismo salino está associado às variações na maré ao longo do dia e ao longo do ano.

No início do período seco, no caso das rochas utilizadas como cantaria, ou no período de maré baixa, no caso dos enrocamentos, quando ocorre redução do teor de umidade das rochas, a pressão de cristalização pode exceder a resistência das rochas, aumentando sua porosidade, gerando fissuras/fraturas ou propagando fissuras/fraturas pré-existentes.

A Figura 6 mostra esquematicamente como ocorre o intemperismo salino. Durante a fase de secagem, a água migra de dentro da rocha para a superfície devido à pressão capilar, gerando um aumento da concentração de íons de sal na superfície de rocha exposta que irá recristalizar. Nesse processo de recristalização, ocorre expansão volumétrica, levando a desintegração e formação de fissuras na rocha. Quando existe alta ventilação, o processo de evaporação é acelerado,

fazendo com que o filme rico de íons de sal não se forme na superfície. Nesse caso a expansão volumétrica ocorrerá dentro da rocha e a morfologia de alteração observada será subeflorescência.

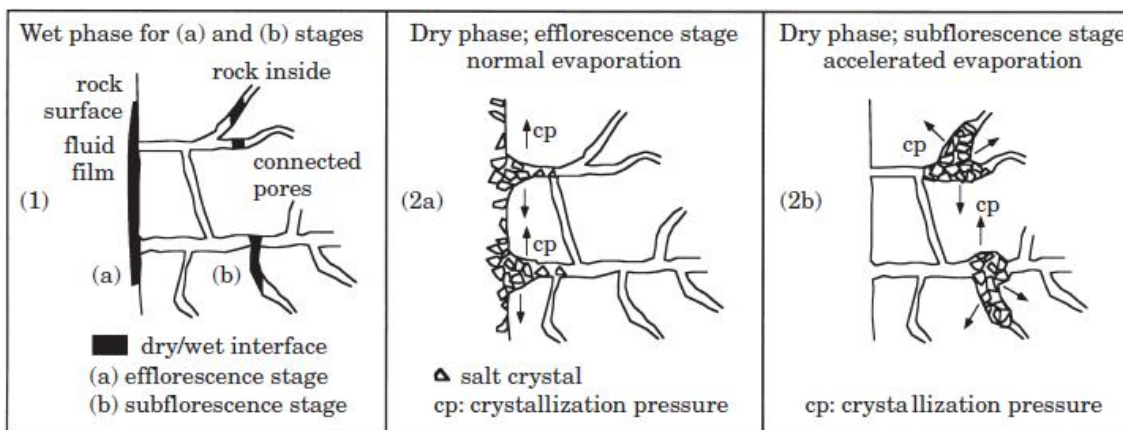


Figura 6: Desenho esquemático mostrando o processo de intemperismo salino. Wüst & Schlrüchter, 2000 modificado de Amoroso & Fassina (1983). Em (1) a solução com íons dissolvidos se concentra na superfície da rocha (a) e nos poros conectados (b). Em (2a) tem-se o início da fase de secagem, quando a cristalização ocorre predominantemente na superfície da amostra na forma de eflorescência. Em (2b) devido a alta ventilação, a cristalização ocorre dentro da rocha, na forma de subeflorescência.

Angeli *et al.* (2007) estabelecem que durante o intemperismo salino, a rocha irá passar por três estágios principais (Figura 7). No primeiro, ocorre um aumento de peso devido ao fornecimento de sal. No segundo estágio, que nem sempre está presente, ocorre uma variação de peso dependendo da competição entre o fornecimento de sal e o dano causado na rocha. E por último o terceiro estágio, onde ocorre um decréscimo de peso porque os danos causados na rocha são bem superiores ao acréscimo de peso devido à cristalização dos sais.

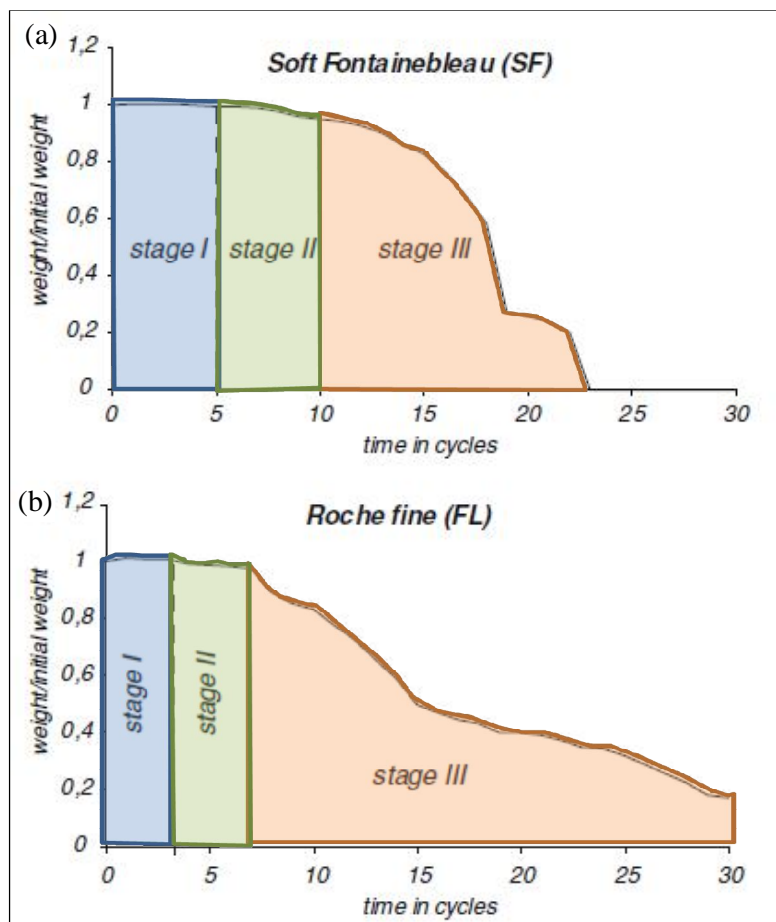


Figura 7: Evolução do peso normalizado para duas diferentes amostras estudadas por Angeli *et al.*, 2007. Em (a) ilustra-se o caso de um arenito e em (b) a evolução do peso normalizado para um calcário. Notar os três estágios estabelecidos indicando a evolução do processo intempérico.

A duração de cada ciclo desses será dependente da microestrutura da rocha. Durante a fase um, ocorre o aumento de peso principalmente devido às características da rede porosa (quantidade de poros e distribuição do tamanho de poros, por exemplo).

O processo de cristalização nos poros inicia-se durante a evaporação. Primeiramente, todos os poros que podem ser alcançados pela ascensão capilar são preenchidos pela solução salina. Durante a primeira fase da evaporação, a solução e os íons são conduzidos de forma que todo o sal presente apenas se cristalice como eflorescências na superfície das amostras. A partir de então começa a fase mais importante da evaporação, quando tem início a fase de difusão. Nesse momento a água começa a circular como vapor na rede porosa, permitindo assim

que os sais se cristalizem dentro dos poros. O estágio um se encerra quando sal suficiente já se cristalizou dentro dos poros para permitir supersaturação e causar danos à amostra (Flatt, 2002 *apud* Angeli *et al.* 2007). Posteriormente o dano pode ocorrer de duas formas. Na primeira, ainda há espaço na amostra para o sal cristalizar e a perda de material é menor do que a absorção de sal, ocorrendo então o dano visual na rocha. A segunda forma ocorre quando não há espaço poroso para cristalização de sal, fazendo com que a perda de material devido ao intemperismo seja maior do que a absorção de sal. Essa competição da absorção de sal e da perda de material é que define a fase dois. A fase três começa quando a relação entre o peso normalizado e do número de ciclos começa a se tornar aproximadamente linear, ou seja, a absorção de sal começa a ser insignificante comparada com a perda de material.

Para Yu & Oguchi (2010), um dos fatores que afeta largamente o dano que a rocha submetida ao intemperismo salino irá sofrer é o tipo de porosidade, visto que esta afeta a movimentação do fluido dentro da rocha devido à capilaridade. Dessa forma, a porosidade da rocha influencia a permeabilidade e forma espaço para a retenção do sal (Wüst & Schlüchter, 2000).

Benavente *et al.* (1999) definiram três intervalos de porosidade nas rochas. Em cada um desses intervalos o movimento de fluidos no meio poroso é diferente e conseqüentemente o intemperismo associado ao sal será influenciado.

- Macroporosidade – tamanhos dos poros superiores a 2500 μm e a mobilidade do fluido é dada pelas forças gravitacionais;
- Mesoporosidade - tamanhos dos poros variando entre 0,1 a 2500 μm . Nesse caso a movimentação dos fluidos é dada principalmente devido à capilaridade.
- Microporosidade – tamanhos de poros inferiores a 0,1 μm . Nesse caso a mobilidade dos fluidos é dada pelas forças de absorção.

Na prática, as rochas que apresentam menores poros (micro e mesoporosidades) serão as que irão apresentar maiores danos associados à cristalização dos sais. Isso ocorre pois as rochas com mesoporosidades terão a

mobilidade do fluido dada pelas forças da capilaridade, como citado anteriormente, e com isso a absorção do sal é mais efetiva. Dessa forma, quando atinge a supersaturação, a cristalização irá ocorrer nos menores poros e não nos maiores (Rodriguez Navarro & Doehne, 1999 *apud* Yu & Oguchi, 2010).

A Figura 8 ilustra como o formato do poro irá afetar o processo da cristalização da mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). É possível notar que a tensão gerada em um poro com formato esférico (curva a) é superior do que no caso das fissuras (curva c), o que explica a alta deterioração em rochas com esse tipo de porosidade. No entanto, ressalta-se que é mais fácil propagar uma fissura do que aumentar o poro esférico.

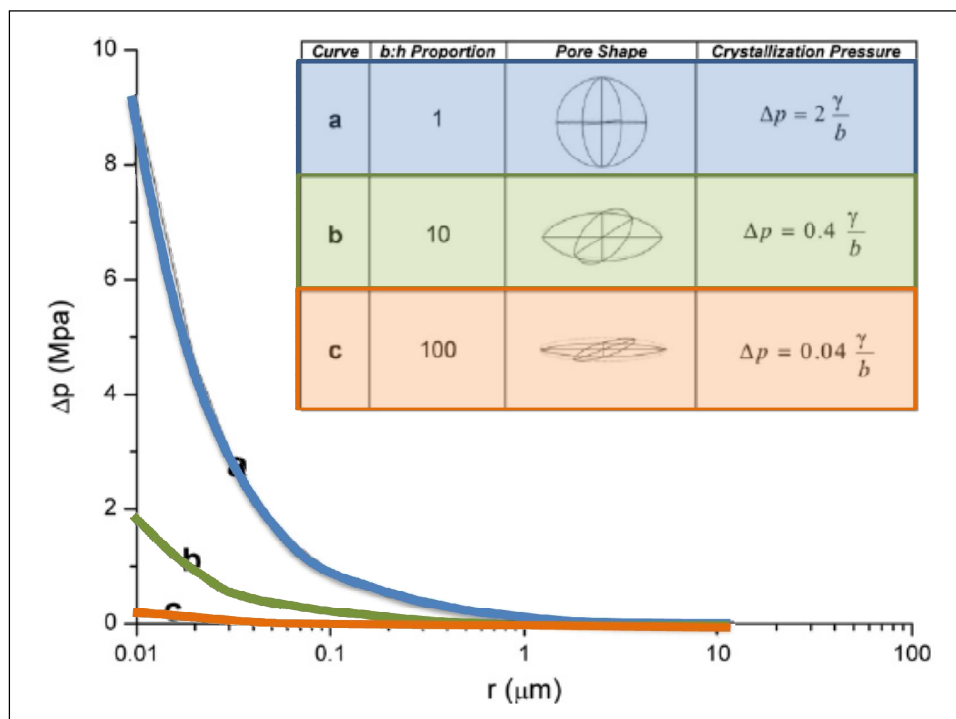


Figura 8: Pressão de cristalização da Mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) para diferentes formas de poros, assumindo que o poro está totalmente preenchido pelo cristal (Benavente *et al.* 2007). Na figura Δp é a pressão de cristalização, γ é a energia livre da interface sólido-líquido, b é metade do comprimento da elipse e h é a metade da largura da elipse.

Dessa forma, as rochas com maiores *aspect the ratio*⁴ tendem a ser mais resistentes a este processo intempérico do que as rochas com menores *aspect the ratio*. No entanto, as primeiras quando apresentam-se com poros já preenchidos por

⁴Aspect the ratio -Razões entre comprimento e largura do poro.

sal tendem a se comportar como as rochas de baixo *aspect the ratio*, podendo sofrer grandes pressões devido à cristalização de sais (Doehne, 2002).

A superfície específica da rocha/amostra também irá influenciar no intemperismo relacionado à cristalização de sais devido à cinética da evaporação. Para uma mesma amostra de rocha, com o mesmo volume porém com formatos diferentes, a que apresenta uma das dimensões bem menor que as outras irá se alterar mais rapidamente e de forma mais regular, isso porque esta irá “secar” em um tempo menor (Figura 9).

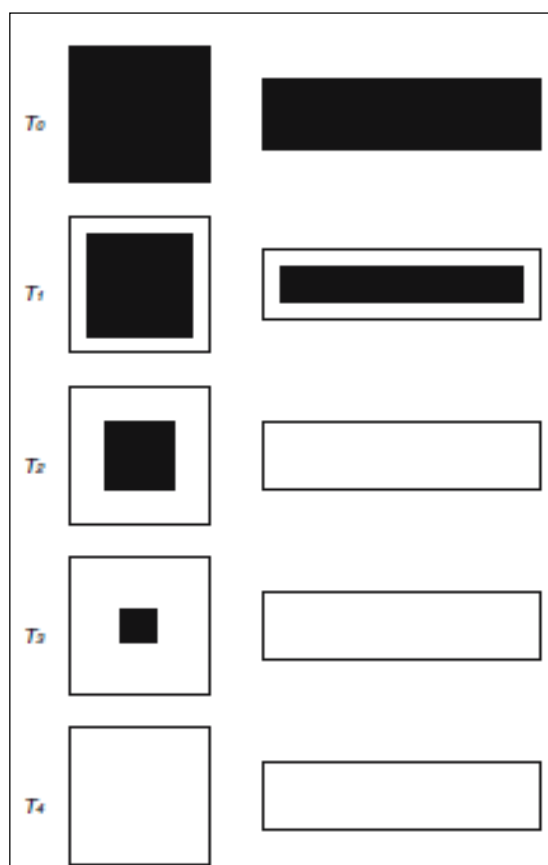


Figura 9: Cinética de evaporação de duas amostras do mesmo volume porém em dimensões diferentes. A mesma espessura de água evapora nas duas amostras em momentos diferentes. A parte da amostra que está em preto representa a região da amostra com solução e a parte da amostra em branco representa a parte seca.

Além disso, a condutividade hidráulica da rocha também influencia no intemperismo causado pelo sal. Rochas com maiores condutividades hidráulicas, ou seja, maiores permeabilidades, permitem que o volume de água que passe pelos

poros sejam maiores do que nas rochas com menores condutividades hidráulicas. Dessa forma, quanto maior o volume de água que passa por uma amostra, mais íons se concentrarão nesta e conseqüentemente mais facilmente ocorrerá o intemperismo devido à cristalização do sal nos poros (Kuchitsu *et al.*, 1999).

A presença de bactérias associadas a biofilmes e biopolímeros também irá aumentar o dano causado pelos sais (May *et al.* 2000; Papida *et al.* 2001 *apud* Doehne, 2002). Esse efeito foi observado por Papida *et al.* (2001) submetendo dois tipos de calcários a ação combinada do intemperismo físico e biológico. Para isso, metade das amostras antes de sofrerem a ciclagem água/solução salina foram inoculadas com agentes microbianos, e observou-se que ação microbiana em conjunto com a física é capaz de trazer danos a rocha maiores do que os dois efeitos atuando separadamente. O intemperismo devido à presença das bactérias se dá devido a produção de EPS (exopolímero) pelas bactérias, cuja função principal está relacionada a fixação no substrato e para gerar nutrientes para elas. O EPS possui potencial mecânico e químico para deterioração da rocha, no primeiro caso através da expansão/contração diferencial durante o processo de secagem da rocha e no segundo caso através da troca catiônica entre o EPS e os componentes da rocha.

Outro fator que irá influenciar na resposta da rocha à cristalização de sais é o histórico de tensões a que esta rocha foi submetida (McCabe *et al.* 2007), porém essa relação não é linear. O intemperismo salino se aproveita de superfícies de fraqueza pré-existentes para acessar os espaços porosos e operar mais efetivamente.

O intemperismo salino também irá atuar de forma diferente de acordo com o tipo de rocha. Em rochas homogêneas o intemperismo ocorre de forma regular (Figura 10.a), começando com a suavização dos vértices e arestas. Rochas heterogêneas irão alterar de maneira diferente de uma região para outra (Figura 10.b), visto que as heterogeneidades atuam como pontos de fraqueza. Já nas rochas que apresentam anisotropia, a alteração da rocha irá ocorrer em uma direção preferencial (Figura 10.c), aproveitando-se da presença de camadas menos resistentes e da presença de fraturas (Angeli, *et al.* 2007).

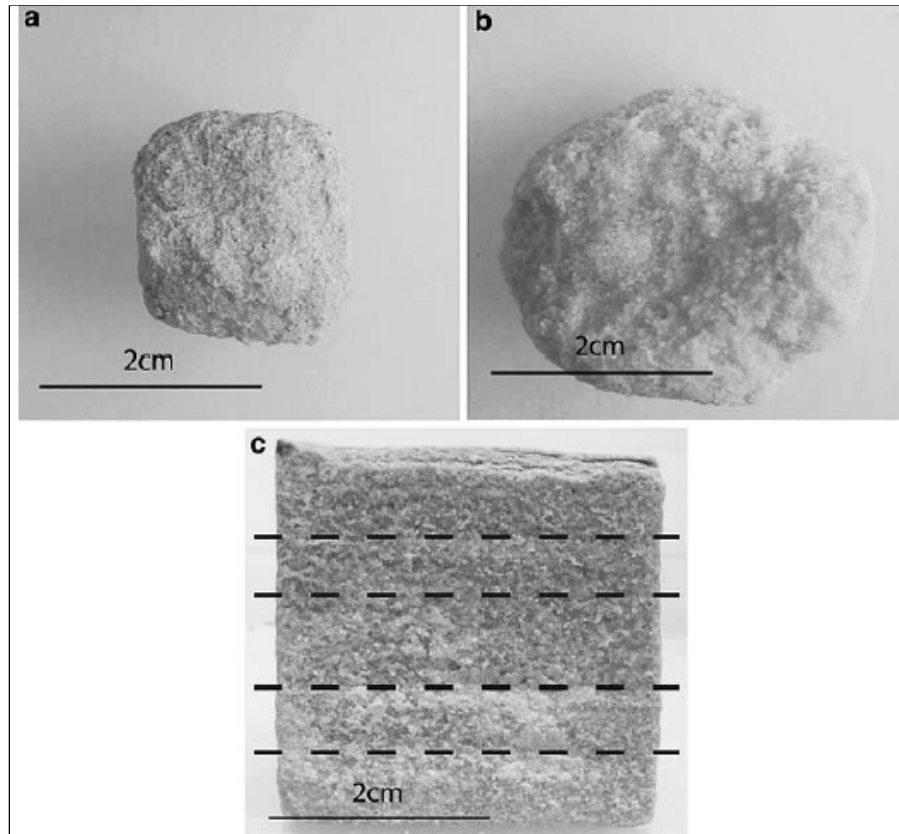


Figura 10: Intemperismo salino em rocha (a) homogênea, (b) heterogênea e (c) anisotrópica (Angeli, *et al.* 2007).

É importante ressaltar que diferentes sais irão afetar de maneiras diferentes rochas em intensidades diferentes (Figura 11). Além disso, a combinação de diferentes sais pode gerar danos maiores ou menores do que determinados sais isolados (Yu & Oguchi, 2010). A regra é que se dois sais não possuem nenhum íon em comum, como no caso de uma mistura de cloreto de sódio com sulfato de cálcio, a solubilidade de ambos os sais irá aumentar. Já em sais que apresentam íons em comum, como o cloreto de sódio e o sulfato de sódio, a solubilidade de ambos irá diminuir (Charola, 2000). Uma exceção é dada para o nitrato de potássio, que aumenta a solubilidade na presença de outro nitrato. (Steiger & Dannecker, 1995 *apud* Charola, 2000)

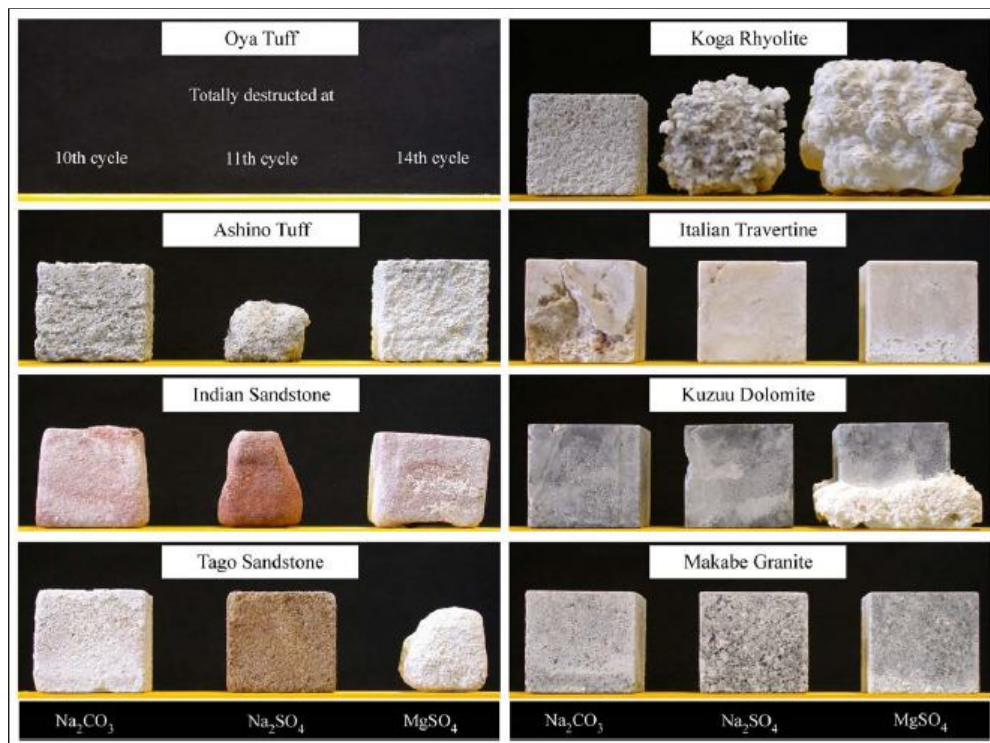


Figura 11: Oito tipos de rochas submetidas à ciclagem com diferentes sais: Carbonato de cálcio (esquerda), sulfato de sódio (meio) e sulfato de magnésio (direita). Notar que para cada tipo de rocha, o potencial de destruição da cristalização é diferente. (Yu & Oguchi, 2010).

Existem ainda algumas substâncias que buscam inibir a cristalização de sais, como, por exemplo, o ferrocianeto de sódio, que pode ser injetado na rocha. Os inibidores atuam retardando o início da cristalização dos sais, que só irá ocorrer quando a solução estiver mais saturada, além de alterar a morfologia do cristal de sal, tornando-o altamente instável. Atualmente diversos estudos tem sido realizados com o intuito de verificar a eficácia desses agentes inibidores da cristalização de sais (Lubelli & Hees, 2007, Dragovich & Egan, 2011). Para o caso do NaCl, sal utilizado nesse estudo, o que tem apresentado melhor eficácia é o ferrocianeto de sódio (NaFeC). A comparação da morfologia do cristal com e sem a ação dos inibidores pode ser vista na Figura 12. Os agentes inibidores também irão afetar a forma com que o cristal irá se precipitar dentro do espaço poroso. Na ausência dos inibidores, os cristais de halita geralmente se precipitam nas paredes dos minerais, já com os inibidores, a cristalização ocorrerá na forma de aglomerações de pequenos cristais preenchendo os espaços porosos e nas proximidades da interface rocha/ar, diminuindo o dano causado pelo intemperismo salino.

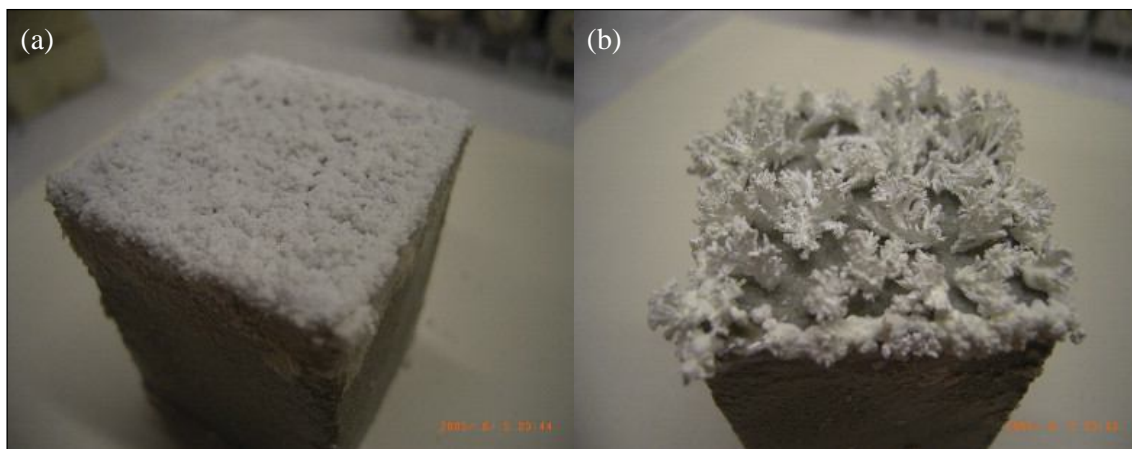


Figura 12: Cristalização de NaCl na ausência de inibidores (a) e na presença do inibidor NaFeC (b).

Outro método de desalinação que tem sido empregado no caso do cloreto de sódio e que tem obtido resultados positivos são as lavagens intermitentes. No entanto, esse método só apresenta boas respostas para sais com alta solubilidade.

A quantificação do quanto uma rocha é afetada pelo intemperismo é fundamental para escolha de rochas a serem utilizadas como revestimento e para ações de manutenção e recuperação de rochas submetidas às condições intempéricas.

Existem alguns ensaios que são utilizados para a caracterização do grau de alterabilidade das rochas, dentre esses, destacam-se os ensaios de perda de massa, porosidade conectada, coeficiente de saturação de água, densidade de fissuras, velocidade de propagação das ondas compressãois e ensaios de resistência (Yu & Oguchi, 2010).

Benavente *et al.* (2001) elaboraram uma classificação de durabilidade das rochas quando submetidas a ensaios de imersão parcial em solução salina de acordo com o percentual de perda de massa. Nesta classificação (Tabela 1) tem-se quatro classes, I, II, III e IV, sendo as classes tipo I e II recomendadas para utilização em fachadas e as classes III e IV não recomendadas devido a suas baixas resistências a cristalização de sais.

Tabela 1: Classificação proposta por Benavente *et al.* (2001) da durabilidade das rochas em função do percentual de perda de massa.

TIPO DE CLASSE	PERDA DE MASSA SECA (%)
I	< 1
II	1 - 5
III	5 - 10
IV	> 10

No entanto, apesar da cristalização de sais ser capaz de trazer grandes danos às rochas, é importante ressaltar que em alguns casos, como na eflorescência, a cristalização que ocorre na superfície da rocha não resulta em deterioração, somente em um pequeno dano, que é principalmente visual (Doehne, 2002). A eflorescência irá ocorrer quando a concentração de sal na água atingir o ponto de saturação e quando a umidade relativa de equilíbrio do sal for menor do que a umidade relativa da atmosfera (Matsukura, *et al.*, 2004).

Levin (1982 apud Matsukura, *et al.*, 2004) propôs um modelo buscando entender o porquê que algumas vezes a cristalização de sais ocorre de forma quase não-destrutiva, como eflorescência ou de forma destrutiva, como subeflorescência. O autor observou que a solução salina migra através dos poros das rochas por ação de forças capilares. Quando a evaporação tem início, seguida pela saturação da solução, ocorre a cristalização do sal. Quando a solução é fornecida mais rapidamente que a taxa de evaporação o sal irá se precipitar fora dos poros, na superfície e teremos a eflorescência. Já quando a solução salina é alimentada mais lentamente do que a taxa de evaporação, a solução salina irá evaporar e atingir a supersaturação dentro do sistema de poros, a uma certa profundidade da superfície. Nesse caso, a pressão de cristalização pode danificar a rocha e provocar a perda de material.

Um ponto importante no avanço dos estudos de intemperismo salino tem sido o desenvolvimento de métodos que fornecem dados sobre comportamento do material *in situ* e no tempo, tais como ensaios ultrassônicos realizados em campo, emissão acústica, microscopia eletrônica de varredura ambiental e no tempo, ressonância nuclear magnética e tomografia de microcomputador (Doehne, 2002).

Essa linha de pesquisa tem importância fundamental no entendimento do processos de deterioração por via salina, buscando-se simulações realizadas em laboratórios, em ambientes controlados, com a real condição a que estas rochas estão submetidas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma abaixo Figura 13 mostra de forma esquemática o processo de caracterização inicial das rochas utilizadas no estudo. Maiores detalhes sobre cada procedimento realizado serão dados nos subitens a seguir.

A Figura 14 e a Figura 15 mostram esquematicamente todo o processo de ciclagem que foi realizado, e em quais momentos foram realizados ensaios para avaliar a degradação da rocha devido ao intemperismo salino. Cada procedimento desses também será explicado com mais detalhe posteriormente.

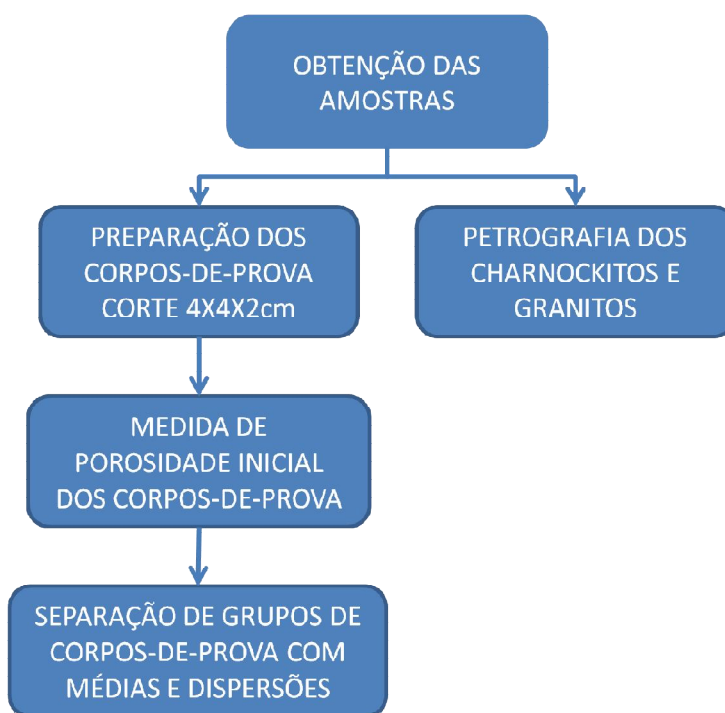


Figura 13: Fluxograma dos procedimentos realizados para caracterização inicial dos granitos e charnockitos.



Figura 14: Metodologia realizada nas amostras de charnockito para avaliação dos danos gerados pelo intemperismo salino.

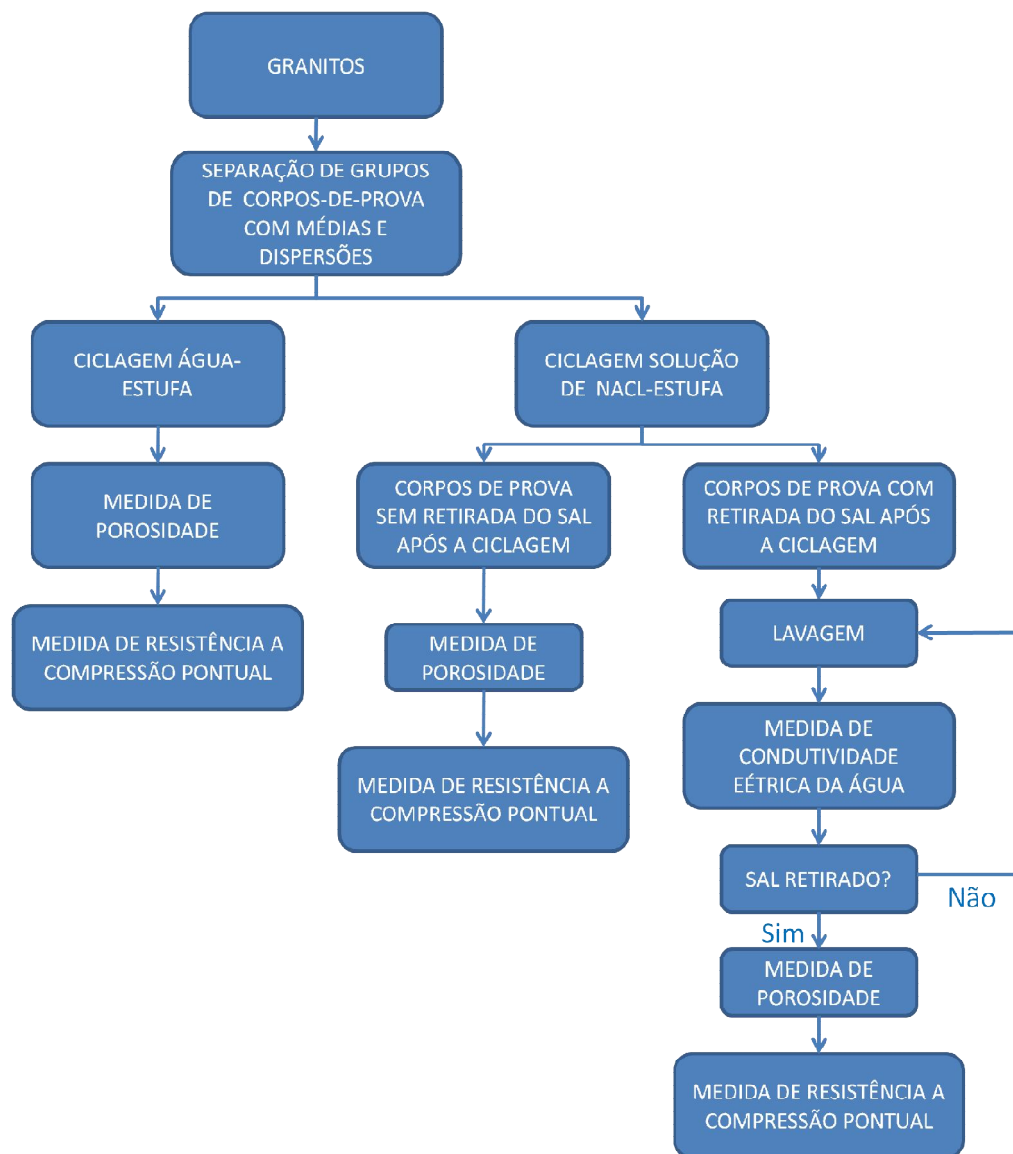


Figura 15: Metodologia realizada nas amostras de granito para avaliação dos danos gerados pelo intemperismo salino.

3.1. Origem e preparação das amostras

Para o estudo em questão foram utilizados dois grupos de rochas, charnockito e granito. As amostras empregadas nesse estudo foram obtidas em marmoraria, portanto, têm procedência desconhecida. No entanto, pode-se garantir que todas as amostras de um mesmo tipo litológico têm a mesma origem, pois foram obtidas das mesmas chapas. Isto garante mineralogias e texturas iniciais homogêneas, além das

propriedades físicas iniciais (anteriores aos ensaios de intemperismo acelerado) semelhantes entre amostras de um mesmo tipo litológico.

Todas as amostras de ambos os tipos litológicos foram cortadas em blocos cujas dimensões são de aproximadamente 4x4x2 cm para serem utilizadas nos ensaios de ciclagem. Em cada tipo de rocha, foram separados grupos de amostras cujas porosidades iniciais apresentavam médias e desvios padrões próximos. Essa separação tinha como objetivo garantir que as variações de porosidade observadas durante as ciclagens estivessem relacionadas ao efeito causado pela precipitação de sais dentro dos poros.

3.2. Caracterização petrográfica

Estudos petrográficos foram feitos para analisar as rochas utilizadas no estudo, buscando avaliar a mineralogia e a presença de alterações iniciais além do tipo de porosidade presente. Após a ciclagem solução salina/estufa e água/estufa, que serão explicadas nos itens 3.3 e 3.4, foram retiradas amostras buscando analisar as alterações mineralógicas e a evolução das fraturas.

3.3. Ensaio de imersão total em solução salina

O ensaio de imersão de rochas em solução salina tem como objetivo avaliar as variações das propriedades físicas e mecânicas das rochas quando submetidas a tensões internas devido à cristalização de sais.

A escolha do cloreto de sódio (NaCl) se deu devido a este ser formado por dois íons com grandes concentrações na composição da água do mar (Figura 16), sendo provavelmente este sal um dos que apresenta maior influência no intemperismo das rochas que revestem monumentos próximos a regiões costeiras do Rio de Janeiro e em obras de engenharias também em regiões costeiras. Estudos realizados na Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória (Silva, 2008) mostraram a elevada

concentração desses íons, provavelmente associados a aerossóis marinhos. Adicionalmente, devido sua abundância no mar, também é um dos sais que mais afeta as rochas utilizadas em obras de regiões costeiras, como por exemplo, os enrocamentos de concreto.

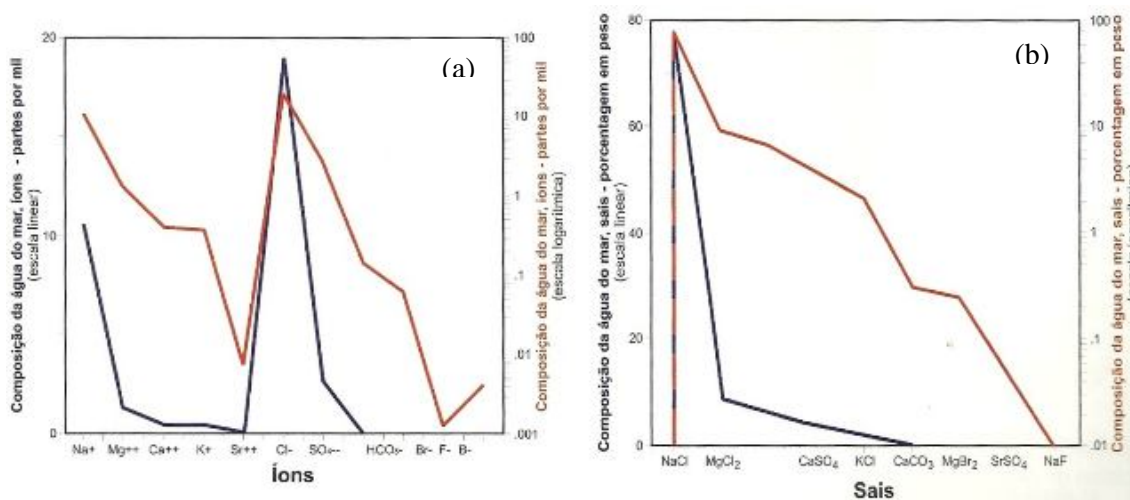


Figura 16: Composição da água do mar (a) íons e (b) sais (Mohriak *et al.*, 2008).

O processo de ciclagem seguiu a norma NBR 12696/92. As amostras ficavam submersas em solução salina de NaCl com concentração de 290g/L durante 15 horas, acima ao seu ponto de saturação, a temperatura ambiente. Posteriormente eram colocadas na estufa durante 8 horas, a temperatura de 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$). Por último, as amostras eram deixadas resfriando a temperatura ambiente por 1 hora e recomeçava-se então outro ciclo.

Para as amostras de granito foram realizados 70 ensaios de ciclagem e para as amostras de charnockito foram feitas 40 ciclagens. A cada 10 ciclos a solução salina era trocada. Tem-se ainda o grupo de amostras que não foram submetidas a nenhum ciclo, para que assim fossem tomadas como condições iniciais e representassem portanto as rochas não submetidas à ação do intemperismo salino.

Ressalta-se que existe outra linha de pesquisa de simulação de ambiente salino que consiste na imersão parcial em solução salina, ensaio este proposto por Benavente *et al.*, 2001, porém esse método não foi utilizado nesse estudo. Os dois métodos, imersão total e parcial, se diferenciam pois no ensaio de imersão total a solução entra na amostra por todas as superfícies fazendo com que o ar fique

aprisionado nos microporos, havendo precipitação nos poros maiores. Já no método de imersão parcial, método que simula o efeito de capilaridade a que as rochas são submetidas, o ar consegue sair das rochas, permitindo saturar inclusive os microporos. Nesse caso, os danos causados pela pressão de cristalização conseguem ser melhor identificados.

3.4. Ensaio de imersão total em água

Ensaio realizado da mesma forma que o anteriormente citado (NBR 12696/92), a única diferença relacionada ao tipo de solução em que as amostras ficavam imersas, ou seja:

- Submersão em água destilada por 15 horas;
- Aquecimento das amostras a 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) por 8 horas;
- Resfriamento das amostras durante 1 hora.

Buscou-se com este ensaio avaliar o quanto da degradação das rochas estava somente associado com o efeito térmico e não com a pressão de cristalização exercida pelo sal. Além disso, com este ensaio é possível analisar o efeito que as mudanças de temperatura ao longo do dia geram nas rochas que são utilizadas como cantaria e em obras de engenharia próximas a regiões costeiras.

3.5. Condutividade Elétrica

O fluxograma de atividades apresentado na Figura 15 mostra que nos corpos-de-prova de granito, um grupo foi separado para a lavagem e retirada do NaCl precipitado nos poros e fissuras antes das medidas de porosidade e das resistências às compressões pontuais.

A justificativa para esse procedimento foi o interesse de se verificar a eventual influência do sal precipitado internamente aos poros e fissuras sobre a resistência. Para isso, foram comparados os valores de resistência para os corpos-de-prova de

granito, com o mesmo número de ciclos, com a prévia retirada do NaCl e sem a execução deste procedimento. Dessa forma, as amostras foram colocadas em um becker com água destilada em banho-maria (Figura 17). A água destilada que estava em contato com as amostras era trocada diariamente até que o valor de sua condutividade se aproximasse de zero ou do valor inicial da condutividade elétrica da água em contato com amostras sem sal. Optou-se por deixar essas amostras em banho-maria, permitindo que a temperatura chegasse até 60°C pois dessa forma se aumenta a solubilidade do sal, tornando o processo de extração mais efetivo.

Ressalta-se que as medidas de condutividade elétrica eram feitas sempre a 60°C visto que a medida de condutividade apresenta diferentes valores de acordo com a temperatura.

A Figura 18 mostra os aparelhos de banho-maria e o condutímetro utilizados.

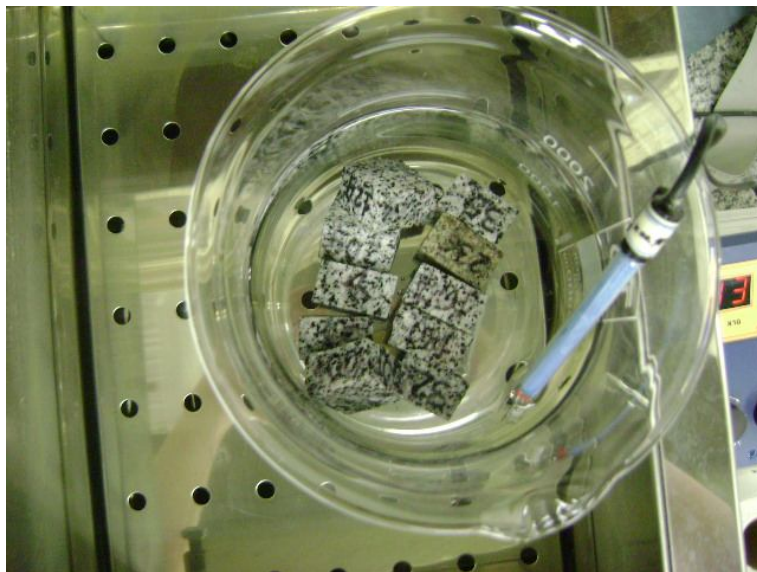


Figura 17: Amostras submersas em água destilada no becker dentro do banho-maria (visão superficial).

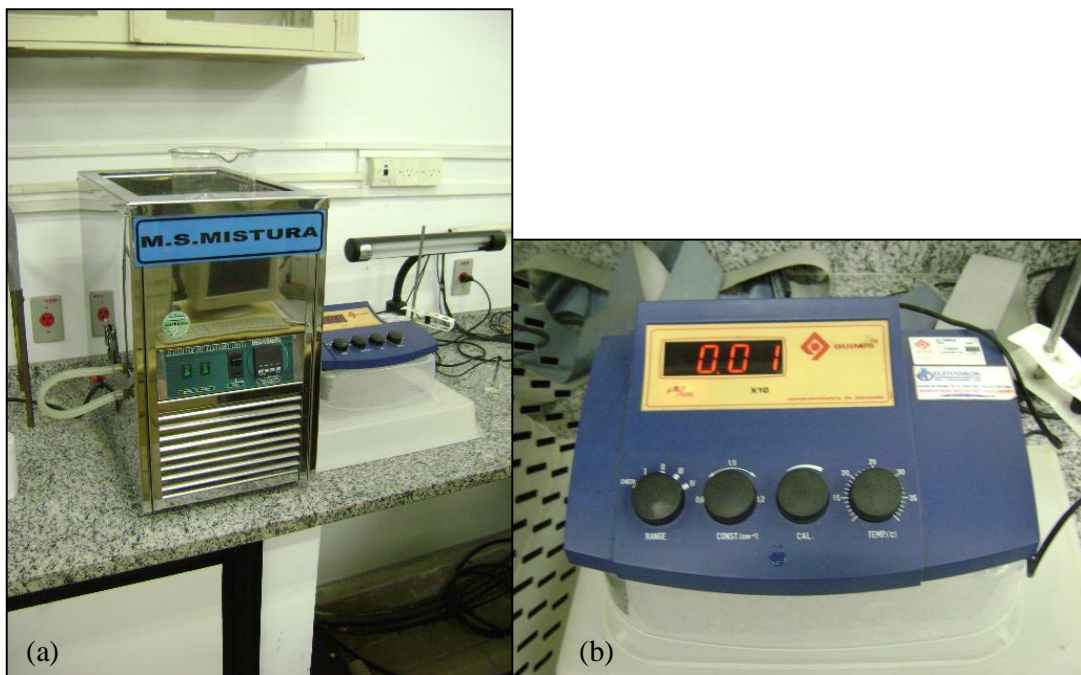


Figura 18: (a) Banho-Maria; (b) Condutivímetro.

3.6. Ensaio de porosidade

Nas amostras de granitos e charnockitos foram realizados ensaios para determinação da porosidade aparente a partir das medidas de massa seca (m_s), saturada (m_{sat}) e submersa (m_{sb}) (Figura 19). Esse ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos sugeridos pela NBR 12766 (ABNT, 1992), onde as rochas ficavam imersas em água destilada por 48 horas para posterior medição das massas saturadas e submersas e depois colocadas na estufa por 24 horas, a temperatura de 105°C ($\pm 5^{\circ}$), para medição das massas secas, alcançadas quando a massa da rocha torna-se constante.

Essas propriedades foram determinadas para todas as amostras, antes de ser realizado qualquer processo de ciclagem e posteriormente para cada grupo de amostras que era retirado após a realização de 10 ciclos. Para as amostras de granito, adicionalmente mediu-se a porosidade dos corpos-de-prova após a retirada do sal, conforme descrito no item 3.5.

A porosidade é definida como a relação entre o volume ocupado pelos poros de uma rocha e o seu volume total. Essa pode ser encontrada através da (equação 2), técnica esta que se utiliza da saturação conjugada ao princípio de Arquimedes. Vale ressaltar que a utilização desta técnica só é adequada e recomendável quando não há desagregação da amostra durante o processo de saturação.

$$\eta = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_{sb}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

η = porosidade;

m_{sat} = massa saturada;

m_s = massa seca e

m_{sb} = massa submersa.

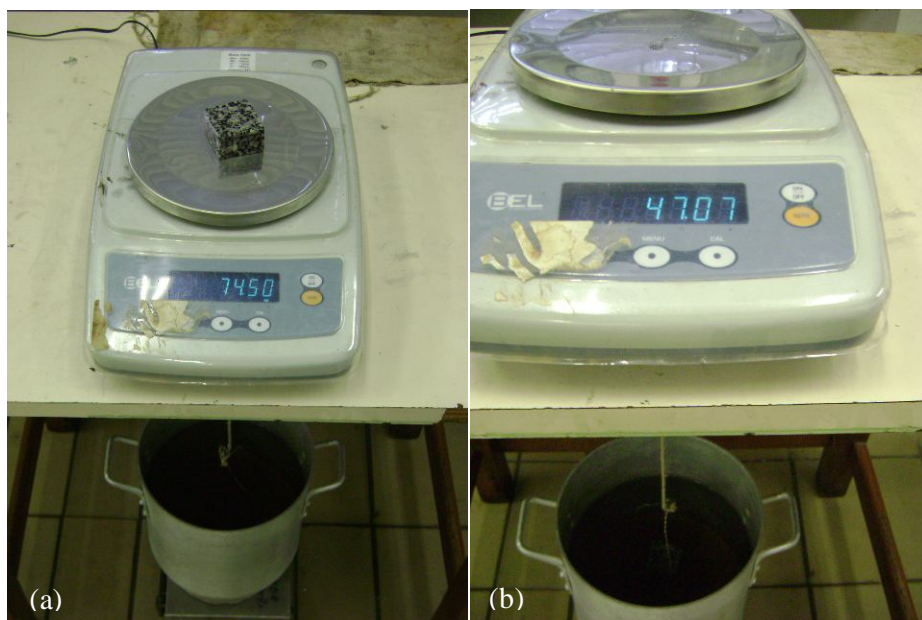


Figura 19: Medição do peso saturado (a) e submerso (b) da amostra para posterior cálculo de porosidade.

3.7. Resistência à Compressão Pontual

Para cada grupo de amostras retirado da ciclagem (solução salina e água) após a avaliação dos valores de porosidade das amostras foram realizados ensaios de resistência à compressão pontual, cujo objetivo era verificar a perda de

resistência da amostra. A cada 10 ciclos eram retiradas amostras para ensaios de quantificação da deterioração causada pelo intemperismo salino e/ou térmico. As amostras eram rompidas ainda saturadas de água pois nessa condição apresentam menores valores de resistência.

Assim como nos ensaios de porosidade, para as amostras de granito, foram feitas medidas de resistência antes e após a remoção do sal dos poros da rocha. Tentou-se com este procedimento verificar a eventual influência do NaCl cristalizado no interior das fissuras, geradas ou propagadas no granito, contribuindo para a maior resistência, quando comparadas com as amostras sem sal, provavelmente dando um efeito coesivo nas paredes das fissuras.

Para esse estudo o *point load test* foi utilizado pois era o método capaz de medir a resistência à compressão para amostras pequenas, como as utilizadas nesse estudo além da simplicidade de execução. Ressalta-se porém, que esse não é o método mais adequado pois a medida de resistência é pontual e pode ser afetada por exemplo pela presença de um fenocristal na posição onde a carga foi aplicada. Além disso, mesmo se utilizando manômetros de baixa capacidade e dotados de ponteiro de arraste, a conjugação do comportamento frágil da rocha e a precisão dos instrumentos de medida, torna obrigatório se considerar este ensaio como índice para a resistência da rocha e não como uma medida acurada da mesma.

No ensaio de compressão puntiforme, a rocha é carregada pontualmente através de dois cones metálicos e uma carga é aplicada na amostra (Figura 20) de forma a desenvolver fraturas de tração paralelas ao eixo de carregamento. São considerados válidos somente os resultados dos ensaios cuja superfície de ruptura contenha os pontos de aplicação da carga (Figura 21), ou seja, a superfície de ruptura deve atravessar completamente o corpo de prova. A força de ruptura equivalente a essa pressão manométrica foi determinada pela equação de calibração do equipamento. Neste trabalho foram realizadas duas calibrações para diferentes manômetros empregados (Figura 22). Tais calibrações foram feitas utilizando a célula de carga

No ensaio de carga pontual podem ser testados não só corpos de prova cilíndricos comprimidos diametralmente, mas também axialmente, e ainda corpos de provas com outras formas, regulares ou irregulares, desde que obedçam aos critérios geométricos indicados na Figura 23. No caso dos blocos serrados, é necessário que a distância entre os pontos de aplicação do carregamento (D) tenha valores intermediários entre a largura (W) deste e 30% de W. Além disso, a distância entre o ponto de aplicação de carga e a borda do corpo de prova (L) deve ser maior que a metade do valor de D, ou seja: $L > 0,5D$. Na prática, há um efeito do tamanho da amostra no valor de resistência, e portanto, uma correção é realizada para reduzir os resultados a um tamanho comum (ISRM, 1981).

Para a obtenção da resistência a compressão puntiforme faz-se necessário realizar os seguintes cálculos (equações 3 a 7).

- Cálculo da resistência da amostra

$$IS = \frac{P}{de^2} \times 10^{-1} (Mpa) \quad (3)$$

onde IS é o valor da resistência da amostra a compressão puntiforme e P é a força obtida através das curvas de calibração.

- Correção da forma da amostra

$$de^2 = \frac{4 \times A}{\pi} \quad (4)$$

$$A = W \times D \quad (5)$$

onde de é o diâmetro equivalente da amostra (em mm), A é a seção transversal mínima, W a menor largura da amostra e D a maior largura da amostra.

- Correção do tamanho da amostra

$$FC = \left(\frac{de}{50} \right)^{0.45} \quad (6)$$

onde FC é o fator de correção do tamanho da amostra para amostras cilíndricas com diâmetro padrão de 50 mm.

- Cálculo da resistência da amostra padronizado

$$IS(50) = FC \times IS(Mpa) \quad (7)$$

onde $IS(50)$ é o valor da resistência da amostra a compressão pontual correlacionada com o tamanho padrão

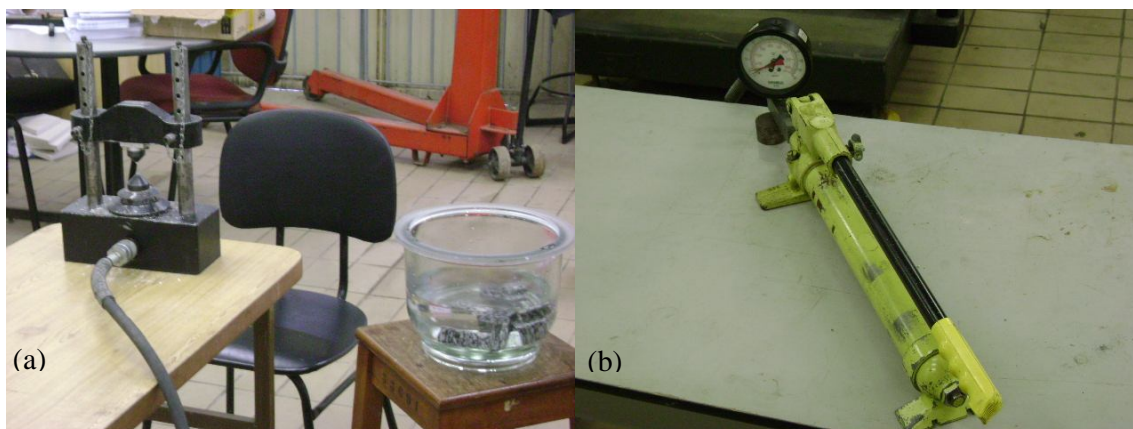


Figura 20: (a)Aparelho de compressão pontual – point load ; (b)Manômetro para aplicação de pressão.



Figura 21: Exemplo de fraturas consideradas válidas no ensaio de point load (Teixeira, 2009).

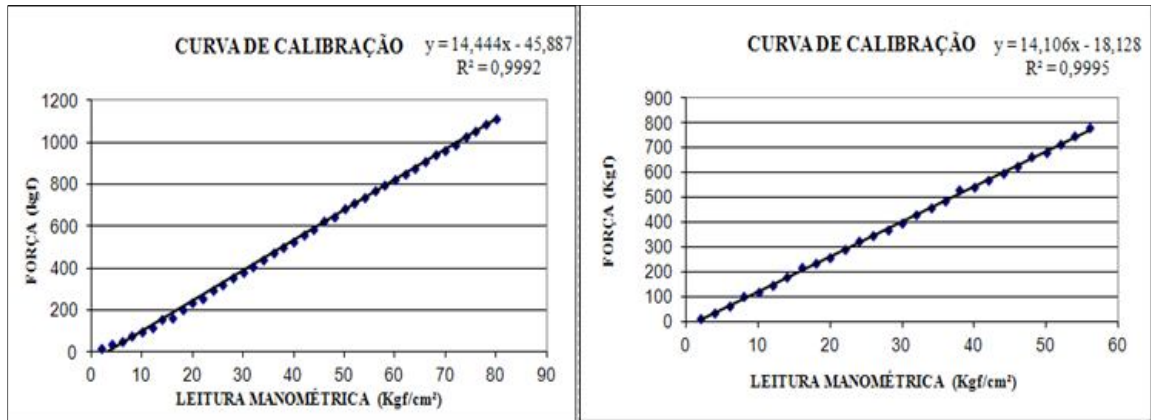


Figura 22: Curvas de calibração que relacionam leitura manométrica com a resistência à força aplicada.

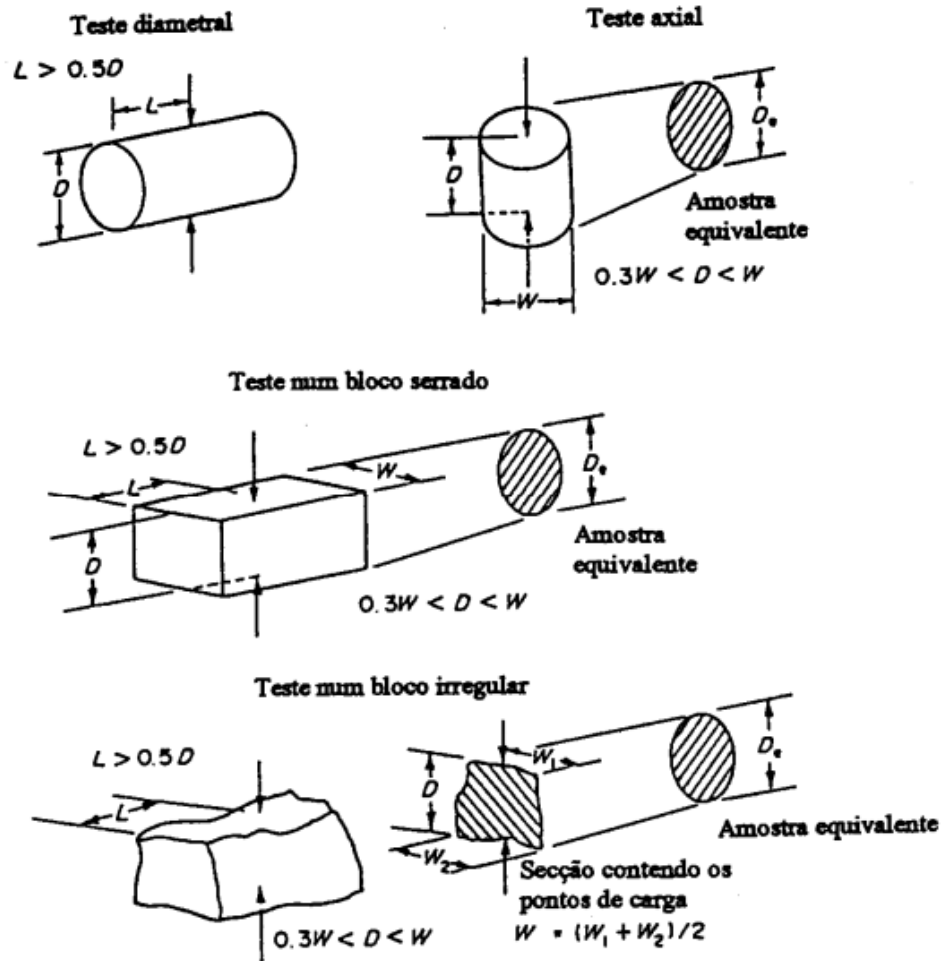


Figura 23: Relação de dimensões dos corpos de provas para satisfazer os ensaios de carga pontual (ISRM, 1981).

É importante lembrar ainda que no caso de amostras anisotrópicas, a resistência à compressão pontual varia em relação a direção de carregamento no ensaio que está sendo realizado. No entanto, no estudo em questão, tanto as amostras de granito quanto as de charnockito não apresentam anisotropia intrínseca evidente, dada pela presença de foliações, lineações ou orientações minerais de quaisquer naturezas. Ainda assim, com o intuito de se evitar efeitos de anisotropia sobre os resultados, todos os carregamentos foram aplicados perpendicularmente à superfície polida dos corpos de prova. Esta superfície, existente em toda a chapa coletada na marmoraria, serviu como guia para garantir que os carregamentos fossem aplicados sempre na mesma direção.

4. RESULTADOS

4.1. Descrição Mineralógica

As amostras de charnockito foram descritas por Teixeira, 2009. Essa rocha consiste em uma rocha fanerítica inequigranular porfirítica (Figura 24), com minerais predominantemente xenomórficos e de granulação grossa. Mineralogicamente é constituída de ortoclásio, plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita e hornblenda e apresenta pequenas quantidades de apatita e zircão. Os feldspatos encontram-se alterados para sericita e os piroxênios mostram-se alterados para clorita e um mineral de cor alaranjada não identificado. Os cristais de ortoclásio apresentam-se com grandes dimensões (>10 mm) e, entre eles, ocorrem aglomerações de todos os outros minerais encontrados na lâmina. Esta rocha é incluída na série charnockítica e classificada como quartzo-sienito a quartzo-monzonito de acordo com Streckeisen, 1976 e LeMaitre, 1989. Os minerais apresentavam-se com fraturas intergranulares e intragranulares, estando as fraturas preenchidas por sericita.

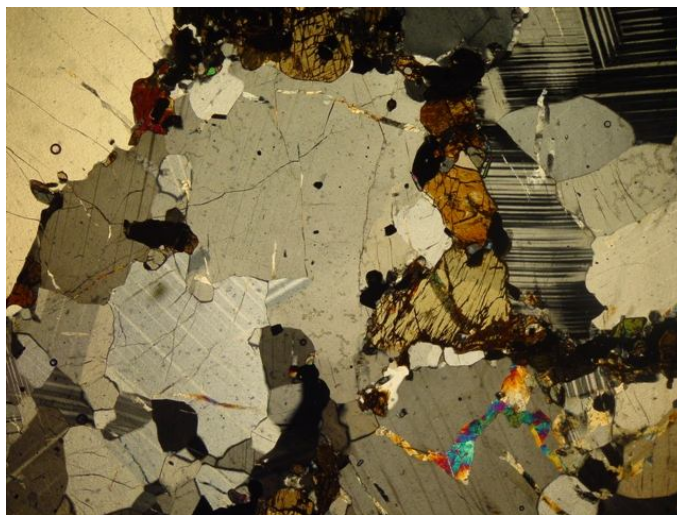


Figura 24: Lâmina de charnockito antes dos ensaios de ciclagem salina/térmico

As amostras de granito mostram que esta também é uma rocha fanerítica inequigranular porfírica (Figura 25). Sua composição mineralógica é formada por ortoclásio, quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita e pequenas quantidades de minerais opacos e zircão. O ortoclásio, mineral predominante na rocha, apresenta granulometria variando de 0,5 a 4,6 mm e o quartzo de 0,3 a 2,3 mm. Os feldspatos encontram-se alterados para sericita. Com relação as fraturas, é possível observar fraturas intergranulares e intragranulares, essas últimas estando preenchidas por muscovita. De acordo com Streckeisen, 1976 e LeMaitre, 1989, essa rocha pode ser classificada, portanto, como um monzogranito.

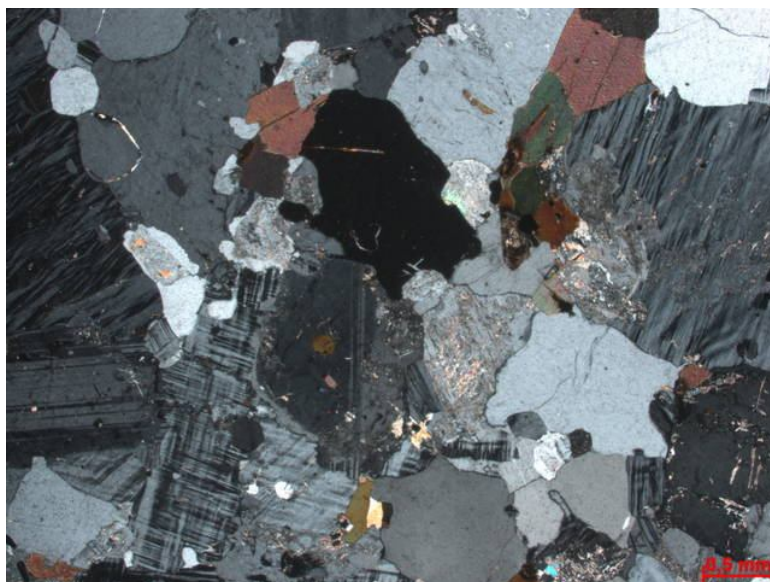


Figura 25: Lâmina de monzo-granito antes dos ensaios de ciclagem salina/térmico.

4.2. Lâminas petrográficas para verificação da evolução das fraturas

Foram confeccionadas lâminas petrográficas para as amostras dos charnockitos para diversos ciclos, tanto para as amostras submetidas à ciclagem em água quanto para as amostras submetidas à ciclagem em solução salina, cujo objetivo principal era avaliar a evolução das fraturas durante o intemperismo acelerado a que as rochas foram submetidas.

As imagens da Figura 26 e da Figura 27 mostram as lâminas de charnockito antes de serem submetidas a qualquer ensaio. É possível observar então que essas já apresentavam-se bastante microfraturadas (fraturas intragranulares), tanto nos feldspatos quanto nos piroxênios e anfibólios, sendo que nos feldspatos essas fraturas apresentavam-se bem abertas e preenchidas por sericita .

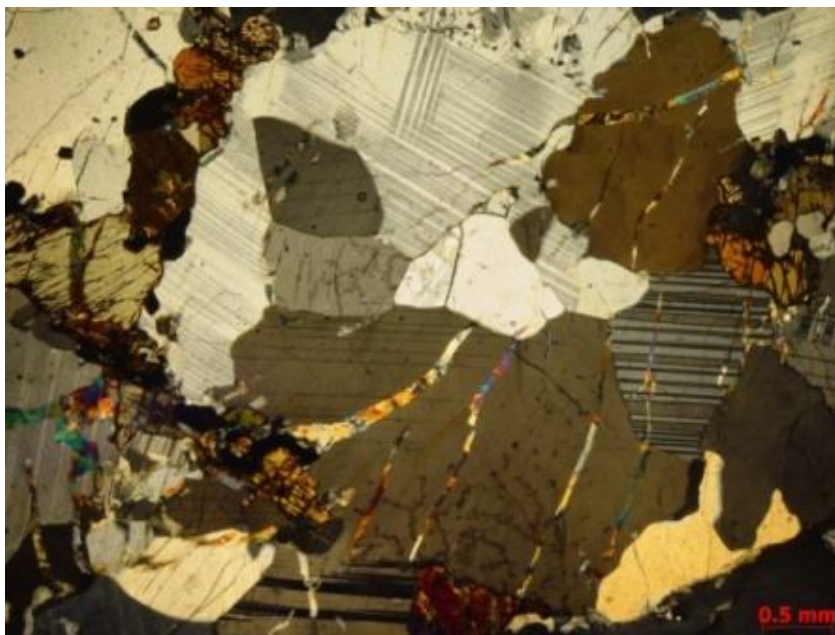


Figura 26: Lâmina do charnockito inicial (nicóis cruzados). Notar o elevado número de fraturas presentes.

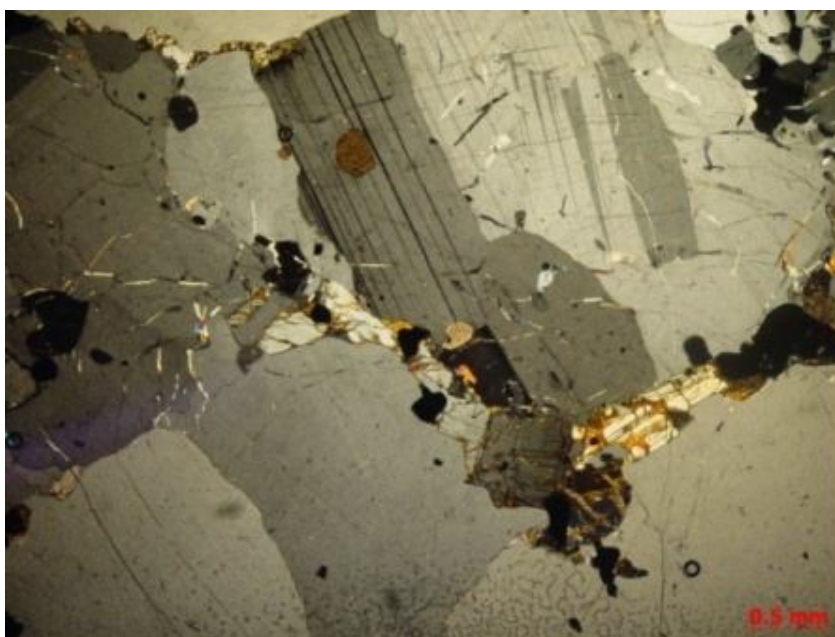


Figura 27: Lâmina do charnockito inicial (nicóis cruzados).

Continuando o estudo da evolução dessas fraturas de acordo com o número de ciclagens, podemos observar as lâminas de amostras submetidas à ciclagem em água para 10 ciclos (Figura 28 e Figura 29), 30 ciclos (Figura 30) e 40 ciclos (Figura 31). Nas figuras da amostra que foi submetida a 10 ciclos em água, não é possível observar nenhuma mudança significativa de aumento de fraturas, aparentemente existem até menos do que nas rochas iniciais. Dessa forma, acredita-se que um pequeno número de ciclos realizados em água não é capaz de variar significativamente as fraturas. Já para a amostra que foi submetida a 30 ciclos, já é possível observar a presença de mais fraturas, fraturas essas que apresentam maior continuidade, chegando a ser contínuas entre mais de um grão (transgranulares). Essas fraturas podem ser observadas tanto nos feldspatos como também nos piroxênios e anfibólios.

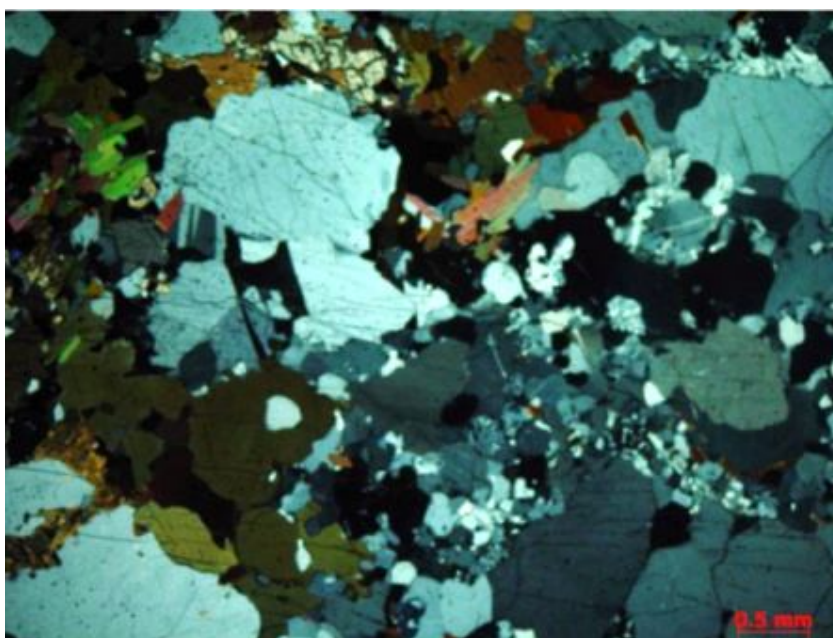


Figura 28: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em água após 10 ciclos (nicóis cruzados).

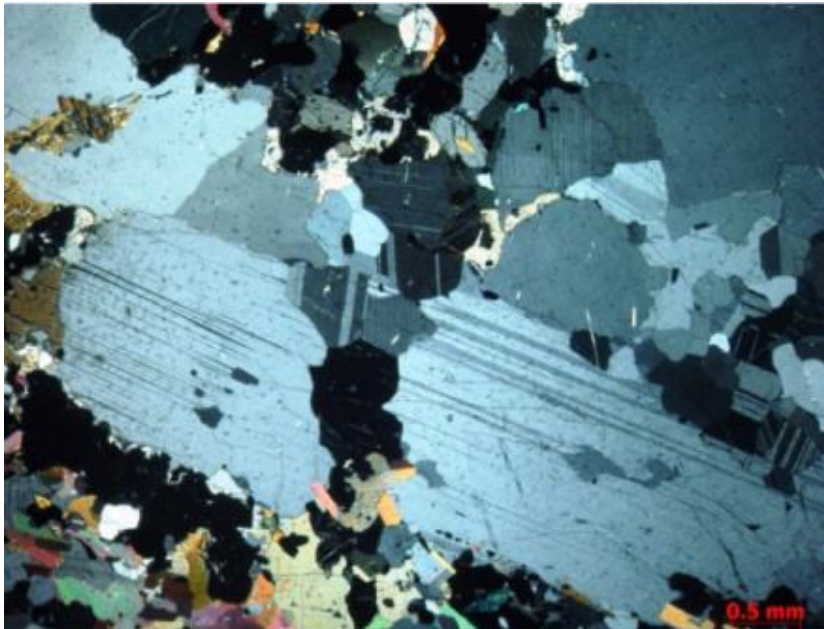


Figura 29: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em água após 10 ciclos (nicóis cruzados).

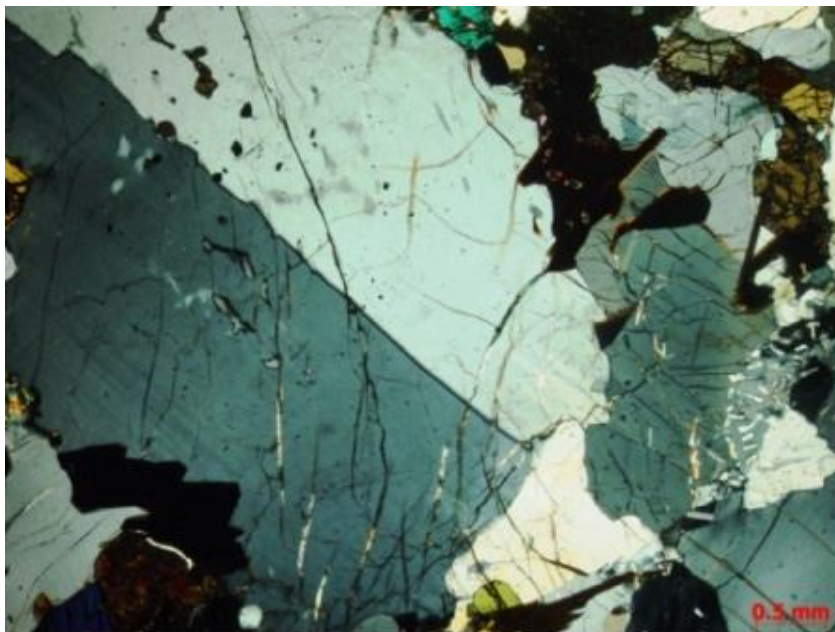


Figura 30: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em água após 30 ciclos) (nicóis cruzados).

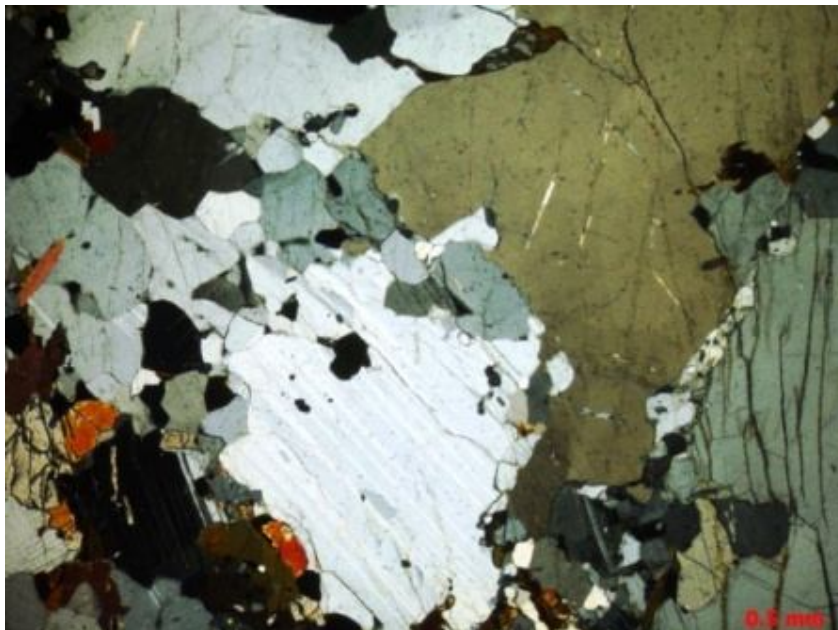


Figura 31: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em água após 40 ciclos (nicóis cruzados).

Já para as amostras que sofreram ciclagem em sal, ilustra-se o caso para 40 ciclos (Figura 32 e Figura 33). Nesse caso, podemos observar que a densidade de fraturas presentes é bem maior, e que além disso, essas encontram-se mais espessas e com preenchimento.

Esse resultado comprova o que foi observado nos ensaios de porosidade e resistência. A ciclagem das amostras é capaz de gerar porosidade e diminuir a resistência devido a esse aumento na densidade de fraturas. Além disso, somente o efeito térmico já traz esse dano à rocha, conforme visto nas amostras cuja ciclagem foi feita em água, porém a pressão de cristalização de sais potencializa esse efeito, gerando mais porosidade devido à propagação das fraturas pré-existentes e consequentemente diminuindo mais ainda a resistência das rochas.

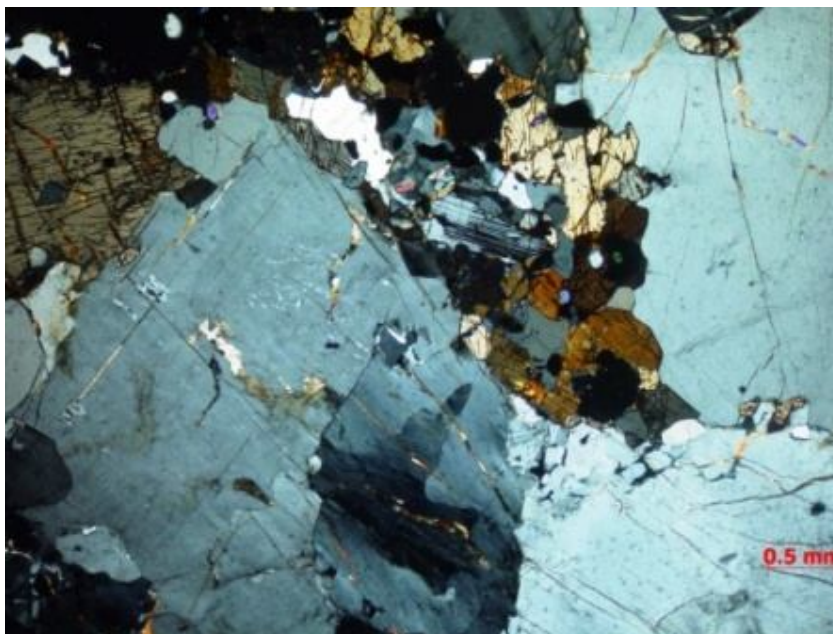


Figura 32: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em sal após 40 ciclos (nicóis cruzados).



Figura 33: Lâmina do charnockito submetido à ciclagem em sal após 40 ciclos (nicóis cruzados).

No entanto, apesar das fissuras apresentarem grande influência na alterabilidade das rochas, acredita-se que o dano causado por esta seja inferior ao causado pela cristalização em poros esféricos, visto que nesta última a pressão de

cristalização é maior que em poros com formatos alongados (Benavente *et al.*, 2007).

Considerando a classificação proposta por Angeli *et al.*, 2007 que determina que a alteração das rochas pode ocorrer de forma homogênea, heterogênea ou anisotrópica, as amostras de charnockito e granito englobam-se na alteração heterogênea. Essa classificação foi feita com base no aspecto visual visto que a alteração parece ocorrer da mesma forma em todas as faces das amostras, sem aproveitamento de feições de fraquezas. Além disso, o intemperismo observado se concentra principalmente nas regiões de bordas e quinas dos minerais.

4.3. Condutividade Elétrica

A retirada de sal em banho-maria foi realizada para as amostras de granito para o 10º, 20º, 30º, 40º e 70º ciclos. Com as medidas de condutividade elétrica foram construídos gráficos de condutividade elétrica x tempo (Figura 34). Nestes é possível notar que quanto maior o número de ciclos a que as amostras foram submetidas, maior a condutividade inicial da solução, indicando que com o aumento do número de ciclos, maior é a presença de sal saturando as rochas. Esse fato deve estar relacionado com o aumento do volume de vazios na rocha que permite que maior quantidade de sal preencha os poros

A condutividade elétrica medida em amostras em estado natural, ou seja, que não foram submetidas a nenhuma ciclagem, alcança valores em torno de 10uS/cm. Acredita-se que este valor não nulo deva estar relacionado com a liberação de cátions de minerais alterados, principalmente sódio e potássio dos plagioclásios e k-feldspatos, respectivamente. Dessa forma, durante o processo de submersão das amostras em banho-maria, para a retirada do sal, os valores de condutividade elétrica inferiores a 10uS/cm medidos na água, na qual os corpos de prova foram submersos, foram considerados como indicativo da retirada no NaCl introduzido nas amostras durante o processo de ciclagem.

A retirada de sal das amostras só foi realizada para os granitos devido à ausência de amostras de charnockitos suficientes para tal estudo. Essas amostras de granito foram posteriormente utilizadas para medidas de porosidade e resistência conforme será descrito nos itens a seguir.

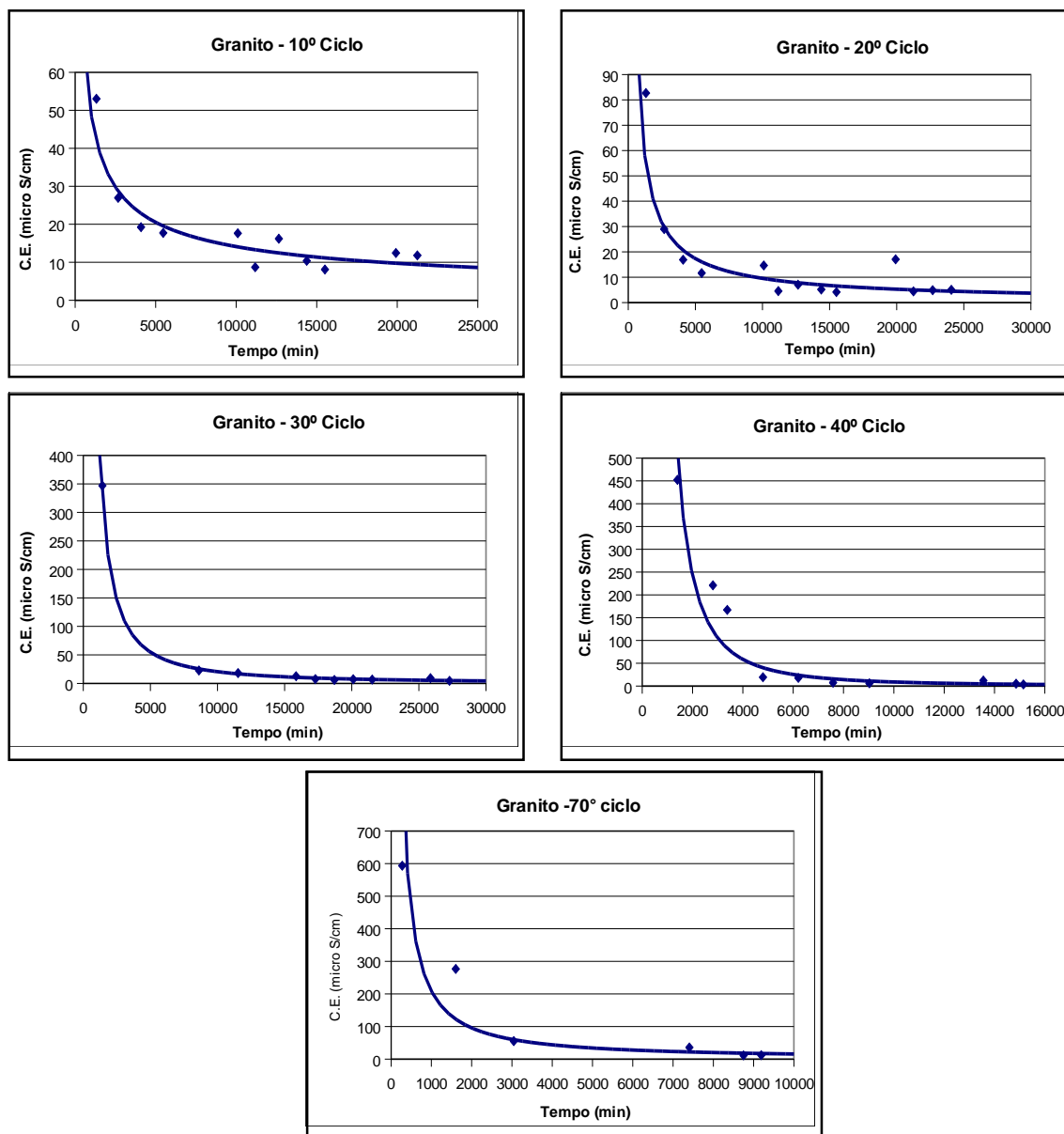


Figura 34: Gráficos de condutividade elétrica x tempo para diferentes ciclos do granito.

4.4. Porosidade

A porosidade é considerada uma propriedade indicativa do grau de alteração da rocha, portanto funciona como um índice de qualidade para rochas com porosidades iniciais muito baixas. Dessa forma, foram feitas medidas de porosidade para os charnockitos e granitos submetidos à ciclagem em água e solução salina para cada 10 ciclos. Os dados de porosidade para os charnockitos e granitos são apresentados nas tabelas presentes nos anexos A a G. Nas tabelas 2 e 3 podem ser vistos os valores médios das propriedades petrofísicas das amostras submetidas à ciclagem em água e em solução de NaCl respectivamente.

Tabela 2: Valores médios de propriedades petrofísicas para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em água.

CICLO	Teor de umidade na saturação(%)	Porosidade(%)	Peso esp. Aparent. Seco
INICIAL	0,27	0,73	2,7
10	0,28	0,76	2,72
20	0,25	0,67	2,71
30	0,25	0,69	2,72
40	0,34	0,92	2,73

Tabela 3: Valores médios de propriedades petrofísicas para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em solução de NaCl.

CICLO	Teor de umidade na saturação(%)	Porosidade(%)	Peso esp. Aparent. Seco
INICIAL	0,27	0,73	2,7
10	0,29	0,78	2,72
20	0,32	0,88	2,72
30	0,40	1,08	2,71
40	0,51	1,35	2,67

Para determinação do grau de alteração relacionado ao intemperismo associado a cristalização de sais, calculou-se a porosidade normalizada, que conforme mostra a equação 8, consiste na razão do valor de porosidade das amostras após determinado número de ciclos e da porosidade média inicial. Com esses valores foram construídos gráficos cujo objetivo principal era observar o

comportamento da porosidade com o aumento do número de ciclos. Dessa forma temos que se η_{norm} é 1, não há alteração na porosidade, se η_{norm} é maior que 1, houve aumento da porosidade e se η_{norm} é menor que 1, houve uma diminuição da porosidade, provavelmente relacionada à cristalização do NaCl dentro dos poros.

$$\eta_{norm} = \frac{\eta_{xciclos}}{\eta_{inicial}} \quad (8)$$

Onde:

η_{norm} – porosidade normalizada.

$\eta_{xciclos}$ – porosidade após determinado número de ciclos.

$\eta_{inicial}$ – porosidade inicial média das amostras.

A Figura 35 mostra a variação de porosidade normalizada para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem com água e para a ciclagem com sal. Os pontos em azul representam as porosidades normalizadas para cada amostra e os pontos em roxo os valores médios de porosidade normalizada para cada ciclo. Podemos observar que conforme aumenta o número de ciclos há uma tendência de aumento de porosidade, e que esse aumento ocorre de maneira bem mais pronunciada para a ciclagem em sal quando comparada com a ciclagem água-estufa. Essa tendência pode ser considerada, portanto, uma velocidade de alteração da rocha.

Dessa forma, podemos dizer, que não somente a cristalização de sais é capaz de alterar a rocha, mas também o efeito térmico, efeito este que as rochas de cantaria, os enrocamentos e mesmo os afloramentos, estão sujeitos no dia a dia. Com isso podemos dizer que, uma parcela das degradações observadas nas simulações experimentais com solução salina são devidas ao efeito térmico presente no procedimento de submersão na solução com posterior secagem na estufa.

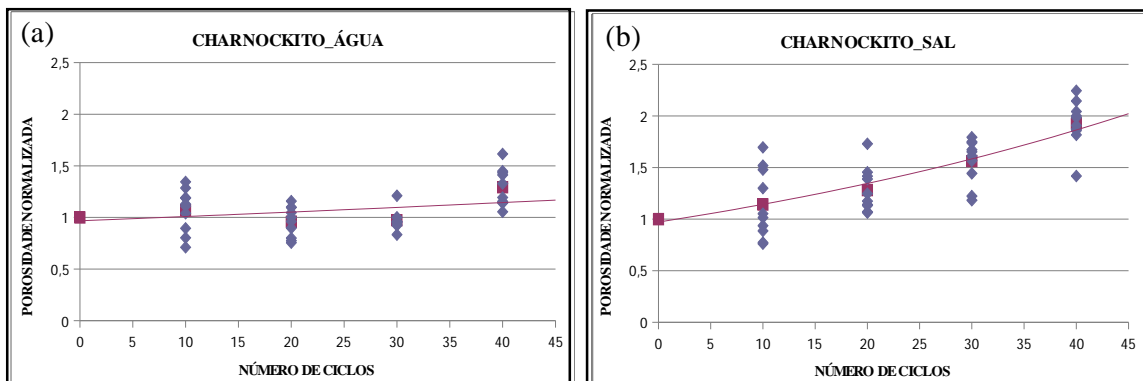


Figura 35: Variação da porosidade normalizada para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem com (a) água e (b) sal.

Análise similar foi feita para as amostras de granito, porém neste caso tem-se três grupos de amostras, as que foram submetidas a ciclagem em água-estufa, as que foram submetidas a ciclagem solução salina-estufa estando ainda o sal saturando os poros e as que foram submetidas à ciclagem solução salina-estufa, com o sal sendo removido dos poros. Nas tabelas 4, 5 e 6 podem ser vistos os valores médios das propriedades petrofísicas das amostras submetidas à ciclagem em água e em solução de NaCl com retirada do sal dos poros e em solução de NaCl sem retirada do sal dos poros, respectivamente.

Os resultados podem ser vistos nos gráficos da Figura 36, onde os pontos em azul representam as porosidades normalizadas para cada amostra e os pontos em roxo os valores médios de porosidade normalizada para cada ciclo. Assim como no caso dos charnockitos é observado o aumento da porosidade com o aumento do número de ciclos e esse aumento é maior nas amostras submetidas a ciclagem em sal do que nas amostras submetidas a ciclagem em água.

Nesse caso, análise adicional foi feita para o caso das amostras submetidas a ciclagem em sal, que uma parte teve esse sal removido e a outra não. Nota-se que as amostras que tiveram o sal removido apresentam porosidades superiores às amostras que não tiveram, pois para essas últimas uma parte desse sal ainda preenche os poros.

Tabela 4: Valores médios de propriedades petrofísicas para as amostras de granito submetidas à ciclagem em solução de água.

CICLO	Teor de umidade na saturação (%)	Porosidade (%)	Peso específico aparente seco
0	0,33	0,88	2,65
10	0,43	1,15	2,71
20	0,39	1,06	2,71
30	0,64	1,72	2,69
40	0,51	1,39	2,70
50	0,53	1,44	2,71
60	0,56	1,49	2,69
70	0,62	1,67	2,68

Tabela 5: Valores médios de propriedades petrofísicas para as amostras de granito submetidas à ciclagem em solução de água, com retirada do sal dos poros através do ensaio de condutividade elétrica.

CICLO	Teor de umidade na saturação (%)	Porosidade (%)	Peso específico aparente seco
0	0,33	0,88	2,65
10	0,47	1,28	2,69
20	0,44	1,19	2,69
30	0,53	1,43	2,69
40	0,59	1,57	2,68
50	-	-	-
60	-	-	-
70	1,04	2,75	2,66

Tabela 6: Valores médios de propriedades petrofísicas para as amostras de granito submetidas à ciclagem em solução de água, sem retirada do sal dos poros através do ensaio de condutividade elétrica.

CICLO	Teor de umidade na saturação (%)	Porosidade (%)	Peso específico aparente seco
0	0,33	0,88	2,65
10	0,57	1,54	2,69
20	0,58	1,56	2,68
30	0,70	1,86	2,67
40	0,67	1,79	2,68
50	-	-	-
60	-	-	-
70	0,98	2,59	2,66

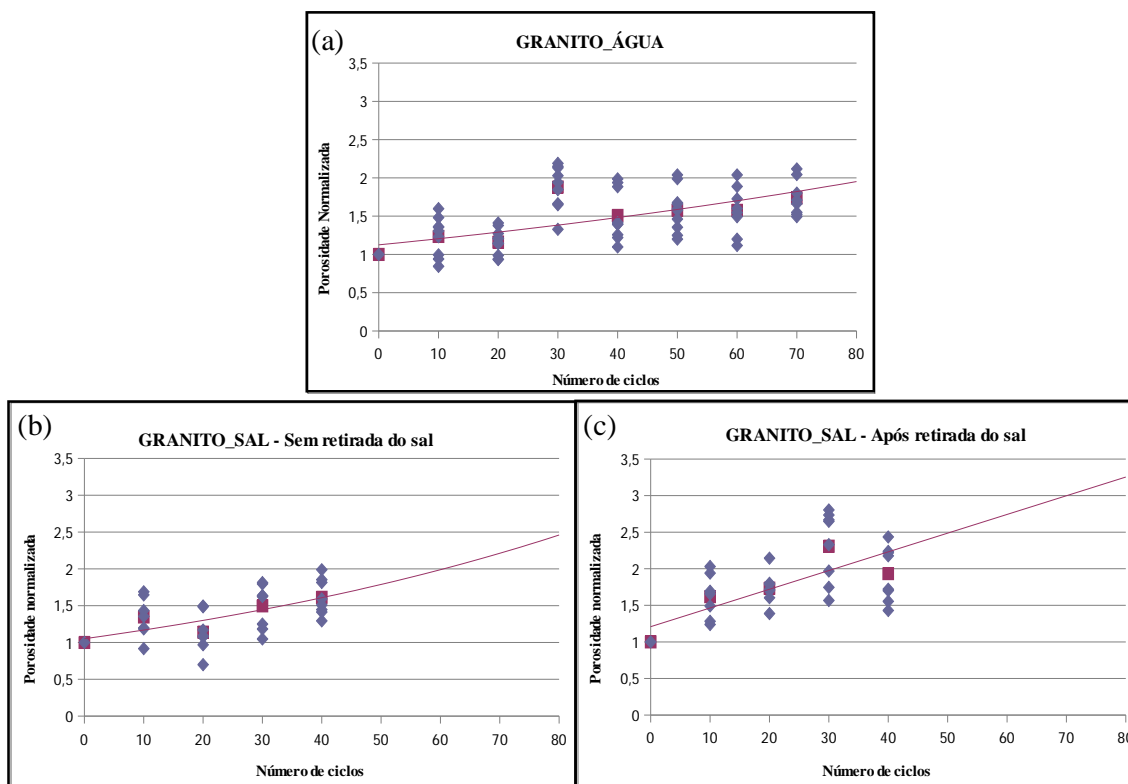


Figura 36: Variação da porosidade normalizada para as amostras de granito submetidas a ciclagem com (a) água ; (b) sal sem retirada e (c) sal com retirada

Com base nesses resultados podemos comprovar que tanto a ciclagem térmica com água quanto com sal são capazes de alterar a rocha, aumentando a porosidade desta, provavelmente devido à propagação de fraturas, fato este que foi comprovado através da análise de lâminas petrográficas.

A medida de porosidade é portanto uma medida útil para avaliar a susceptibilidade da rocha a alteração devido ao intemperismo salino, sendo que as inclinações dos trechos da curva de porosidade normalizada por tempo pode ser utilizada como uma medida de velocidade de alteração.

4.5. Resistência à compressão pontual

A medida de resistência da rocha é outra propriedade indicativa do grau de alteração das rochas, uma vez que o processo de alteração leva ao aumento do

volume de vazios e por consequência a redução da resistência. Assim como feito com o ensaio de porosidade, após os ensaios de ciclagem, foram feitos ensaios de resistência à compressão pontual para as amostras de charnockito e granito buscando avaliar a perda de resistência ao longo dos ciclos. Posteriormente foram calculadas as resistências normalizadas, ou seja, a razão da resistência da amostra e da resistência média das amostras do ciclo inicial. Todos esses resultados foram analisados em forma de gráficos conforme será visto a seguir. As tabelas com os dados medidos podem ser observadas nos anexos H a L.

A Tabela 7 apresenta a comparação entre os valores médios de resistência a compressão pontual para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em água e em sal. Na Figura 37.a e Figura 37.b podem ser vistos os resultados dos ensaios de resistência das amostras de charnockito submetidas à ciclagem em água e em solução de NaCl. Os pontos em azul representam os valores de resistência para cada amostra e os pontos em vermelho e os valores médios de resistência para cada ciclo. Nesta é possível notar que inicialmente, os grupos de amostras apresentavam a mesma média de resistência, em torno de 4-5 MPa e que com o aumento do número de ciclos, tanto as amostras submetidas à ciclagem em água quanto as amostras submetidas à ciclagem em sal apresentam perda de resistência, sendo que neste último grupo a perda de resistência é bem mais expressiva. Isso pode ser bem evidenciado ao compararmos os valores de resistência no ciclo 30, que para as amostras submetidas a ciclagem com água, apresentam média de resistência de 3 MPa enquanto nas submetidas a ciclagem em sal apresentam média de resistência de 0,6 MPa.

Tabela 7: Comparação entre os valores de resistência médios para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em sal e em água.

CICLO	Resistência Is(50)(MPa)	
	NaCl	Água
INICIAL	4,07	4,20
3	3,57	3,76
10	1,99	2,61
20	1,09	3,04
30	0,69	2,92
40	-	2,75

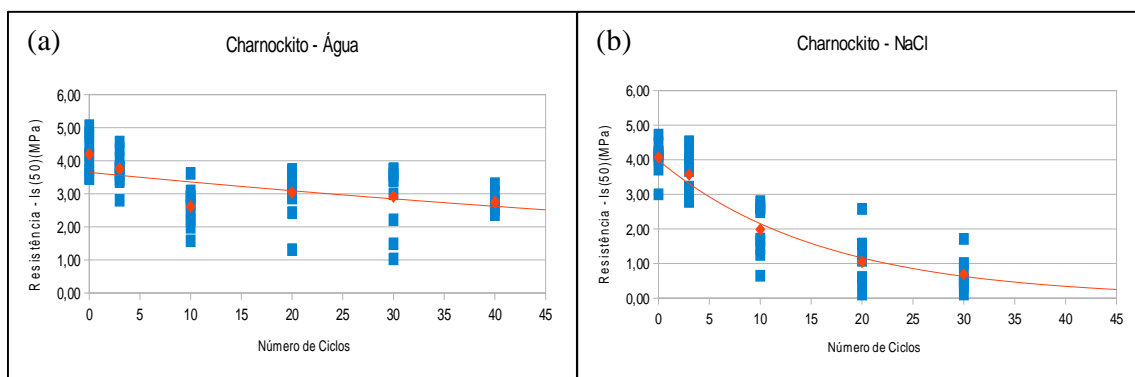


Figura 37: Variação da resistência à compressão pontual para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem com (a) água e (b) sal.

A Tabela 8 mostra a comparação entre os valores de resistência normalizada médios para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em sal e em água. Na próxima figura (Figura 38) estão os valores de resistência normalizada para cada amostra de charnockito nos diferentes ciclos. Assim como na figura anterior (Figura 37) é possível notar a perda de resistência de todas as amostras com o aumento do número de ciclos, sendo que nesta pode-se ter uma ideia de forma percentual. Para as amostras submetidas a ciclagem em água temos uma perda média de resistência de 20% para 30 ciclos, já para as amostras submetidas a ciclagem em solução de NaCl, para o mesmo número de ciclos essa perda chega a mais de 70%.

Dessa forma, pode-se afirmar que o intemperismo salino gera grandes danos ao Charnockito, tanto pelo efeito térmico, como foi observado no primeiro grupo de amostras, quanto para o segundo grupo de amostras que teve o efeito da pressão de cristalização de sais associado.

Tabela 8: Comparação entre os valores de resistência normalizada média para as amostras de charnockito submetidas à ciclagem em sal e em água.

CICLO	Resistência Is(50)(MPa)	
	NaCl	Água
INICIAL	1,00	1,00
3	0,88	0,92
10	0,49	0,64
20	0,27	0,75
30	0,17	0,72
40	-	0,68

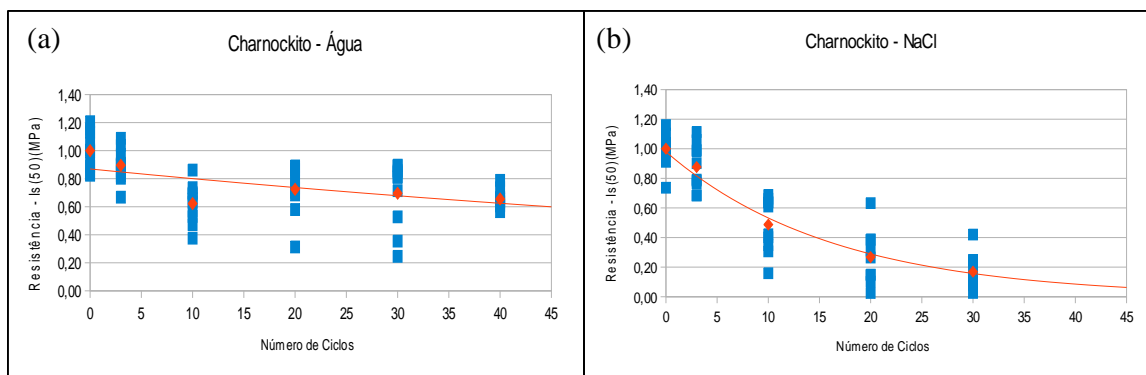


Figura 38: Variação da resistência à compressão pontual normalizada para as amostras de charnockito submetidas a ciclagem com (a) água e (b) sal.

De maneira análoga ao que foi realizado para o charnockito, foram feitos os ensaios com as amostras granito, no entanto, nesse caso tem-se um novo grupo de amostras, onde foi feita a retirada do sal, previamente aos ensaios de compressão pontual, com o acompanhamento dos valores de condutividade elétrica. Esse grupo de amostras teve como objetivo verificar se há contribuição do sal presente nas fissuras para a resistência das amostras, devido a algum efeito coesivo. As tabelas 4 e 5 mostram os valores de resistência e resistência normalizada para as amostras de granito submetidas à ciclagem em água e em sal.

A Figura 39 mostra a variação da resistência para as amostras de granito para cada ciclo. O primeiro aspecto que podemos notar nesta figura é que a resistência inicial das rochas já apresenta valores médios próximos a 4-5 MPa, valores estes semelhantes ao dos charnockitos. Assim como notado no caso dos charnockitos, também conseguimos observar que a resistência das rochas cai com o aumento do número de ciclos quando as amostras são submetidas à ciclagem em solução salina. Já nas amostras cuja ciclagem foi feita em água, apesar de variações de resistência para cada amostra, vemos que na média a perda de resistência não é observada, estando em torno dos mesmos 5 MPa ao longo dos 70 ciclos. Comparando as amostras com ciclagem em solução salina, com e sem a retirada do sal dos poros, aparentemente temos a impressão que as amostras cujo sal foi retirado dos poros apresentam resistências médias superiores do que as que o sal não foi retirado, logo, o sal não estaria ajudando com o efeito coesivo. Estudos complementares teriam que ser realizados para confirmar tal fato.

Nos gráficos de resistência normalizada para as amostras de granito (Figura 40) podemos comparar melhor os efeitos relacionados a presença ou não do sal nos poros dos granitos. Nota-se que para 40 ciclos, a perda de resistência do granito com a presença do sal chega a 25% já com os poros vazios fica em torno de 20%. Para as amostras cujo sal não foi retirado dos poros vemos que a perda de resistência é menor nos granitos que nos charnockitos, resultado que está em acordo com o que foi observado no aumento da porosidade que é maior nos charnockitos que nos granitos.

Tabela 9: Comparação entre os valores de resistência médios para as amostras de granito submetidas a ciclagem em sal e em água.

CICLO	Resistência Is(50)(MPa)		
	NaCl sem retirada	NaCl com retirada	Água
INICIAL	4,72	4,72	5,34
10	3,62	4,39	5,02
20	3,32	3,69	4,77
30	3,52	3,73	4,86
40	3,16	3,68	4,95
50	-	-	4,89
60	-	-	5,07
70	2,47	-	5,26

Tabela 10: Comparação entre os valores de resistência normalizada média para as amostras de granito submetidas a ciclagem em sal e em água.

CICLO	Resistência Is(50)(MPa)		
	NaCl sem retirada	NaCl com retirada	Água
INICIAL	1	1	1
10	0,77	0,93	0,94
20	0,70	0,78	0,89
30	0,75	0,79	0,91
40	0,67	0,78	0,93
50	-	-	0,92
60	-	-	0,95
70	0,52	-	0,99

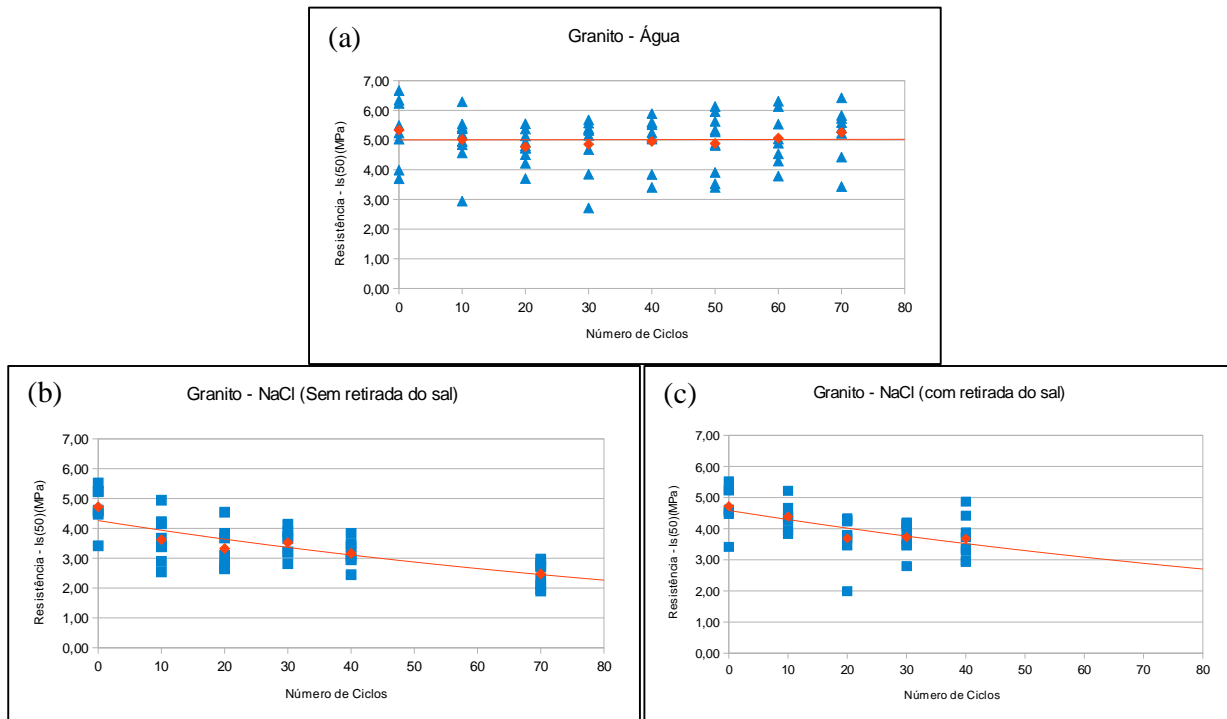


Figura 39: Variação da resistência à compressão pontual para as amostras de granito submetidas à ciclagem com (a) água ; (b) sal sem retirada e (c) sal com retirada.

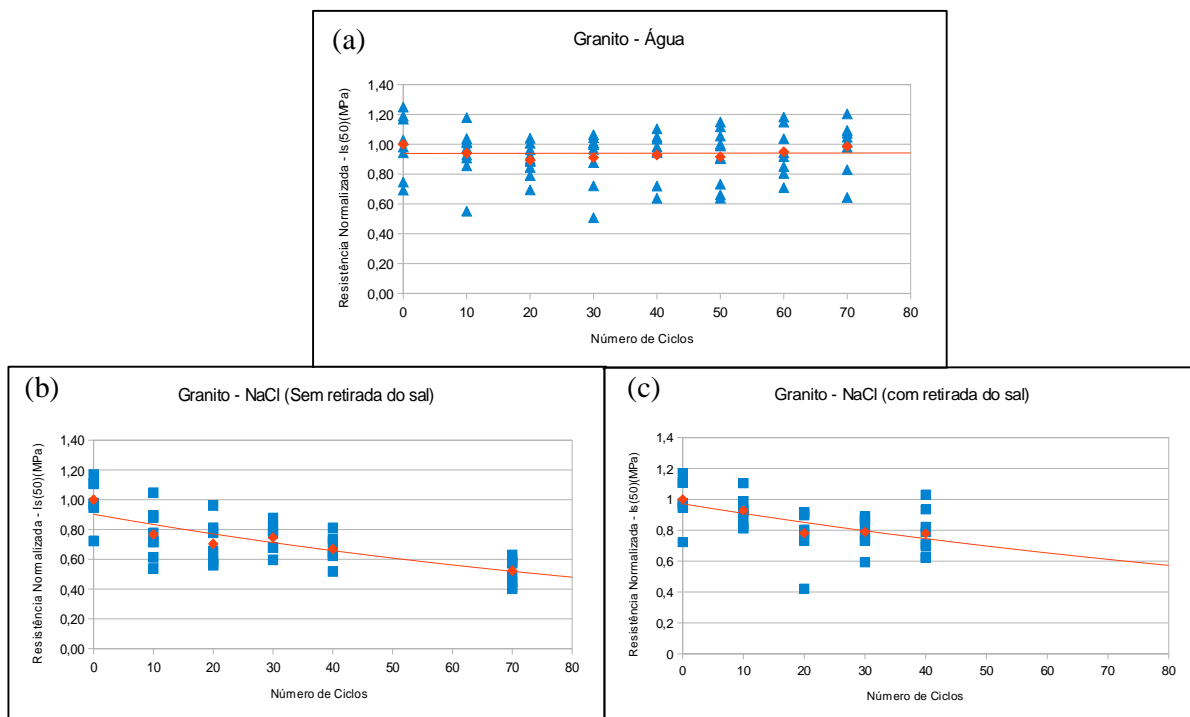


Figura 40: Variação da resistência à compressão pontual normalizada para as amostras de granito submetidas a ciclagem com (a) água ; (b) sal sem retirada e (c) sal com retirada.

Outro fato que chama a atenção é o comportamento da perda de resistência dessas rochas. Tanto no granito quanto no charnockito, quando as rochas foram submetidas à ciclagem em água, a perda de resistência apresenta um comportamento quase linear. Já para as amostras submetidas à ciclagem em sal, os charnockitos apresentaram um comportamento com decaimento exponencial bem marcado, já nas amostras de granito esse comportamento exponencial é observado de forma bem sutil.

Ressalta-se que assim como para os estudos de perda de porosidade, as curvas em vermelho podem ser interpretadas como uma velocidade de alteração dessas rochas, sendo a velocidade de alteração dos charnockitos superior a velocidade de alteração dos granitos. Um dos fatores que pode estar ocasionando isto é o fato dos charnockitos inicialmente já apresentar menores valores de resistência e até mesmo encontrar-se bastante fissurados, como será observado no tópico a seguir. Acredita-se então que a durabilidade das rochas afetadas pelo mecanismo de cristalização de sais diminui em rochas menos resistentes e com mais altas porosidades e densidades de fraturas.

5. CONCLUSÕES

Os ensaios de ciclagem das amostras simulando o intemperismo salino mostraram que este é um mecanismo que causa grandes danos na rocha e que este dano será dependente do tipo de rocha e das características porosas iniciais da mesma. A exposição das amostras a ciclos de submersão em água ou solução de NaCl e secagem em estufa claramente degradou as propriedades físico-mecânicas das rochas.

Uma análise dos resultados encontrados nas amostras de charnockito e granito mostram que:

- As amostras de charnockito inicialmente apresentavam-se bastante fraturadas, com valores de porosidade médios em torno de 2,70% e resistência em torno de 4-5 MPa.
- As amostras de granitos, apresentavam porosidade pouco inferiores, cerca de 2,65% e valores de resistência a compressão pontual de 5 MPa aproximadamente.
- Com a ciclagem das amostras ocorreu um aumento de porosidade em todos os grupos de amostras.
- Esse aumento de porosidade foi maior nas amostras de charnockito (aproximadamente 100%), aumento este associado à propagação de fraturas pré-existentes como foi observado nas lâminas e que teve como consequência uma maior perda de resistência da rocha. Nas amostras de granito esse aumento de porosidade foi menor, e conseqüentemente a perda de resistência também.
- Dessa forma, acredita-se que quanto maior o tamanho e densidade de fraturas pré-existentes, maiores serão os danos. Além disso, esses danos serão mais importantes se as fraturas entre os grãos apresentarem baixa coesão.
- É preciso encontrar uma forma de correlacionar a informação de alteração devido a ensaios que simulam o ambiente salino com o intemperismo a que as rochas de cantaria, enrocamentos e afloramentos sofrem.

- A perda de massa, apesar de ser o método mais utilizado para avaliação da alterabilidade da rocha, não é o mecanismo mais apropriado para tal, pois em estágios iniciais de alteração esta só irá ocorrer quando a pressão de cristalização exceder a coesão da rocha. No entanto, mesmo sem perda de massa ocorre degradação da rocha. Dessa forma, a complementação da avaliação do intemperismo como outras medidas, como por exemplo a medida de resistência faz-se necessária.
- Com os estudos realizados, conclui-se que entender o mecanismo de cristalização de sais nos poros e como este processo irá afetar as rochas utilizadas como material de construção é essencial para conservação dos patrimônios históricos e durabilidade de estruturas de engenharia (enrocamentos e concretos) em áreas costeiras.
- O intemperismo devido à cristalização de sais foi capaz de alterar as propriedades físico-mecânicas da rocha. No entanto, ressalta-se que esse efeito foi potencializado pela componente térmica presente nos ensaios de intemperismo acelerado.

6. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros sugere-se avaliar os efeitos térmicos devido à cristalização de sais comparando os resultados de ensaios de imersão salina total e imersão parcial, para avaliar o efeito da capilaridade no intemperismo salino.

Sugere-se também avaliar o efeito do intemperismo causado por outro sal e por combinações de sais, por exemplo o sulfato de sódio, outro sal presente em grande quantidade nos aerosóis marinhos e que apresenta maiores danos as rochas de acordo com o que é relatado na literatura.

Outra sugestão consiste em verificar através de ensaio de porosimetria se a distribuição dos tamanhos de vazios nas amostras na condição inicial e sua evolução de acordo com a ciclagem água e solução salina com posterior secagem em estufa.

Além disso, pode-se aumentar o número de ciclos para verificar se a porosidade se estabiliza, ou seja, se a partir de determinado número de ciclos a cristalização de sais não é mais capaz de aumentar os poros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, NBR 12766/92: Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente, Rio de Janeiro.

_____ **NBR 12696:** Agregados - Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa, Rio de Janeiro. 1992. 2 p.

AMOROSO, G. G. & FASSINA, V. Stone Decay and Conservation. Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. Amsterdam: Elsevier, 453 p. 1983.

ANGELI, M.; BIGAS, J. P.; BENAVENTE, D.; MENÉNDEZ, B., HÉBERT, R.; DAVID, C. Salt crystallization in pores: quantification and estimation of damage. *Environmental Geology*. 52. pag 205-213. 2007

AZEVEDO, I. C. D.; MARQUES, E. A. G. Introdução à Mecânica das Rochas. Caderno Didático 85 Ciências Exatas, Editora UFV, Viçosa, MG. 2002. 361 p.

BENAVENTE, D. ; CUETO, N. ; MARTÍNEZ-MARTINEZ, J.; GARCIA del CURA, M. A.; CAÑAVERAS, J. C. The influence of petrophysical of porous building rocks. . *Engineering Geology*. n.52 p. 215-224 . 2007

BENAVENTE, D. ; GARCIA del CURA, M. A.; BERNABÉU, A. ; ORDÓÑEZ, S. Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallisation in porous media of stone. *Journal of Crystal Growth* . n.204 p. 168-178 . 1999

BENAVENTE, D. ; GARCIA del CURA, M. A.; BERNABÉU, A. ; ORDÓÑEZ, S. Quantification of salt weathering in porous stones using an experimental continuous partial immersion method. *Engineering Geology*. n.59 p. 313-325 . 2001

BENAVENTE, D. ;MARTÍNEZ-MARTINEZ, J.; CUETO, N. ; GARCIA del CURA, M. A. Salt weathering in dual-porosity building dolostones. *Engineering Geology*. n.94 p. 215-226 . 2007

BENEDICTO, L. C. S. O Efeito da Cristalização de Sais Solúveis na Porosidade e Resistência de um Charnockito. 2011, 8f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHANG, R. Chemistry .Mcgraw-Hill. Quarta edição.1060 pp. 1991

CHAROLA, A. E. Salts in the deterioration of porous materials: An overview. *Journal of the American Institute for Conservation*. n.39 p 327-343. 2000

DANA, .E.S. & HURLBUT, C.S.(1976) – São Paulo: Manual de Mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora , S.A. , Reimpressão, 641 p.

DOCUCHAEV, V. V. In: VIEIRA, L.S. Ed. Manual da ciência do solo. Editora Agronômica, São Paulo. 1975.

DOEHNE, E. Salt weathering: a selective review. Geological Society, London, Special Publications, v.05. p.51-64. 2002

DUARTE, O. O., "Dicionário Enciclopédico Inglês-Português de Geofísica e Geologia", 3ª Ed., Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro. 2009

DRAGOVICH, D., EGAN, M. Salt weathering and experimental desalination treatment of building sandstone, Sydney (Australia). Environmental Earth Science. n.62. P 277-288. 2011

EVANS, I.S. Salt crystallization and rock weathering: a review. Revue de Geomorphologie Dynamique. n.19. Pag 153-177. 1970.

FARROCO, V. ; BRAUNS, R.; SILVEIRA, V.; BARROSO, E. O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria da Igreja do Outeiro da Glória- RJ. In: X Simpósio de Geologia do Sudeste, Diamantina, 2007. Resumo. Diamantina: UFMG, p.210.

FLATT, R. J. Salt Damage in porous materials: how high supersaturations are generated. Journal of Cryst Growth. n.242 . Pag 435-454. 2002

FRASCÁ, M.H.B.O. Durabilidade e alterabilidade em rochas ornamentais e para revestimento. Revista Rochas de Qualidade, nº. 180. pp. 178-188. 2005. In: SILVA, V. S. Alteração de rochas e a conservação do patrimônio arquitetônico: estudo de caso do pórtico da Igreja do Outeiro da Glória. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFRJ. 2007. 160p.

HENRIQUES, F.M.A.; RODRIGUES, J.D.; BARROS, L.A. & PROENÇA, N. Materiais Pétreos e Similares: Terminologias das formas de alteração e de degradação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 39 p. 2005.

ISRM, Rock characterization, testing and monitoring. Suggested methods. In.: BROWN, E. T. Ed. London, Pergamon Press. 211 p. 1981.

KUCHITSU, N., ISHIZAKI, T. ; NISHIURA, T. Salt weathering of the brick monuments in Ayutthaya, Thailand. Engineering Geology . 55 1999. pag 91–99

LE MAITRE R.W.A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford, Blackwell, 1989. 193 p.

LEVIN, S. The mechanism of masonry decay through crystallization. Proceedings of a Conference on Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments, Washington, National Academy of Sciences. Pag 120-140. 1982. In: MATSUKURA, Yukinori, OGUCHI, Chiaki T., KUCHITSU, Nobuaki. Salt damage to brick kiln walls in Japan: spatial and seasonal variation of efflorescence and moisture content. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 63 . pag 167-176. 2004

LUBELLI, B. ; HEES, R. P. J. Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *Journal of Cultural Heritage*. n.8. p 223-234. 2007

MARQUES, P. L. & GERALDO, A. Barragens e Reservatórios. In. OLIVEIRA, A. M. S & BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia da Terra*. Editora Oficina de Textos, p 397-418. 2007

MATSUKURA, Y., OGUCHI, C. T., KUCHITSU, N. Salt damage to brick kiln walls in Japan: spatial and seasonal variation of efflorescence and moisture content. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 63 . pag 167-176. 2004

MAY, E. & PAPIDA, S. Comparative studies of microbial communities on stone monuments in temperate and semi-arid climates. *In*. DOEHNE, Eric. *Salt weathering: a selective review*. Geological Society, London, Special Publications, v.05. p.51-64. 2002

MCCABE, S.; SMITH, B.J.; WARKE, P.A. Preliminary observations on the impact of complex stress histories on sandstone response to salt weathering: laboratory simulations of process combinations. *Environmental Geology*. 52. pag 251-258. 2007

MOHRIAK, W., SZATMARI, P. ANJOS, S.M.C. 2008. *Sal – Geologia e Tectônica. Exemplos das Bacias Brasileiras*. Petrobrás. Ed. Beca

OLIVEIRA, A.M.S ; BRITO, S.N.A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo. ABGE, 1998.

PAPIDA, S., MURPHY, W. et al. 2001. *In*. DOEHNE, Eric. *Salt weathering: a selective review*. Geological Society, London, Special Publications, v.05. p.51-64. 2002

RODRIGUEZ-NAVARRO, C. & DOEHNE, E. Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Process and Landforms*. 24. pag 191-209 . 1999 .

SALOMÃO, F.X.T. & ANTUNES, F.S. 1998. Solos. *In*: Oliveira & Brito (eds.). *Geologia de Engenharia*. ABGE.

SILVA, V. F. O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria através de análises químicas, físicas e mineralógicas: Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória. 2008, 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, V. S. Alteração de rochas e a conservação do patrimônio arquitetônico: estudo de caso do pórtico da Igreja do Outeiro da Glória. *Dissertação de Mestrado*, Departamento de Geologia, UFRJ. 2007. 160p

STRECKEINSEN, A.L. To each plutonic rock, its proper name. *Earth Science Review*, 1976 v. 12:1-33.

.SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Edgard Blücher. 400p. 2003.

TEIXEIRA, R. B. *Cristalização de sais solúveis e ataques químicos em rochas de cantaria: Efeitos mecânicos e estéticos*. 2009. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

THEOULAKIS, P.; MOROPOULOU, A. Salt Crystal Growth as weathering mechanism of porous stone on historic masonry. *Journal of Porous Materials*. 6. . 345-358. 1999

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. & MELFI, A.J. 2003. Intemperismo e formação dos solos. In. TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. Editora Oficina de Textos, p 139-166.

WÜST, R.A.J. ;SCHLÜCHTER, C. The origin of soluble salts in rocks of the Thebes Mountains Egypt: the Damage Potential to Ancient Egyptian Wall Art. *Journal of Archaeological Science*. n.27, p.1161-1172, 2000.

YAVUZ, A. B. ; TOPAL, T. Thermal and salt crystallization effects on marble deterioration: Examples from Western Anatolia, Turkey. *Engineering Geology* 90 2007. pag 30–40.

YU, S.; OGUCHI, C.T. Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and prediction salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology* 115. 2010. pag 226–236

ANEXO A – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS INICIAIS DO CHARNOCKITO

Amostras	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	Coefficiente de absorção (%)	Porosidade(%)	Peso esp. Aparent. Seco
1	83,49	83,74	52,58	0,30	0,80	2,68
2	63,62	63,81	40,06	0,30	0,80	2,68
3	61,35	61,56	38,57	0,34	0,91	2,67
4	84,18	84,43	53,04	0,30	0,80	2,68
5	82,71	82,94	52,20	0,28	0,75	2,69
6	83,83	84,06	52,84	0,27	0,74	2,69
7	84,00	84,23	52,88	0,27	0,73	2,68
8	93,55	93,80	59,06	0,27	0,72	2,69
9	95,76	96,00	60,37	0,25	0,67	2,69
10	86,99	87,22	56,12	0,26	0,74	2,80
11	62,81	62,98	39,62	0,27	0,73	2,69
12	84,94	85,21	53,92	0,32	0,86	2,71
13	95,86	96,09	60,22	0,24	0,64	2,67
14	80,98	81,20	50,82	0,27	0,72	2,67
15	89,99	90,26	56,57	0,30	0,80	2,67
16	84,55	84,79	53,72	0,28	0,77	2,72
17	87,81	88,14	55,42	0,38	1,01	2,68
18	95,15	95,39	59,95	0,25	0,68	2,68
19	85,07	85,31	53,49	0,28	0,75	2,67
20	66,68	66,88	41,97	0,30	0,80	2,68
21	83,88	84,07	53,61	0,23	0,62	2,75
22	72,63	72,84	45,74	0,29	0,77	2,68
23	98,80	99,08	62,35	0,28	0,76	2,69
24	69,70	69,95	44,06	0,36	0,97	2,69
25	68,58	68,79	43,41	0,31	0,83	2,70
26	69,57	69,76	43,69	0,27	0,73	2,67
27	86,72	86,97	54,45	0,29	0,77	2,67
28	85,24	85,54	53,97	0,35	0,95	2,70
29	90,25	90,54	57,41	0,32	0,88	2,72
30	71,05	71,27	44,74	0,31	0,83	2,68
31	66,76	66,99	42,06	0,34	0,92	2,68
32	102,02	102,31	64,08	0,28	0,76	2,67
33	83,51	83,73	52,88	0,26	0,71	2,71
34	85,10	85,39	54,19	0,34	0,93	2,73
35	86,50	86,79	55,07	0,34	0,91	2,73
36	81,11	81,35	51,52	0,30	0,80	2,72

37	93,31	93,62	59,30	0,33	0,90	2,72
38	65,38	65,59	40,99	0,32	0,85	2,66
39	90,77	91,07	57,59	0,33	0,90	2,71
40	91,13	91,40	57,29	0,30	0,79	2,67
41	74,71	74,91	46,88	0,27	0,71	2,67
42	69,60	69,79	43,92	0,27	0,73	2,69
43	62,26	62,45	39,30	0,31	0,82	2,69
44	61,85	62,02	38,84	0,27	0,73	2,67
45	82,79	83,00	53,07	0,25	0,70	2,77
46	90,67	91,00	57,64	0,36	0,99	2,72
47	77,15	77,35	48,77	0,26	0,70	2,70
48	91,35	91,60	57,64	0,27	0,74	2,69
49	85,73	86,00	54,46	0,31	0,86	2,72
50	88,22	88,52	56,21	0,34	0,93	2,73
51	81,79	81,98	52,35	0,23	0,64	2,76
52	82,01	82,30	51,89	0,35	0,95	2,70
53	76,11	76,32	47,78	0,28	0,74	2,67
54	65,39	65,54	41,10	0,23	0,61	2,68
55	82,09	82,34	52,00	0,30	0,82	2,71
56	68,71	68,91	43,10	0,29	0,77	2,66
57	81,96	82,17	51,59	0,26	0,69	2,68
58	68,53	68,73	43,21	0,29	0,78	2,69
59	83,77	84,05	52,94	0,33	0,90	2,69
60	82,57	82,79	51,81	0,27	0,71	2,67
61	95,27	95,50	59,79	0,24	0,64	2,67
62	57,50	57,67	36,55	0,30	0,80	2,72
63	76,57	76,76	48,86	0,25	0,68	2,74
64	87,02	87,28	54,84	0,30	0,80	2,68
65	80,43	80,64	50,88	0,26	0,71	2,70
66	81,52	81,73	51,51	0,26	0,69	2,70
67	90,99	91,31	57,25	0,35	0,94	2,67
68	76,32	76,54	48,10	0,29	0,77	2,68
69	83,45	83,67	52,48	0,26	0,71	2,68
70	63,18	63,36	40,01	0,28	0,77	2,71
71	94,72	94,75	59,51	0,03	0,09	2,69
72	65,84	66,01	41,53	0,26	0,69	2,69
73	104,08	104,33	65,40	0,24	0,64	2,67
74	70,60	70,80	44,77	0,28	0,77	2,71
75	82,06	82,28	51,95	0,27	0,73	2,71
76	91,61	91,87	57,96	0,28	0,77	2,70
77	66,73	66,88	42,05	0,22	0,60	2,69
78	84,23	84,47	52,91	0,28	0,76	2,67
79	82,89	83,13	52,44	0,29	0,78	2,70

80	76,68	76,92	48,23	0,31	0,84	2,67
81	92,32	92,56	58,06	0,26	0,70	2,68
82	83,95	84,19	52,78	0,29	0,76	2,67
83	81,67	81,88	51,65	0,26	0,69	2,70
84	67,36	67,57	42,65	0,31	0,84	2,70
85	80,14	80,36	50,65	0,27	0,74	2,70
86	73,22	73,39	46,06	0,23	0,62	2,68
87	89,01	89,22	56,24	0,24	0,64	2,70
88	76,02	76,24	49,12	0,29	0,81	2,80
89	87,17	87,40	55,00	0,26	0,71	2,69
90	78,21	78,46	49,23	0,32	0,86	2,68
91	73,34	73,51	46,04	0,23	0,62	2,67
92	86,38	86,61	54,42	0,27	0,71	2,68
93	73,99	74,21	47,86	0,30	0,83	2,81
94	79,51	79,72	49,88	0,26	0,70	2,66
95	77,52	77,73	49,04	0,27	0,73	2,70
96	94,14	94,36	59,32	0,23	0,63	2,69
97	94,35	94,57	59,35	0,23	0,62	2,68
98	85,81	86,04	54,13	0,27	0,72	2,69
99	84,00	84,24	53,08	0,29	0,77	2,70
100	70,80	70,97	44,54	0,24	0,64	2,68
101	80,27	80,47	50,45	0,25	0,67	2,67
102	103,44	103,74	65,48	0,29	0,78	2,70
103	99,70	99,95	64,31	0,25	0,70	2,80
104	75,33	75,52	47,44	0,25	0,68	2,68
105	85,94	86,19	54,30	0,29	0,78	2,69
106	75,15	75,35	47,33	0,27	0,71	2,68
107	91,55	91,79	57,84	0,26	0,71	2,70
108	84,70	84,92	53,63	0,26	0,70	2,71
109	77,80	77,99	48,75	0,24	0,65	2,66
110	85,14	85,41	54,17	0,32	0,86	2,73
111	89,09	89,34	56,33	0,28	0,76	2,70
112	98,78	99,05	62,22	0,27	0,73	2,68
113	105,49	105,79	66,45	0,28	0,76	2,68
114	86,05	86,28	54,82	0,27	0,73	2,74
115	84,49	84,73	53,25	0,28	0,76	2,68
116	78,75	79,01	50,08	0,33	0,90	2,72
117	70,74	70,90	44,43	0,23	0,60	2,67
118	79,94	80,25	50,38	0,39	1,04	2,68
119	88,81	89,04	55,92	0,26	0,69	2,68
120	68,60	68,77	43,09	0,25	0,66	2,67
121	89,55	89,84	57,41	0,32	0,89	2,76
122	79,44	79,64	50,10	0,25	0,68	2,69

123	81,21	81,42	51,11	0,26	0,69	2,68
124	94,36	94,58	59,57	0,23	0,63	2,70
125	88,10	88,35	55,66	0,28	0,76	2,70
126	65,80	65,97	41,35	0,26	0,69	2,67
127	90,59	90,88	57,13	0,32	0,86	2,68
128	84,42	84,64	53,44	0,26	0,71	2,71
129	75,46	75,66	47,43	0,27	0,71	2,67
130	77,39	77,63	49,69	0,31	0,86	2,77
131	87,04	87,26	54,93	0,25	0,68	2,69
132	80,60	80,82	50,73	0,27	0,73	2,68
133	82,32	82,53	52,76	0,26	0,71	2,77
134	82,25	82,44	51,61	0,23	0,62	2,67
135	79,69	79,92	50,39	0,29	0,78	2,70
136	85,69	85,91	53,78	0,26	0,68	2,67
137	97,71	97,97	61,39	0,27	0,71	2,67
138	74,21	74,42	46,91	0,28	0,76	2,70
139	88,65	88,87	55,80	0,25	0,67	2,68
140	82,91	83,14	52,01	0,28	0,74	2,66
141	92,12	92,37	58,23	0,27	0,73	2,70
142	73,79	73,96	46,21	0,23	0,61	2,66
143	73,04	73,20	46,33	0,22	0,60	2,72
144	74,45	74,59	46,93	0,19	0,51	2,69
145	91,93	92,13	58,44	0,22	0,59	2,73
146	70,01	70,17	46,06	0,23	0,66	2,90
147	71,79	71,92	45,42	0,18	0,49	2,71
148	86,35	86,59	55,68	0,28	0,78	2,79
149	81,79	81,97	52,73	0,22	0,62	2,80
150	90,52	90,72	57,03	0,22	0,59	2,69
151	94,30	94,51	59,49	0,22	0,60	2,69
152	80,85	81,05	50,76	0,25	0,66	2,67
153	85,04	85,20	53,38	0,19	0,50	2,67
154	86,15	86,33	54,12	0,21	0,56	2,67
155	93,23	93,47	59,20	0,26	0,70	2,72
156	80,99	81,17	51,52	0,22	0,61	2,73
157	89,22	89,42	56,26	0,22	0,60	2,69
158	74,48	74,70	47,18	0,30	0,80	2,71
159	82,00	82,20	51,75	0,24	0,66	2,69
160	84,94	85,13	54,60	0,22	0,62	2,78
161	96,12	96,33	60,56	0,22	0,59	2,69
162	86,86	87,07	56,20	0,24	0,68	2,81
163	79,41	79,59	51,64	0,23	0,64	2,84
164	78,80	78,98	50,59	0,23	0,63	2,78
165	81,23	81,42	52,03	0,23	0,65	2,76

166	84,25	84,54	53,03	0,34	0,92	2,67
167	87,13	87,33	55,09	0,23	0,62	2,70
168	80,71	80,92	51,26	0,26	0,71	2,72
169	93,87	94,09	59,16	0,23	0,63	2,69
170	83,59	83,76	53,31	0,20	0,56	2,75
171	91,52	91,70	58,36	0,20	0,54	2,75
172	78,82	79,01	50,63	0,24	0,67	2,78
173	84,19	84,38	53,90	0,23	0,62	2,76
174	72,92	73,07	45,93	0,21	0,55	2,69
175	81,20	81,39	52,73	0,23	0,66	2,83
176	61,23	61,38	38,57	0,24	0,66	2,68
177	84,32	84,47	53,75	0,18	0,49	2,74
178	93,14	93,38	58,28	0,26	0,68	2,65
179	82,39	82,54	52,33	0,18	0,50	2,73
180	69,09	69,32	44,50	0,33	0,93	2,78
181	90,57	90,76	57,56	0,21	0,57	2,73
182	93,30	93,59	60,01	0,31	0,86	2,78
183	73,33	73,53	47,32	0,27	0,76	2,80
184	68,53	68,86	43,18	0,48	1,29	2,67
185	89,71	89,90	57,53	0,21	0,59	2,77
186	95,14	95,36	59,79	0,23	0,62	2,67
187	75,24	75,39	46,05	0,20	0,51	2,56
188	81,72	81,90	52,24	0,22	0,61	2,76
189	88,65	88,87	55,81	0,25	0,67	2,68
190	83,11	83,30	52,26	0,23	0,61	2,68
191	78,29	78,47	50,02	0,23	0,63	2,75
192	62,44	62,65	39,29	0,34	0,90	2,67
193	77,38	77,60	51,20	0,28	0,83	2,93
194	85,86	86,08	54,08	0,26	0,69	2,68
195	89,29	89,48	55,97	0,21	0,57	2,66
196	80,61	80,74	51,58	0,16	0,45	2,76
197	97,39	97,62	61,35	0,24	0,63	2,69
198	87,80	88,00	55,43	0,23	0,61	2,70
199	62,35	62,55	39,30	0,32	0,86	2,68
200	87,86	88,03	56,42	0,19	0,54	2,78
201	63,61	63,74	40,29	0,20	0,55	2,71
202	85,85	86,05	54,98	0,23	0,64	2,76
203	63,39	63,57	40,81	0,28	0,79	2,79
204	76,36	76,54	49,50	0,24	0,67	2,82
205	82,51	82,68	53,90	0,21	0,59	2,87
206	81,35	81,59	51,37	0,30	0,79	2,69
207	81,20	81,36	51,49	0,20	0,54	2,72
208	75,78	76,00	46,83	0,29	0,75	2,60

209	83,15	83,43	53,71	0,34	0,94	2,80
210	88,38	88,59	55,61	0,24	0,64	2,68
211	82,92	83,09	52,31	0,21	0,55	2,69
212	85,32	85,50	53,74	0,21	0,57	2,69
213	84,32	84,49	52,87	0,20	0,54	2,67
214	91,40	91,59	58,32	0,21	0,57	2,75
215	89,44	89,59	57,23	0,17	0,46	2,76
216	61,80	61,98	40,55	0,29	0,84	2,88
217	70,07	70,23	43,97	0,23	0,61	2,67
218	86,67	86,85	55,92	0,21	0,58	2,80
219	79,17	79,32	50,72	0,19	0,52	2,77
220	90,94	91,16	57,19	0,24	0,65	2,68
221	78,32	78,52	50,29	0,26	0,71	2,77
222	77,13	77,44	49,15	0,40	1,10	2,73
223	87,13	87,36	55,47	0,26	0,72	2,73
224	85,04	85,24	55,23	0,24	0,67	2,83
225	82,85	83,00	53,38	0,18	0,51	2,80
226	86,85	87,11	54,81	0,30	0,80	2,69
227	76,41	76,60	47,72	0,25	0,66	2,65
228	89,75	89,98	56,65	0,26	0,69	2,69
229	88,29	88,49	55,34	0,23	0,60	2,66
230	84,68	84,87	54,48	0,22	0,63	2,79
231	75,96	76,11	48,04	0,20	0,53	2,71
232	88,52	88,72	55,94	0,23	0,61	2,70
233	87,88	88,18	55,35	0,34	0,91	2,68
234	79,95	80,14	51,12	0,24	0,65	2,75
235	77,27	77,43	48,62	0,21	0,56	2,68
236	93,48	93,66	58,84	0,19	0,52	2,68
237	86,58	86,81	54,48	0,27	0,71	2,68
238	67,15	67,32	42,94	0,25	0,70	2,75
239	65,87	66,08	42,08	0,32	0,87	2,74
240	85,90	86,11	55,10	0,24	0,68	2,77
241	81,45	81,64	51,33	0,23	0,63	2,69
242	88,01	88,23	55,55	0,25	0,67	2,69
243	81,82	81,99	51,54	0,21	0,56	2,69
244	83,96	84,29	53,95	0,39	1,09	2,77
245	88,03	88,23	55,39	0,23	0,61	2,68
246	85,03	85,22	53,77	0,22	0,60	2,70
247	81,12	81,36	50,87	0,30	0,79	2,66
248	79,64	79,80	50,53	0,20	0,55	2,72
249	95,95	96,20	60,23	0,26	0,70	2,67
250	80,97	81,15	51,46	0,22	0,61	2,73
251	84,69	84,94	61,18	0,30	1,05	3,56

252	85,68	86,09	54,16	0,48	1,28	2,68
253	76,17	76,37	48,87	0,26	0,73	2,77
254	82,32	82,56	51,71	0,29	0,78	2,67
255	78,92	79,04	49,97	0,15	0,41	2,71
256	84,33	84,50	53,62	0,20	0,55	2,73
257	79,01	79,23	50,38	0,28	0,76	2,74
258	79,90	80,07	50,13	0,21	0,57	2,67
259	89,91	90,19	56,42	0,31	0,83	2,66
260	90,64	90,83	56,90	0,21	0,56	2,67
261	78,47	78,64	50,04	0,22	0,59	2,74
262	87,15	87,35	54,98	0,23	0,62	2,69
263	85,00	85,22	53,46	0,26	0,69	2,68
264	70,72	70,91	44,06	0,27	0,71	2,63
265	76,17	76,33	48,52	0,21	0,58	2,74
266	76,98	77,16	47,78	0,23	0,61	2,62
267	67,27	67,45	41,94	0,27	0,71	2,64
268	76,93	77,03	48,35	0,13	0,35	2,68
269	87,45	87,65	54,78	0,23	0,61	2,66
270	76,34	76,53	49,71	0,25	0,71	2,85
271	76,36	76,56	49,68	0,26	0,74	2,84
272	70,16	70,37	43,41	0,30	0,78	2,60
273	67,98	68,17	42,43	0,28	0,74	2,64
274	75,79	76,08	47,07	0,38	1,00	2,61
275	79,92	80,11	49,59	0,24	0,62	2,62
276	67,32	67,51	41,80	0,28	0,74	2,62
277	81,26	81,48	50,10	0,27	0,70	2,59
278	75,03	75,22	46,29	0,25	0,66	2,59
279	77,70	78,05	48,40	0,45	1,18	2,62
280	76,35	76,65	47,78	0,39	1,04	2,64
281	75,65	75,86	47,60	0,28	0,74	2,68
282	79,57	79,77	49,32	0,25	0,66	2,61
283	74,88	75,10	46,36	0,29	0,77	2,61
284	85,91	86,31	53,74	0,47	1,23	2,64
285	74,21	74,47	46,32	0,35	0,92	2,64
286	69,22	69,54	43,13	0,46	1,21	2,62
287	89,67	89,90	55,69	0,26	0,67	2,62
288	71,52	71,70	44,76	0,25	0,67	2,65
289	88,62	89,01	55,15	0,44	1,15	2,62
290	78,14	78,45	48,60	0,40	1,04	2,62
291	97,83	98,15	60,70	0,33	0,85	2,61
292	84,67	85,01	52,79	0,40	1,06	2,63
293	81,97	82,22	51,65	0,30	0,82	2,68
294	82,21	82,61	51,47	0,49	1,28	2,64

295	84,26	84,61	52,41	0,42	1,09	2,62
296	96,46	96,98	59,82	0,54	1,40	2,60
297	80,25	80,63	50,20	0,47	1,25	2,64
298	79,84	80,20	49,77	0,45	1,18	2,62
299	95,83	96,09	59,63	0,27	0,71	2,63
300	95,77	96,16	59,87	0,41	1,07	2,64
			MÉDIA	0,27	0,73	2,70

ANEXO B – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS INICIAIS DO GRANITO

Amostras	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	Coefficiente de absorção (%)	Porosidade(%)	Peso esp. Aparent. Seco
1	78,65	78,90	49,88	0,32	0,86	2,71
2	67,48	67,67	42,92	0,28	0,77	2,73
3	78,83	79,08	50,13	0,32	0,86	2,72
4	74,40	74,65	47,28	0,34	0,91	2,72
5	73,63	73,87	46,79	0,33	0,89	2,72
6	73,78	74,01	46,91	0,31	0,85	2,72
7	71,52	71,73	45,40	0,29	0,80	2,72
8	70,07	70,30	44,48	0,33	0,89	2,71
9	67,57	67,75	42,84	0,27	0,72	2,71
10	69,34	69,55	44,10	0,30	0,83	2,72
11	66,41	66,61	42,16	0,30	0,82	2,72
12	66,71	66,89	42,53	0,27	0,74	2,74
13	70,62	70,82	44,93	0,28	0,77	2,73
14	65,72	65,92	41,92	0,30	0,83	2,74
15	70,95	71,19	45,05	0,34	0,92	2,71
16	70,66	70,86	44,95	0,28	0,77	2,73
17	69,63	69,84	44,18	0,30	0,82	2,71
18	73,26	73,49	46,49	0,31	0,85	2,71
19	63,26	63,46	40,21	0,32	0,86	2,72
20	72,33	72,56	45,94	0,32	0,86	2,72
21	73,05	73,28	46,44	0,31	0,86	2,72
22	64,96	65,16	41,28	0,31	0,84	2,72
23	69,62	69,82	44,20	0,29	0,78	2,72
24	73,27	73,51	46,52	0,33	0,89	2,71
25	75,72	75,96	48,04	0,32	0,86	2,71
26	68,81	69,01	43,71	0,29	0,79	2,72
27	74,41	74,64	47,23	0,31	0,84	2,71
28	70,27	70,49	44,64	0,31	0,85	2,72
29	74,85	75,07	47,48	0,29	0,80	2,71
30	76,03	76,28	48,26	0,33	0,89	2,71
31	72,41	72,66	45,99	0,35	0,94	2,72
32	68,64	68,84	43,54	0,29	0,79	2,71
33	74,46	74,68	47,33	0,30	0,80	2,72
34	75,18	75,39	47,76	0,28	0,76	2,72
35	70,53	70,73	44,88	0,28	0,77	2,73
36	68,95	69,14	43,82	0,28	0,75	2,72
37	72,35	72,54	45,92	0,26	0,71	2,72
38	73,52	73,76	46,71	0,33	0,89	2,72
39	74,97	75,19	47,60	0,29	0,80	2,72
40	67,23	67,43	42,81	0,30	0,81	2,73

41	69,22	69,41	44,01	0,27	0,75	2,73
42	67,53	67,73	42,87	0,30	0,80	2,72
43	81,25	81,48	51,44	0,28	0,77	2,70
44	71,78	71,99	45,59	0,29	0,80	2,72
45	68,11	68,35	43,18	0,35	0,95	2,71
46	74,37	74,59	47,22	0,30	0,80	2,72
47	67,38	67,60	42,87	0,33	0,89	2,72
48	68,24	68,46	43,31	0,32	0,87	2,71
49	67,93	68,15	43,14	0,32	0,88	2,72
50	63,95	64,14	40,60	0,30	0,81	2,72
51	70,00	70,22	44,45	0,31	0,85	2,72
52	71,32	71,54	45,28	0,31	0,84	2,72
53	63,87	64,05	40,58	0,28	0,77	2,72
54	69,07	69,28	43,81	0,30	0,82	2,71
55	69,45	69,67	44,13	0,32	0,86	2,72
56	70,26	70,48	44,68	0,31	0,85	2,72
57	68,89	69,08	43,75	0,28	0,75	2,72
58	72,30	72,52	45,94	0,30	0,83	2,72
59	72,63	72,84	46,14	0,29	0,79	2,72
60	69,17	69,38	43,87	0,30	0,82	2,71
61	76,12	76,35	48,38	0,30	0,82	2,72
62	69,24	69,45	44,02	0,30	0,83	2,72
63	71,89	72,11	45,67	0,31	0,83	2,72
64	70,18	70,37	44,54	0,27	0,74	2,72
65	71,54	71,77	45,42	0,32	0,87	2,71
66	68,55	68,75	43,55	0,29	0,79	2,72
67	69,89	70,10	44,37	0,30	0,82	2,72
68	64,01	64,20	40,66	0,30	0,81	2,72
69	70,89	71,12	44,95	0,32	0,88	2,71
70	75,12	75,35	47,68	0,31	0,83	2,71
71	72,78	72,99	46,17	0,29	0,78	2,71
72	67,39	67,62	42,65	0,34	0,92	2,70
73	66,12	66,35	42,23	0,35	0,95	2,74
74	71,91	72,16	45,68	0,35	0,94	2,72
75	68,89	69,11	43,76	0,32	0,87	2,72
76	76,47	76,69	48,50	0,29	0,78	2,71
77	68,01	68,39	43,18	0,56	1,51	2,70
78	75,72	75,93	48,09	0,28	0,75	2,72
79	73,13	73,37	46,38	0,33	0,89	2,71
80	76,31	76,55	48,45	0,31	0,85	2,72
81	72,53	72,75	45,99	0,30	0,82	2,71
82	71,97	72,19	45,66	0,31	0,83	2,71
83	75,45	75,67	47,93	0,29	0,79	2,72
84	72,13	72,36	45,81	0,32	0,87	2,72
85	71,74	71,97	45,51	0,32	0,87	2,71
86	76,29	76,52	48,43	0,30	0,82	2,72
87	73,15	73,34	46,35	0,26	0,70	2,71

88	67,45	67,65	42,84	0,30	0,81	2,72
89	68,94	69,14	43,81	0,29	0,79	2,72
90	73,51	73,73	46,66	0,30	0,81	2,72
91	74,73	74,96	47,41	0,31	0,83	2,71
92	74,31	74,52	47,17	0,28	0,77	2,72
93	73,73	73,98	46,79	0,34	0,92	2,71
94	72,97	73,22	46,30	0,34	0,93	2,71
95	68,78	69,00	43,65	0,32	0,87	2,71
96	70,12	70,33	44,46	0,30	0,81	2,71
97	70,80	71,00	44,96	0,28	0,77	2,72
98	79,55	79,80	50,60	0,31	0,86	2,72
99	79,30	79,55	50,38	0,32	0,86	2,72
100	64,45	64,65	40,91	0,31	0,84	2,71
101	67,08	67,27	42,59	0,28	0,77	2,72
102	72,63	72,86	46,09	0,32	0,86	2,71
103	72,14	72,37	45,81	0,32	0,87	2,72
104	69,04	69,25	43,77	0,30	0,82	2,71
105	72,81	73,02	46,23	0,29	0,78	2,72
106	67,06	67,25	42,51	0,28	0,77	2,71
107	73,07	73,33	46,42	0,36	0,97	2,72
108	70,96	71,18	45,05	0,31	0,84	2,72
109	74,20	74,45	47,15	0,34	0,92	2,72
110	74,57	74,85	47,25	0,38	1,01	2,70
111	78,29	78,53	49,64	0,31	0,83	2,71
112	64,88	65,09	41,15	0,32	0,88	2,71
113	63,21	63,41	40,14	0,32	0,86	2,72
114	74,94	75,17	47,60	0,31	0,83	2,72
115	63,96	64,15	40,59	0,30	0,81	2,71
116	68,88	69,14	43,72	0,38	1,02	2,71
117	79,10	79,47	49,94	0,47	1,25	2,68
118	70,65	70,90	44,75	0,35	0,96	2,70
119	73,16	73,43	46,45	0,37	1,00	2,71
120	73,10	73,41	46,51	0,42	1,15	2,72
121	69,35	69,60	44,02	0,36	0,98	2,71
122	79,80	80,09	50,62	0,36	0,98	2,71
123	74,23	74,58	47,18	0,47	1,28	2,71
124	69,72	70,00	44,37	0,40	1,09	2,72
125	78,07	78,38	49,71	0,40	1,08	2,72
126	72,14	72,43	44,90	0,40	1,05	2,62
127	67,36	67,61	42,81	0,37	1,01	2,72
128	75,19	75,44	47,77	0,33	0,90	2,72
129	73,82	74,10	46,82	0,38	1,03	2,71
130	72,80	73,08	46,25	0,38	1,04	2,71
131	67,14	67,38	42,28	0,36	0,96	2,67
132	74,73	75,01	46,63	0,37	0,99	2,63
133	67,52	67,78	42,82	0,39	1,04	2,71
134	70,19	70,60	44,42	0,58	1,57	2,68

135	68,77	69,06	43,64	0,42	1,14	2,71
136	74,39	74,70	47,22	0,42	1,13	2,71
137	76,60	76,83	48,64	0,30	0,82	2,72
138	89,65	90,04	56,86	0,44	1,18	2,70
139	72,52	72,80	45,98	0,39	1,04	2,70
140	74,34	74,63	47,24	0,39	1,06	2,71
141	70,89	71,19	44,83	0,42	1,14	2,69
142	70,07	70,36	44,69	0,41	1,13	2,73
143	73,35	73,64	46,82	0,40	1,08	2,73
144	66,54	66,79	42,26	0,38	1,02	2,71
145	67,21	67,48	42,73	0,40	1,09	2,72
146	77,39	77,65	49,03	0,34	0,91	2,70
147	61,89	62,13	39,96	0,39	1,08	2,79
148	68,98	69,25	43,80	0,39	1,06	2,71
149	69,21	69,50	43,96	0,42	1,14	2,71
150	71,93	72,17	45,64	0,33	0,90	2,71
151	73,43	73,74	46,64	0,42	1,14	2,71
152	68,55	68,83	43,61	0,41	1,11	2,72
153	74,45	74,82	47,56	0,50	1,36	2,73
154	71,05	71,36	45,40	0,44	1,19	2,74
155	70,92	71,19	45,12	0,38	1,04	2,72
156	81,30	81,72	51,67	0,52	1,40	2,71
157	77,53	77,88	49,25	0,45	1,22	2,71
158	71,41	71,77	45,68	0,50	1,38	2,74
159	80,05	80,43	50,86	0,47	1,29	2,71
160	70,19	70,50	44,60	0,44	1,20	2,71
161	71,43	71,74	45,45	0,43	1,18	2,72
162	74,23	74,53	47,22	0,40	1,10	2,72
163	72,33	72,62	46,00	0,40	1,09	2,72
164	68,71	69,07	42,68	0,52	1,36	2,60
165	71,07	71,40	45,30	0,46	1,26	2,72
166	68,95	69,25	43,90	0,44	1,18	2,72
167	75,40	75,75	47,89	0,46	1,26	2,71
168	76,69	77,02	48,84	0,43	1,17	2,72
169	77,72	78,06	49,45	0,44	1,19	2,72
170	72,44	72,79	46,14	0,48	1,31	2,72
171	67,80	68,06	43,16	0,38	1,04	2,72
172	73,44	73,81	46,96	0,50	1,38	2,74
173	77,26	77,55	49,06	0,38	1,02	2,71
174	68,20	68,51	43,22	0,45	1,23	2,70
175	64,89	65,23	41,52	0,52	1,43	2,74
176	76,98	77,33	48,96	0,45	1,23	2,71
177	74,91	75,20	47,66	0,39	1,05	2,72
178	74,77	75,13	47,62	0,48	1,31	2,72
179	69,84	70,13	44,37	0,42	1,13	2,71
180	74,09	74,40	47,07	0,42	1,13	2,71
181	75,80	76,11	48,41	0,41	1,12	2,74

182	73,94	74,28	47,28	0,46	1,26	2,74
183	72,94	73,24	46,38	0,41	1,12	2,72
184	68,88	69,16	43,72	0,41	1,10	2,71
185	74,33	74,64	47,36	0,42	1,14	2,72
186	72,92	73,19	46,45	0,37	1,01	2,73
187	71,43	71,73	45,32	0,42	1,14	2,70
188	71,10	71,41	45,21	0,44	1,18	2,71
189	75,93	76,23	48,33	0,40	1,08	2,72
190	71,00	71,29	45,31	0,41	1,12	2,73
191	69,02	69,30	43,88	0,41	1,10	2,72
192	69,63	69,93	44,21	0,43	1,17	2,71
193	66,87	67,14	42,58	0,40	1,10	2,72
194	74,79	75,13	47,53	0,45	1,23	2,71
195	68,97	69,24	43,85	0,39	1,06	2,72
196	72,48	72,80	46,09	0,44	1,20	2,71
197	74,14	74,45	47,14	0,42	1,14	2,71
198	66,17	66,44	42,09	0,41	1,11	2,72
199	81,78	81,99	51,19	0,26	0,68	2,66
200	73,66	73,96	46,91	0,41	1,11	2,72
201	67,65	67,96	42,99	0,46	1,24	2,71
202	72,01	72,36	45,81	0,49	1,32	2,71
203	71,81	72,12	45,67	0,43	1,17	2,71
204	74,70	75,04	47,71	0,46	1,24	2,73
205	71,64	71,95	45,60	0,43	1,18	2,72
206	71,88	72,16	45,96	0,39	1,07	2,74
207	73,98	74,31	47,03	0,45	1,21	2,71
208	73,81	74,17	47,01	0,49	1,33	2,72
209	72,37	72,67	46,37	0,41	1,14	2,75
210	73,37	73,70	46,66	0,45	1,22	2,71
211	71,69	71,99	45,86	0,42	1,15	2,74
212	70,22	70,54	44,61	0,46	1,23	2,71
213	69,90	70,21	44,46	0,44	1,20	2,71
214	73,56	73,87	46,78	0,42	1,14	2,72
215	73,33	73,60	46,67	0,37	1,00	2,72
216	72,76	73,06	46,23	0,41	1,12	2,71
217	74,69	75,01	47,55	0,43	1,17	2,72
218	71,52	71,87	45,64	0,49	1,33	2,73
219	72,32	72,61	45,96	0,40	1,09	2,71
220	74,44	74,73	47,68	0,39	1,07	2,75
221	71,90	72,18	45,70	0,39	1,06	2,72
222	76,21	76,50	48,42	0,38	1,03	2,71
223	88,73	89,12	56,40	0,44	1,19	2,71
224	68,91	69,20	43,79	0,42	1,14	2,71
225	62,04	62,32	39,40	0,45	1,22	2,71
226	68,47	68,77	43,62	0,44	1,19	2,72
227	73,72	74,06	46,93	0,46	1,25	2,72
228	75,57	75,82	48,38	0,33	0,91	2,75

229	70,94	71,18	45,10	0,34	0,92	2,72
230	65,80	66,07	41,80	0,41	1,11	2,71
231	71,90	72,16	45,70	0,36	0,98	2,72
232	74,34	74,66	47,26	0,43	1,17	2,71
233	76,62	76,93	48,68	0,40	1,10	2,71
234	65,82	66,03	41,86	0,32	0,87	2,72
235	70,42	70,72	44,72	0,43	1,15	2,71
236	68,84	69,03	43,05	0,28	0,73	2,65
237	78,02	78,23	48,85	0,27	0,71	2,66
238	80,80	81,04	50,62	0,30	0,79	2,66
239	71,76	71,93	44,85	0,24	0,63	2,65
240	77,73	77,92	48,61	0,24	0,65	2,65
241	73,84	74,06	46,16	0,30	0,79	2,65
242	72,28	72,51	45,19	0,32	0,84	2,65
243	72,22	72,42	45,16	0,28	0,73	2,65
244	79,07	79,32	49,44	0,32	0,84	2,65
245	79,67	79,87	49,89	0,25	0,67	2,66
246	77,88	78,12	48,74	0,31	0,82	2,65
247	77,47	77,66	48,51	0,25	0,65	2,66
248	72,97	73,16	45,77	0,26	0,69	2,66
249	78,04	78,35	48,89	0,40	1,05	2,65
250	77,52	77,78	48,51	0,34	0,89	2,65
251	76,01	76,23	47,52	0,29	0,77	2,65
252	76,74	76,93	47,94	0,25	0,66	2,65
253	71,28	71,49	44,57	0,29	0,78	2,65
254	72,07	72,27	45,03	0,28	0,73	2,65
255	76,24	76,45	47,79	0,28	0,73	2,66
256	71,78	72,01	44,92	0,32	0,85	2,65
257	72,37	72,60	45,32	0,32	0,84	2,65
258	74,18	74,44	46,64	0,35	0,94	2,67
259	73,75	73,94	46,17	0,26	0,68	2,66
260	77,54	77,75	48,48	0,27	0,72	2,65
261	76,81	76,98	48,06	0,22	0,59	2,66
262	77,61	77,83	48,54	0,28	0,75	2,65
263	72,59	72,83	45,45	0,33	0,88	2,65
264	73,07	73,30	45,93	0,31	0,84	2,67
265	75,85	76,05	47,49	0,26	0,70	2,66
266	80,14	80,41	50,19	0,34	0,89	2,65
267	66,44	66,64	41,59	0,30	0,80	2,65
268	79,11	79,38	49,48	0,34	0,90	2,65
269	77,26	77,47	48,30	0,27	0,72	2,65
270	80,01	80,23	50,03	0,27	0,73	2,65
271	67,51	67,71	42,31	0,30	0,79	2,66
272	74,79	75,02	46,81	0,31	0,82	2,65
273	75,71	75,90	47,53	0,25	0,67	2,67
274	74,31	74,73	46,70	0,57	1,50	2,65
275	73,53	73,71	46,04	0,24	0,65	2,66

276	75,20	75,39	47,01	0,25	0,67	2,65
277	80,75	80,99	50,54	0,30	0,79	2,65
278	77,61	77,83	48,67	0,28	0,75	2,66
279	76,38	76,64	47,87	0,34	0,90	2,65
280	80,65	80,91	50,46	0,32	0,85	2,65
281	67,55	67,75	42,28	0,30	0,79	2,65
282	75,87	76,08	47,51	0,28	0,74	2,66
283	73,70	73,91	46,65	0,28	0,77	2,70
284	75,91	76,14	47,62	0,30	0,81	2,66
285	72,22	72,47	45,27	0,35	0,92	2,66
286	71,57	71,78	44,74	0,29	0,78	2,65
287	78,27	78,48	49,07	0,27	0,71	2,66
288	74,95	75,19	46,97	0,32	0,85	2,66
289	70,94	71,18	44,54	0,34	0,90	2,66
290	73,39	73,60	46,11	0,29	0,76	2,67
291	75,63	75,85	47,32	0,29	0,77	2,65
292	74,50	74,72	46,63	0,30	0,78	2,65
293	65,88	66,11	41,22	0,35	0,92	2,65
294	73,86	74,11	46,22	0,34	0,90	2,65
295	74,07	74,39	46,36	0,43	1,14	2,64
296	70,21	70,45	43,97	0,34	0,91	2,65
297	79,43	79,68	49,66	0,31	0,83	2,65
298	70,36	70,59	44,05	0,33	0,87	2,65
299	74,91	75,16	46,84	0,33	0,88	2,65
300	77,44	77,66	48,42	0,28	0,75	2,65

**ANEXO C – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO CHARNOCKITO APÓS
CICLAGEM EM ÁGUA**

CICLO	Amostras	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	Coefficiente de absorção (%)	Porosidade (%)	Peso esp. Aparent. Seco
10	10	86,97	87,21	56,07	0,28	0,77	2,79
	16	84,57	84,84	53,74	0,32	0,87	2,72
	54	65,38	65,58	41,09	0,31	0,82	2,67
	62	57,54	57,74	36,74	0,35	0,95	2,74
	106	75,17	75,33	47,3	0,21	0,57	2,68
	122	79,41	79,65	50,09	0,30	0,81	2,69
	155	93,21	93,52	59,25	0,33	0,90	2,72
	192	62,43	62,58	39,23	0,24	0,64	2,67
	202	85,85	86,07	55,05	0,26	0,71	2,77
	258	79,9	80,05	50,63	0,19	0,51	2,72
20	59	83,74	83,95	52,91	0,25	0,68	2,70
	68	76,33	76,54	48,07	0,28	0,74	2,68
	85	80,13	80,35	50,64	0,27	0,74	2,70
	92	86,33	86,58	54,39	0,29	0,78	2,68
	163	79,34	79,53	51,1	0,24	0,67	2,79
	198	87,76	87,98	55,38	0,25	0,67	2,69
	214	91,36	91,58	58,33	0,24	0,66	2,75
	226	86,82	87,02	54,81	0,23	0,62	2,70
	240	85,87	86,06	55,06	0,22	0,61	2,77
277	81,22	81,39	50,86	0,21	0,56	2,66	
30	181	90,43	90,66	57,39	0,25	0,69	2,72
	149	81,76	81,93	52,38	0,21	0,58	2,77
	61	95,29	95,52	59,73	0,24	0,64	2,66
	18	95,12	95,35	59,93	0,24	0,65	2,69
	103	99,71	99,96	64,28	0,25	0,70	2,79
	8	93,53	93,74	59,02	0,22	0,60	2,69
	281	75,61	75,81	47,54	0,26	0,71	2,67
	56	68,7	68,89	43,08	0,28	0,74	2,66
	88	76,04	76,25	49,1	0,28	0,77	2,80
	37	93,28	93,56	59,68	0,30	0,83	2,75
40	162	86,79	87,09	55,78	0,35	0,96	2,77
	45	82,77	83,05	53,01	0,34	0,93	2,76
	22	72,59	72,83	45,72	0,33	0,89	2,68
	293	81,91	82,2	51,44	0,35	0,94	2,66
	3	61,31	61,53	38,54	0,36	0,96	2,67

265	76,12	76,35	48,86	0,30	0,84	2,77
271	76,28	76,56	50,18	0,37	1,06	2,89
98	85,8	86,06	54,22	0,30	0,82	2,69
134	82,25	82,48	51,59	0,28	0,74	2,66
165	81,18	81,49	52,04	0,38	1,05	2,76

ANEXO D – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO CHARNOCKITO APÓS CICLAGEM EM SAL

CICLO	Amostras	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	Coefficiente de absorção(%)	Porosidade(%)	Peso esp. Aparent. Seco
10	84	67,27	67,43	42,55	0,24	0,64	2,70
	95	77,46	77,77	49,01	0,40	1,08	2,69
	175	81,07	81,22	52	0,19	0,51	2,77
	200	87,67	87,93	56,34	0,30	0,82	2,78
	228	89,51	89,90	56,5	0,44	1,17	2,68
	229	88,23	88,49	55,26	0,29	0,78	2,66
	230	84,56	84,74	54,37	0,21	0,59	2,78
	247	81,01	81,22	51,11	0,26	0,70	2,69
	257	78,83	79,06	50,33	0,29	0,80	2,74
	264	70,61	70,8	44,45	0,27	0,72	2,68
20	38	65,16	65,4	40,77	0,37	0,97	2,65
	77	66,57	66,78	41,93	0,32	0,85	2,68
	113	105,29	105,63	66,18	0,32	0,86	2,67
	126	65,65	65,85	41,21	0,30	0,81	2,66
	141	91,95	92,26	58,04	0,34	0,91	2,69
	146	69,81	70,04	45,98	0,33	0,96	2,90
	168	80,41	80,63	51,55	0,27	0,76	2,77
	171	91,26	91,51	58,19	0,27	0,75	2,74
	203	63,27	63,46	40,77	0,30	0,84	2,79
	241	81,26	81,59	51,2	0,41	1,09	2,67
30	248	79,32	79,59	50,3	0,34	0,92	2,71
	246	84,73	85,06	53,53	0,39	1,05	2,69
	96	93,85	94,25	58,98	0,43	1,13	2,66
	139	88,45	88,81	55,6	0,41	1,08	2,66
	263	84,79	85,15	53,52	0,42	1,14	2,68
	270	76,14	76,36	50,12	0,29	0,84	2,90
	112	98,48	98,95	62,02	0,48	1,27	2,67
	183	73,04	73,35	47,21	0,42	1,19	2,79
	40	90,91	91,3	57,1	0,43	1,14	2,66
	291	97,47	97,85	61,2	0,39	1,04	2,66
40	256	83,93	84,25	53,27	0,38	1,03	2,71
	117	70,43	70,72	44,17	0,41	1,09	2,65
	124	94	94,41	59,27	0,44	1,17	2,68
	189	88,3	88,74	55,54	0,50	1,33	2,66
	123	80,93	81,38	50,95	0,56	1,48	2,66

129	75,23	75,64	47,29	0,54	1,45	2,65
44	61,59	61,93	38,62	0,55	1,46	2,64
138	73,93	74,33	46,74	0,54	1,45	2,68
206	80,98	81,31	51,74	0,41	1,12	2,74
90	77,78	78,35	48,87	0,73	1,93	2,64

ANEXO E – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS CICLAGEM EM ÁGUA

CICLO	AMOSTRA	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	coeficiente de absorção (%)	Porosidade (%)	Peso esp. aparente seco
10	116	68,87	69,19	43,72	0,46	1,26	2,70
	47	67,37	67,67	42,84	0,45	1,21	2,71
	61	76,1	76,44	48,45	0,45	1,21	2,72
	21	73,03	73,4	46,47	0,51	1,37	2,71
	143	73,34	73,63	46,64	0,40	1,07	2,72
	64	70,14	70,4	44,57	0,37	1,01	2,72
	283	73,69	74,04	46,17	0,47	1,26	2,64
	42	67,51	67,77	42,89	0,39	1,05	2,71
	214	73,56	73,85	46,79	0,39	1,07	2,72
	196	72,47	72,74	46,08	0,37	1,01	2,72
20	160	70,19	70,48	44,61	0,41	1,12	2,71
	211	71,69	71,99	45,53	0,42	1,13	2,71
	125	78,06	78,35	49,68	0,37	1,01	2,72
	129	73,79	74,11	46,92	0,43	1,18	2,71
	79	73,13	73,42	46,41	0,40	1,07	2,71
	81	72,52	72,83	46,03	0,43	1,16	2,71
	99	79,29	79,61	50,38	0,40	1,09	2,71
	88	67,44	67,67	42,86	0,34	0,93	2,72
	101	67,07	67,3	42,64	0,34	0,93	2,72
	12	66,66	66,91	42,4	0,38	1,02	2,72
30	41	69,19	69,61	43,97	0,61	1,64	2,70
	97	70,78	71,21	44,94	0,61	1,64	2,69
	284	75,88	76,29	47,55	0,54	1,43	2,64
	86	76,25	76,7	48,4	0,59	1,59	2,69
	102	72,6	73,1	46,04	0,69	1,85	2,68
	24	73,13	73,62	46,45	0,67	1,80	2,69
	222	76,17	76,71	48,39	0,71	1,91	2,69
	189	75,9	76,3	48,29	0,53	1,43	2,71
	120	73,08	73,6	46,46	0,71	1,92	2,69
	154	71,04	71,56	45,15	0,73	1,97	2,69
40	57	68,82	69,20	43,70	0,55	1,49	2,70
	106	67,03	67,30	42,45	0,40	1,09	2,70
	115	63,89	64,25	40,56	0,56	1,52	2,70
	17	69,60	70,01	44,16	0,59	1,59	2,69
	113	63,18	63,46	40,15	0,44	1,20	2,71

	250	77,48	77,91	48,49	0,55	1,46	2,63
	155	70,90	71,23	45,10	0,47	1,26	2,71
	220	74,37	74,78	47,31	0,55	1,49	2,71
	235	70,40	70,73	44,68	0,47	1,27	2,70
	226	68,45	68,83	43,50	0,56	1,50	2,70
50	217	74,67	75,07	47,60	0,54	1,46	2,72
	206	71,85	72,19	45,68	0,47	1,28	2,71
	133	67,49	67,87	42,92	0,56	1,52	2,71
	38	73,49	73,89	46,74	0,54	1,47	2,71
	25	75,70	76,08	48,04	0,50	1,36	2,70
	11	66,38	66,70	42,17	0,48	1,30	2,71
	68	64,00	64,32	40,66	0,50	1,35	2,70
	92	74,29	74,71	47,21	0,57	1,53	2,70
	36	68,92	69,31	43,82	0,57	1,53	2,70
	223	88,69	89,22	56,39	0,60	1,61	2,70
60	169	77,71	78,09	49,45	0,49	1,33	2,71
	192	69,60	69,96	44,23	0,52	1,40	2,71
	195	68,95	69,37	43,83	0,61	1,64	2,70
	130	72,77	73,22	46,26	0,62	1,67	2,70
	5	73,61	73,97	46,76	0,49	1,32	2,71
	19	63,24	63,62	40,22	0,60	1,62	2,70
	246	77,86	78,31	48,70	0,58	1,52	2,63
	50	63,93	64,26	40,57	0,52	1,39	2,70
	2	67,44	67,83	42,91	0,58	1,57	2,71
	262	77,56	77,99	48,55	0,55	1,46	2,63
70	166	68,92	69,38	43,87	0,67	1,80	2,70
	232	74,34	74,82	47,3	0,65	1,74	2,70
	148	68,92	69,34	43,79	0,61	1,64	2,70
	139	72,50	72,98	46,07	0,66	1,78	2,69
	299	74,89	75,37	46,83	0,64	1,68	2,62
	55	69,43	69,90	44,13	0,68	1,82	2,69
	67	69,84	70,19	44,39	0,50	1,36	2,71
	96	70,10	70,48	44,49	0,54	1,46	2,70
	53	63,84	64,21	40,6	0,58	1,57	2,70

**ANEXO F – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS
CICLAGEM EM SAL (COM RETIRADA DO SAL)**

CICLO	Amostra	Massa seca(g)	Massa saturada(g)	Massa submersa(g)	Coefficiente de absorção (%)	Porosidade (%)	Peso esp. aparente seco
10	123	74,09	74,54	47,11	0,61	1,64	2,70
	183	72,81	73,26	46,32	0,62	1,67	2,70
	198	66,00	66,46	41,98	0,70	1,88	2,70
	31	72,28	72,59	45,94	0,43	1,16	2,71
	72	67,25	67,63	42,70	0,57	1,52	2,70
	22	64,84	65,25	41,22	0,63	1,71	2,70
	14	65,60	65,99	41,78	0,59	1,61	2,71
	271	67,40	67,81	42,18	0,61	1,60	2,63
	292	74,39	74,82	46,58	0,58	1,52	2,63
	287	78,05	78,47	48,85	0,54	1,42	2,64
20	165	70,89	71,35	45,04	0,65	1,75	2,69
	216	72,56	73,10	46,12	0,74	2,00	2,69
	191	68,84	69,29	43,79	0,65	1,76	2,70
	74	71,75	72,20	45,62	0,63	1,69	2,70
	229	70,76	71,17	44,97	0,58	1,56	2,70
	52	71,17	71,55	45,19	0,53	1,44	2,70
	297	79,21	79,82	49,58	0,77	2,02	2,62
	277	80,55	81,08	50,44	0,66	1,73	2,63
	71	72,54	72,99	46,09	0,62	1,67	2,70
	237	77,70	78,22	48,70	0,67	1,76	2,63
30	260	77,20	77,84	48,32	0,83	2,17	2,62
	23	69,41	69,96	44,18	0,79	2,13	2,69
	241	73,60	74,41	46,11	1,10	2,86	2,60
	63	71,67	72,26	45,62	0,82	2,21	2,69
	27	74,22	74,76	47,17	0,73	1,96	2,69
	93	73,52	74,23	46,71	0,97	2,58	2,67
	45	67,94	68,58	43,15	0,94	2,52	2,67
	184	68,69	69,18	43,67	0,71	1,92	2,69
	181	75,59	76,21	48,10	0,82	2,21	2,69
	182	73,70	74,24	46,88	0,73	1,97	2,69
40	270	79,67	80,33	49,90	0,83	2,17	2,62
	286	71,34	71,90	44,65	0,78	2,06	2,62
	26	68,64	69,09	43,63	0,66	1,77	2,70
	82	71,77	72,31	45,59	0,75	2,02	2,69
	108	70,74	71,22	44,97	0,68	1,83	2,69

109	73,94	74,50	47,06	0,76	2,04	2,69
131	66,96	67,37	42,55	0,61	1,65	2,70
233	76,37	76,90	48,58	0,69	1,87	2,70
142	69,90	70,32	44,32	0,60	1,62	2,69
117	78,81	79,38	50,05	0,72	1,94	2,69

ANEXO G – PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DO GRANITO APÓS CICLAGEM EM SAL (SEM RETIRADA DO SAL)

CICLO	Amostra	Massa seca(g)	Massa saturada (g)	Massa submersa(g)	coeficiente de absorção (%)	Porosidade (%)	Peso esp. aparente seco
10	87	73,07	73,48	46,37	0,56	1,51	2,70
	29	74,77	75,18	47,48	0,55	1,48	2,70
	7	71,47	71,86	45,40	0,55	1,47	2,70
	28	70,22	70,57	44,66	0,50	1,35	2,71
	18	73,20	73,61	46,47	0,56	1,51	2,70
	296	70,17	70,60	43,96	0,61	1,61	2,63
	122	79,76	80,23	50,71	0,59	1,59	2,70
	230	65,76	66,13	41,8	0,56	1,52	2,70
	141	70,85	71,25	45,09	0,56	1,53	2,71
	176	76,92	77,44	48,93	0,68	1,82	2,70
20	87	73,07	73,48	46,37	0,56	1,51	2,70
	29	74,77	75,18	47,48	0,55	1,48	2,70
	7	71,47	71,86	45,40	0,55	1,47	2,70
	28	70,22	70,57	44,66	0,50	1,35	2,71
	18	73,20	73,61	46,47	0,56	1,51	2,70
	296	70,17	70,60	43,96	0,61	1,61	2,63
	122	79,76	80,23	50,71	0,59	1,59	2,70
	230	65,76	66,13	41,8	0,56	1,52	2,70
	141	70,85	71,25	45,09	0,56	1,53	2,71
	176	76,92	77,44	48,93	0,68	1,82	2,70
30	248	72,84	73,43	45,59	0,81	2,12	2,62
	44	71,63	72,10	45,52	0,66	1,77	2,69
	46	74,25	74,77	47,15	0,70	1,88	2,69
	256	71,70	72,24	44,78	0,75	1,97	2,61
	51	69,85	70,29	44,37	0,63	1,70	2,69
	279	76,29	76,84	47,72	0,72	1,89	2,62
	119	73,03	73,49	46,42	0,63	1,70	2,70
	219	72,19	72,68	45,92	0,68	1,83	2,70
	187	71,27	71,77	45,27	0,70	1,89	2,69
	174	68,05	68,51	43,24	0,68	1,82	2,69
40	9	67,39	67,83	42,75	0,65	1,75	2,69
	253	71,21	71,76	44,55	0,77	2,02	2,62
	89	68,85	69,33	43,77	0,70	1,88	2,69
	111	78,18	78,72	49,59	0,69	1,85	2,68
	242	72,18	72,65	45,12	0,65	1,71	2,62

	15	70,83	71,29	44,98	0,65	1,75	2,69
	118	70,56	71,02	44,85	0,65	1,76	2,70
	162	74,13	74,6	47,16	0,63	1,71	2,70
	136	74,29	74,78	47,19	0,66	1,78	2,69
	227	73,57	74,04	46,82	0,64	1,73	2,70

**ANEXO H – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- CHARNOCKITO
(ÁGUA)**

CICLO	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Resistência	
	Amostra	W1	W2	W	D	Is(50)(MPa)
INICIAL	1	3,98	3,87	3,93	2,06	4,75
	27	4,17	4,04	4,10	2,01	3,50
	51	4,18	4,09	4,13	1,81	3,46
	81	4,15	4,09	4,12	2,07	4,17
	145	4,18	4,04	4,11	2,08	3,73
	190	3,95	3,94	3,95	2,04	4,83
	242	4,20	3,90	4,05	2,04	4,44
	273	3,96	3,24	3,60	2,06	4,21
	285	4,04	3,41	3,72	2,10	3,82
	299	4,23	4,10	4,16	2,13	5,06
3	36	4,23	3,61	3,92	2,03	3,82
	41	3,75	3,71	3,73	2,07	3,80
	47	3,84	3,70	3,77	2,07	4,36
	70	3,48	3,45	3,47	2,06	3,77
	100	3,71	3,51	3,61	2,10	4,08
	104	4,10	3,46	3,78	2,04	3,44
	116	4,07	3,61	3,84	2,04	2,80
	195	4,15	3,97	4,06	2,12	3,37
	266	4,00	3,56	3,78	2,08	4,57
	276	3,88	3,16	3,52	2,08	3,58
10	10	4,35	4,02	4,18	1,84	3,61
	16	4,01	3,88	3,95	2,04	2,23
	54	3,58	3,40	3,49	2,07	1,99
	62	3,42	3,22	3,32	2,03	3,09
	106	4,04	3,45	3,74	2,08	2,94
	122	3,89	3,86	3,87	2,03	2,38
	155	4,16	4,10	4,13	2,07	1,58
	192	3,67	3,24	3,45	2,05	2,66
	202	4,07	4,04	4,05	1,92	2,76
	258	4,13	3,88	4,00	1,88	2,90
20	59	4,00	3,93	3,97	2,02	2,87
	68	3,98	3,54	3,76	2,10	3,08
	85	3,93	3,86	3,89	2,02	3,74
	92	4,06	3,98	4,02	2,05	3,37
	163	3,94	3,87	3,90	1,92	3,70
	198	4,10	3,92	4,01	2,11	1,31
	214	4,39	4,06	4,22	1,93	2,43
	226	4,04	3,96	4,00	2,08	3,30

	240	4,18	3,95	4,07	1,88	3,63
	277	4,16	3,69	3,92	2,08	2,95
30	8	4,24	4,16	4,20	2,02	3,75
	18	4,29	4,24	4,26	2,02	3,60
	37	4,31	3,99	4,15	2,05	1,03
	56	3,82	3,46	3,64	2,03	3,00
	61	4,66	3,85	4,25	2,05	3,55
	88	4,07	3,74	3,90	1,84	1,49
	103	4,74	4,11	4,43	1,90	2,21
	149	4,40	3,67	4,04	1,86	3,39
	181	4,07	4,03	4,05	2,09	3,42
	281	3,75	3,70	3,72	2,09	3,76
40	162	4,10	4,08	4,09	1,93	2,37
	45	4,12	3,97	4,05	1,89	2,66
	22	3,82	3,52	3,67	2,06	2,56
	293	4,03	3,79	3,91	2,09	3,31
	3	3,37	3,32	3,35	2,02	2,54
	265	4,11	3,64	3,87	1,87	2,78
	271	3,87	3,49	3,68	2,01	2,74
	98	4,16	3,94	4,05	2,02	3,09
	134	4,00	3,84	3,92	2,07	2,65
	165	4,05	3,81	3,93	1,93	2,79

ANEXO I – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- CHARNOCKITO (SAL)

CICLO	Amostra	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Resistência
		W1	W2	W	D	Is(50)(MPa)
INICIAL	207	4,09	4,02	4,05	1,88	3,72
	151	4,16	4,14	4,15	2,08	4,13
	21	4,28	4,00	4,14	1,82	3,99
	152	3,98	3,86	3,92	2,04	4,73
	57	3,97	3,94	3,96	2,02	4,16
	65	3,96	3,91	3,93	2,03	3,00
	114	4,13	3,80	3,96	2,06	4,21
	23	4,48	4,20	4,34	2,03	4,49
	105	4,05	3,96	4,00	2,04	4,08
	80	3,99	3,63	3,81	2,05	4,24
3	213	3,93	3,88	3,91	2,13	2,80
	157	4,06	3,96	4,01	2,10	4,32
	97	4,67	3,65	4,16	2,11	2,78
	120	3,65	3,53	3,59	2,05	3,20
	194	4,12	3,95	4,04	2,05	4,04
	107	4,47	3,72	4,09	2,13	3,12
	132	3,92	3,75	3,84	2,09	3,68
	115	4,13	3,90	4,01	2,01	4,01
	102	4,73	3,93	4,33	2,11	3,22
	216	3,53	3,10	3,32	2,00	4,54
10	84	3,82	3,31	3,56	2,03	1,42
	95	3,85	3,67	3,76	2,06	2,59
	175	4,13	3,86	3,99	1,88	2,60
	200	4,16	4,04	4,10	2,12	1,72
	228	4,10	3,89	4,00	2,12	2,70
	229	4,13	3,94	4,03	1,92	1,64
	230	4,18	3,99	4,08	1,85	1,25
	247	4,08	3,67	3,88	2,05	2,48
	257	4,03	3,89	3,96	1,87	2,80
	264	4,06	3,30	3,68	2,05	0,65
20	38	3,86	3,24	3,55	2,04	0,61
	77	3,59	3,48	3,54	2,03	0,42
	113	4,68	4,18	4,43	2,07	1,08
	126	3,55	3,46	3,51	2,04	0,10
	141	4,22	4,11	4,17	2,00	1,27
	146	3,54	3,54	3,54	1,95	2,58
	168	4,15	3,78	3,97	1,88	1,57
	171	4,34	4,11	4,23	1,93	0,61
	203	3,91	3,21	3,56	1,87	1,58
30	248	4,07	3,81	3,94	1,92	0,83
	246	4,00	3,84	3,92	2,06	1,01
	96	4,14	4,10	4,12	2,13	0,41

139	4,10	4,06	4,08	2,07	0,48
263	4,82	3,22	4,02	2,09	0,54
270	3,96	3,45	3,71	1,98	1,71
112	4,67	3,89	4,28	2,14	0,50
183	4,00	3,62	3,81	1,85	0,11
40	4,21	4,11	4,16	2,04	0,31
291	4,40	4,06	4,23	2,13	0,99

ANEXO J – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- GRANITO (ÁGUA)

CICLO	Amostra	Dimensões laterais			Dist (cm)	Resistência
		W1	W2	W	D	Is (50) (Mpa)
INICAL	33	3,71	3,54	3,63	2,10	6,67
	60	3,56	3,43	3,50	2,11	5,03
	98	3,96	3,50	3,73	2,13	6,24
	8	3,60	3,43	3,52	2,15	3,99
	144	3,44	3,37	3,40	2,12	6,34
	147	3,52	3,12	3,32	2,11	5,24
	151	3,70	3,54	3,62	2,13	3,70
	213	3,68	3,32	3,50	2,12	5,49
10	116	3,75	3,21	3,48	2,15	2,94
	47	3,45	3,43	3,44	2,12	5,43
	61	3,84	3,48	3,66	2,12	4,95
	21	3,60	3,58	3,59	2,12	5,39
	143	3,66	3,59	3,62	2,14	4,84
	64	3,621	3,489	3,555	2,11	5,20
	42	3,666	3,296	3,481	2,103	5,54
	214	3,658	3,547	3,6025	2,124	6,29
20	196	3,67	3,52	3,59	2,11	4,57
	160	3,54	3,52	3,53	2,11	4,51
	211	3,61	3,52	3,56	2,13	4,80
	125	3,76	3,62	3,69	2,11	4,93
	129	3,65	3,57	3,61	2,11	5,37
	79	3,68	3,51	3,60	2,12	5,14
	81	3,66	3,56	3,61	2,13	3,71
	99	3,95	3,59	3,77	2,12	4,72
30	88	3,48	3,46	3,47	2,10	4,22
	101	3,55	3,38	3,47	2,11	5,55
	12	3,49	3,35	3,42	2,11	4,74
	41	3,63	3,37	3,50	2,13	2,71
	97	3,55	3,54	3,54	2,11	5,57
	86	3,72	3,65	3,69	2,12	5,38
	102	3,80	3,43	3,62	2,10	4,68
	24	3,74	3,42	3,58	2,12	5,16
40	222	3,71	3,59	3,65	2,11	5,68
	189	3,72	3,55	3,63	2,12	5,33
	120	3,63	3,56	3,59	2,12	3,85
	154	3,56	3,52	3,54	2,14	5,39
40	57	3,54	3,37	3,46	2,13	5,03
	106	3,52	3,42	3,47	2,11	3,84
	115	3,62	3,16	3,39	2,12	3,41
	113	3,52	3,16	3,34	2,14	5,52

	155	3,58	3,44	3,51	2,12	5,24	
	220	3,73	3,57	3,65	2,11	5,10	
	235	3,56	3,43	3,50	2,13	5,60	
	226	3,53	3,36	3,45	2,13	5,89	
50	217	3,71	3,51	3,61	2,11	5,96	
	206	3,61	3,51	3,56	2,11	3,41	
	133	3,471	3,469	3,47	2,12	5,27	
	38	3,62	3,57	3,60	2,11	5,63	
	25	3,74	3,59	3,67	2,11	3,91	
	11	3,47	3,41	3,44	2,11	5,33	
	68	3,44	3,38	3,41	2,11	3,53	
	92	3,66	3,66	3,66	2,13	4,82	
	36	3,53	3,44	3,48	2,11	6,13	
	223	4,34	3,61	3,97	2,12	4,85	
	60	169	3,74	3,63	3,69	2,11	3,79
		192	3,62	3,38	3,50	2,10	6,13
		195	3,52	3,45	3,49	2,12	4,29
130		3,72	3,51	3,61	2,11	4,90	
5		3,67	3,62	3,65	2,10	4,54	
19		3,36	3,32	3,34	2,132	5,54	
50		3,45	3,27	3,36	2,12	5,04	
2		3,58	3,33	3,45	2,10	6,31	
70	166	3,58	3,41	3,50	2,11	4,43	
	232	3,81	3,43	3,62	2,12	5,23	
	148	3,58	3,46	3,52	2,11	5,73	
	139	3,55	3,55	3,55	2,15	6,43	
	55	3,64	3,42	3,53	2,107	5,59	
	67	3,516	3,51	3,51	2,12	3,43	
	96	3,55	3,47	3,51	2,12	5,83	
	53	3,44	3,31	3,37	2,12	5,41	

ANEXO K – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL- GRANITO (COM RETIRADA DO SAL)

CICLO	Amostra	Dimensões laterais			Dist (cm)	Resistência
		W1	W2	W	D	Is (50) (Mpa)
INICIAL	37	3,60	3,52	3,56	2,13	5,52
	105	3,69	3,51	3,60	2,12	5,24
	59	3,61	3,55	3,58	2,12	4,56
	114	3,73	3,60	3,66	2,11	4,61
	200	3,56	3,56	3,56	2,12	4,47
	190	3,57	3,47	3,52	2,12	5,23
	159	4,06	3,56	3,81	2,15	3,42
10	123	3,67	3,57	3,62	2,11	4,42
	183	3,56	3,56	3,56	2,10	5,22
	198	3,64	3,27	3,46	2,10	4,36
	31	3,62	3,54	3,58	2,13	4,67
	72	3,57	3,37	3,47	2,12	3,83
	22	3,42	3,34	3,38	2,13	4,27
	14	3,47	3,44	3,46	2,13	3,95
20	165	3,61	3,50	3,55	2,13	4,33
	216	3,61	3,57	3,59	2,15	3,46
	191	3,54	3,45	3,50	2,12	4,28
	74	3,61	3,50	3,56	2,12	4,23
	229	3,57	3,49	3,53	2,10	3,80
	52	3,62	3,52	3,57	2,10	1,99
	71	3,61	3,58	3,59	2,13	3,72
30	23	3,58	3,41	3,50	2,12	4,17
	63	3,68	3,47	3,57	2,12	2,80
	27	3,72	3,52	3,62	2,13	3,46
	93	3,67	3,56	3,61	2,12	3,48
	45	3,56	3,40	3,48	2,12	3,94
	184	3,53	3,45	3,49	2,10	4,08
	181	3,76	3,61	3,68	2,11	3,68
	182	3,73	3,51	3,62	2,10	4,20
40	26	3,59	3,42	3,51	2,11	4,42
	82	3,60	3,50	3,55	2,12	2,93
	108	3,62	3,51	3,57	2,13	2,97
	109	3,69	3,60	3,64	2,11	4,87
	131	3,55	3,35	3,45	2,12	3,37
	233	3,86	3,56	3,71	2,10	3,72
	142	3,71	3,41	3,56	2,12	3,88
	117	3,86	3,61	3,74	2,10	3,29

ANEXO L – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PONTUAL - GRANITO (SEM RETIRADA DO SAL)

CICLO	Amostra	Dimensões laterais			Dist (cm)	Resistência
		W1	W2	W	D	Is (50) (Mpa)
INICIAL	37	3,60	3,52	3,56	2,13	5,52
	105	3,69	3,51	3,60	2,12	5,24
	59	3,61	3,55	3,58	2,12	4,56
	114	3,73	3,60	3,66	2,11	4,61
	200	3,56	3,56	3,56	2,12	4,47
	190	3,57	3,47	3,52	2,12	5,23
	159	4,06	3,56	3,81	2,15	3,42
10	87	3,68	3,51	3,59	2,11	3,39
	29	3,65	3,62	3,64	2,11	2,54
	7	3,59	3,47	3,53	2,14	3,40
	28	3,78	3,37	3,57	2,11	4,94
	18	3,67	3,56	3,61	2,10	3,39
	122	3,86	3,65	3,75	2,15	2,89
	230	3,53	3,32	3,43	2,13	4,22
	141	3,57	3,48	3,53	2,11	4,15
176	3,76	3,59	3,67	2,12	3,67	
20	39	3,67	3,61	3,64	2,10	2,78
	56	3,50	3,48	3,49	2,11	3,10
	150	3,57	3,56	3,57	2,11	2,69
	132	3,77	3,45	3,61	2,15	3,68
	152	3,53	3,37	3,45	2,11	2,64
	185	3,68	3,55	3,61	2,12	3,83
	194	3,64	3,58	3,61	2,12	4,54
30	44	3,64	3,50	3,57	2,12	3,75
	46	3,84	3,43	3,63	2,14	3,21
	51	3,65	3,40	3,53	2,12	3,90
	119	3,57	3,57	3,57	2,11	2,82
	219	3,56	3,56	3,56	2,11	3,65
	187	3,57	3,50	3,54	2,11	4,14
	174	3,55	3,44	3,49	2,12	3,20
40	9	3,51	3,43	3,47	2,14	2,97
	89	3,55	3,51	3,53	2,11	3,07
	111	3,93	3,52	3,72	2,12	2,95
	15	3,64	3,45	3,55	2,14	3,39
	162	3,65	3,61	3,63	2,11	3,48
	136	3,65	3,58	3,61	2,12	3,83
	227	3,67	3,51	3,59	2,11	2,45
70	212	3,62	3,41	3,52	2,12	2,84
	149	3,53	3,46	3,49	2,12	2,97
	163	3,60	3,54	3,57	2,10	2,71
	231	3,60	3,50	3,55	2,10	2,71

	146	3,84	3,54	3,69	2,11	2,74
	6	3,86	3,35	3,60	2,12	2,31
	10	3,65	3,45	3,55	2,10	2,11
	66	3,55	3,41	3,48	2,11	1,90
	16	3,73	3,33	3,53	2,16	1,96