



**Rodrigo Brauns Teixeira**

**CRISTALIZAÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS E ATAQUES QUÍMICOS EM  
ROCHAS DE CANTARIA: EFEITOS MECÂNICOS E ESTÉTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2009



UFRJ

**Rodrigo Brauns Teixeira**

**CRISTALIZAÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS E ATAQUES QUÍMICOS EM  
ROCHAS DE CANTARIA: EFEITOS MECÂNICOS E ESTÉTICOS**

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

Orientador:

Emílio Velloso Barroso

Rio de Janeiro

Março de 2009

Teixeira, Rodrigo Brauns

**Cristalização de sais solúveis e ataques químicos em rochas de cantaria: efeitos mecânicos e estéticos/**

Rodrigo Brauns Teixeira - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009.

xiv, 61 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Emílio Velloso Barroso

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Emílio, Velloso Barroso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. Cristalização de sais solúveis e ataques químicos em rochas de cantaria: efeitos mecânicos e estéticos.

Rodrigo Brauns Teixeira

CRISTALIZAÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS E ATAQUES QUÍMICOS EM ROCHAS DE  
CANTARIA: EFEITOS MECÂNICOS E ESTÉTICOS

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

Orientador:

Emílio Velloso Barroso

Aprovada em: 03.03.2009

Por:

---

Orientador: Emílio Velloso Barroso (UFRJ)

---

Helena Polivanov (UFRJ)

---

Andréa Borges (UFRJ)

Aos meus pais Paulo Guaracy e Lenir, e meus  
irmãos Luís Gustavo e Lílian.

## Agradecimentos

Ao Professor Emílio, que além de orientar esse trabalho com grande atenção e presteza, foi um amigo e companheiro durante todo o trajeto.

A minha namorada Juliana, por toda a compreensão e suporte essenciais ao longo desses 5 anos.

A amiga Viviane Farroco, que com sua boa disposição e grandes idéias, foi fundamental para a realização desse trabalho.

Aos companheiros do LEMETRO, Amanda, Anderson, Gilmar e Rafael, pela amizade, suporte e boa dose de bom humor ao longo de todo o nosso convívio.

Às Professoras Helena Polivanov e Andréa Borges e ao Geólogo Cláudio Matta, por todo o apoio prestado.

Ao PIBIC/UFRJ pelo auxílio recebido através de bolsa de iniciação científica.

## Resumo

Teixeira, Rodrigo. **Cristalização de sais solúveis e ataques químicos em rochas de cantaria: efeitos mecânicos e estéticos**. 2009. XIV, 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

As rochas quando usadas na construção civil como elemento de cantaria em revestimento de fachada, ficam expostas a condições ambientais que podem ser agressivas e afetar seu desempenho na obra. O objetivo desse estudo é verificar e analisar os efeitos da cristalização de sais, precipitados a partir de soluções salinas, na degradação das propriedades geomecânicas e na superfície polida de rochas usadas como revestimento na construção civil, além de se verificar a ação de reagentes químicos na superfície polida das rochas. Foi induzido em laboratório um ritmo acelerado de exposição a solução salina para a rápida obtenção dos resultados da ação da cristalização dos sais na rocha e seus efeitos degradantes, representando as condições reais de intempérie. O ensaio realizado consiste na exposição das amostras de charnockitos e gnaisses a vários ciclos (30 para cada tipo de rocha) de imersão em solução salina supersaturada e posterior secagem em estufa, sendo os resultados inspecionados temporariamente de acordo com o número de ciclos. Tal inspeção consistiu na verificação do brilho superficial e da variação da resistência da rocha e a posterior comparação desses resultados com os obtidos nas amostras utilizadas como padrão de controle. Conclui-se que as soluções salinas são agentes claramente degradantes das rochas de cantaria, causando perda de resistência mecânica e perda de brilho da superfície polida das rochas. Sua ação foi mais intensificada nas amostras de charnockitos do que nas de gnaisses. Os reagentes químicos, sem excessão, causam perda de brilho superficial e alteração cromática em ambas as rochas.

Palavras-chave: rochas de cantaria; solução salina; cristalização de sais.

## Abstract

Teixeira, Rodrigo. **Soluble salts cristalization and chemical attacks in masonry rocks: mechanical and aesthetical effects**. 2009. XIV, 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Rocks, when used in civilian construction as masonry elements in building façades, are exposed to environmental conditions that can be aggressive and compromise their standing in the construction. The objective of this work is to analyze and verify the effects of salt crystallization, formed after saline solutions, in the decay of geomechanic properties and polished surfaces used as façades in civilian construction, and also to verify the effects of chemical reagents on the rock's polished surfaces. An accelerated saline solution exposure rhythm was produced under laboratory conditions aiming to have a quick result of salt crystallization in rocks and its decaying effects, all the while simulating real weathering conditions. The tests consisted in the exposure of charnockite and gneiss rock samples through many cycles of supersaturated saline solution immersion, followed by drying in heater, the results being constantly inspected in accordance with the number of cycles (30 to each rock type). Such inspection consists in the evaluation of surface glossiness and rock's strength variation, and posterior results comparing with the initial results obtained in rock samples used as pattern control. It is conclusive that saline solutions are clearly a masonry rock decaying agent, causing mechanical resistance loss and loss of surface glossiness in rocks. The greater effects were verified in the charnockites samples than in the gneiss samples. The chemical reagents, without exception, caused a superficial loss of glossiness and chromatic changes in both rock types.

Key-Words: masonry rocks; saline solution; salt crystallization.



## Lista de figuras

FIGURA 1: OS EFEITOS DA CRISTALIZAÇÃO DE SAIS EM UM BLOCO DE ARENITO. ....	19
FIGURA 2: A ASCENSÃO DE SOLUÇÕES SALINAS EM ROCHAS POR CAPILARIDADE.....	22
FIGURA 3: AMOSTRAS DE CHARNOCKITO APÓS A PREPARAÇÃO PARA OS ENSAIOS. ....	25
FIGURA 4: O MEDIDOR DE BRILHO WGG-60 .....	28
FIGURA 5: O MEDIDOR DE BRILHO WGG-60 E SUAS DUAS PLACAS POLIDAS DE CALIBRAÇÃO. O VALOR DO BRILHO SUPERFICIAL DE CADA UMA DELAS ESTÁ EXPOSTO NO VISOR.....	28
FIGURA 6: AMOSTRAS SUBMETIDAS AO ATAQUE DOS REAGENTES QUÍMICOS. (A) - CLORETO DE AMÔNIO, (B) - ÁCIDO CÍTRICO, (C) - ÁCIDO CLORÍDRICO, (D) - HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO, (E) - DETERGENTE .....	31
FIGURA 7: ORGANOGRAMA DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO E SUAS RESPECTIVAS EXPOSIÇÕES A SOLUÇÕES E NÚMEROS DE CICLOS.....	33
FIGURA 8: AMOSTRAS DE CHARNOCKITOS (A) E GNAISSES (B) SUBMETIDAS A AÇÃO DE CICLAGEM ÁGUA/ESTUFA.....	33
FIGURA 9: AMOSTRAS DE CHARNOCKITOS (A) E GNAISSES (B) APÓS 30 CICLOS DE EXPOSIÇÃO A SOLUÇÃO DE NaCl/ ESTUFA. O ACÚMULO DE NaCl É EVIDENTE SOBRE A SUPERFÍCIE DE TODAS AS AMOSTRAS. ....	34
FIGURA 10: CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA O POINT LOAD TEST. ....	35
FIGURA 11: AMOSTRA SENDO ROMPIDA PELA APLICAÇÃO DE CARGA .....	36
FIGURA 12: AMOSTRAS ROMPIDAS PELA APLICAÇÃO DE CARGA, NOTAR QUE TODAS AS FRATURAS FORAM CONSIDERADAS VÁLIDAS. ....	36
FIGURA 13: LÂMINA DO CHARNOCKITO INICIAL. OS CRISTAIS DE ORTOCLÁSIO SÃO DE GRANULOMETRIA MUITO MAIOR QUE OS DEMAIS CRISTAIS DA ROCHA (25x).....	39
FIGURA 14: LÂMINA DO GNAISSE INICIAL. NÃO HÁ DIREÇÃO DE DEFORMAÇÃO CLARAMENTE OBSERVÁVEL. OS CRISTAIS DE QUARTZO APRESENTAVAM EXTINÇÃO ONDULANTE (25x).....	39
FIGURA 15: LÂMINA DO CHARNOCKITO DO CICLO INICIAL COM SUAS FISSURAS REALÇADAS. QUASE TODAS AS FISSURAS SE ENCONTRAM SOBRE UM CRISTAL DE ORTOCLÁSIO. ....	40
FIGURA 16: LÂMINA DO CHARNOCKITO DO 20º CICLO COM SUAS FISSURAS REALÇADAS. AS FISSURAS ESTÃO MAIS DISTRIBUÍDAS SOBRE A LÂMINA EM RELAÇÃO AO CICLO INICIAL. ....	40
FIGURA 17: AMOSTRA DE GNAISSE COM FISSURAS SE PROPAGANDO PARALELAMENTE A DIREÇÃO DA FOLIAÇÃO. ....	41
FIGURA 17: CHARNOCKITOS EXPOSTOS À AÇÃO DE REAGENTES QUÍMICOS. AMOSTRA NO ESTADO INICIAL (A), APÓS AÇÃO DE DETERGENTE (B), CLORETO DE AMÔNIO (C), HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO (D), ÁCIDO CÍTRICO (E), ÁCIDO CLORÍDRICO (F). A ESCALA NAS FOTOS ESTÁ EM CENTÍMETROS. ....	45
FIGURA 18: GNAISSES EXPOSTOS À AÇÃO DE REAGENTES QUÍMICOS. AMOSTRA NO ESTADO INICIAL (A), APÓS AÇÃO DE DETERGENTE (B), CLORETO DE AMÔNIO (C), HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO (D), ÁCIDO CÍTRICO (E), ÁCIDO CLORÍDRICO (F). A ESCALA DA FIGURA ESTÁ EM CENTÍMETROS. ....	46
FIGURA 19: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DO Nº DE CICLOS DO CHARNOCKITO SOB EFEITO DA CICLAGEM ÁGUA/ESTUFA. ....	47
FIGURA 20: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DO Nº DE CICLOS DO CHARNOCKITO SOB EFEITO DA CICLAGEM SOLUÇÃO NaCl/ESTUFA.....	47
FIGURA 21: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DO Nº DE CICLOS DO GNAISSE SOB EFEITO DA CICLAGEM SOLUÇÃO ÁGUA/ESTUFA. ....	48
FIGURA 23: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DO Nº DE CICLOS DO GNAISSE SOB EFEITO DA CICLAGEM SOLUÇÃO NaCl/ESTUFA.....	49

## Lista de Tabelas

TABELA 1: CONCENTRAÇÃO DOS ÂNIOS NOS BLOCOS DAS FACHADAS. ANÁLISE REALIZADA POR CROMATOGRAFIA IÔNICA.....	23
TABELA 2: CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS NOS BLOCOS DAS FACHADAS. ANÁLISE REALIZADA POR ABSORÇÃO ATÔMICA. ....	24
TABELA 3: MÉDIA DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS INICIAIS DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO E GNAISSE. ....	37
TABELA 4: MÉDIA DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO E GNAISSE APÓS CICLAGENS. ....	37
TABELA 5: VALOR DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITOS SUBMETIDAS A CICLAGEM ÁGUA/ESTUFA.....	42
TABELA 6: VALOR DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITOS SUBMETIDAS A CICLAGEM SOLUÇÃO DE NaCl/ESTUFA. ....	42
TABELA 7: VALOR DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE GNAISSE SUBMETIDAS A CICLAGEM ÁGUA/ESTUFA. ....	42
TABELA 8: VALOR DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE GNAISSE SUBMETIDAS A CICLAGEM SOLUÇÃO NaCl/ESTUFA.....	43
TABELA 9: MÉDIA DOS VALORES DA PERDA DE BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO. ....	43
TABELA 10: MÉDIA DOS VALORES DE ALTERAÇÃO DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE GNAISSE. ....	44
TABELA 11: PERDA DE BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE CHARNOCKITO. ....	45
TABELA 12: PERDA DE BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA DAS AMOSTRAS DE GNAISSE.....	45

## Sumário

<i>Agradecimentos</i> .....	<i>viii</i>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 ENUNCIÇÃO DO TEMA .....	14
1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 INTEMPERISMO .....	16
2.2 A AÇÃO DOS SAIS SOLÚVEIS EM ROCHAS .....	18
2.3 A ORIGEM DAS SOLUÇÕES SALINAS .....	21
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	25
3.2 DIAGNOSE PETROGRÁFICA .....	25
3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS .....	26
3.3.1 <i>Porosidade (<math>\eta</math>)</i> .....	26
3.3.2 <i>Teor de umidade na saturação (<math>\omega</math>)</i> .....	27
3.3.3 <i>Massa específica aparente seca (<math>\rho_d</math>)</i> .....	27
3.4 MEDIDA DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA.....	27
3.5 ATAQUE QUÍMICO DA SUPERFÍCIE POLIDA.....	29
3.6 CICLAGEM ARTIFICIAL ÁGUA/SOLUÇÃO NaCl – ESTUFA .....	31
3.7 "POINT LOAD TEST "(ISRM - 1985) .....	34
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS .....	37
4.2 DENSIDADE DE FISSURAS.....	40
4.3 MEDIDA DO BRILHO DA SUPERFÍCIE POLIDA.....	41
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>49</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Enunciação do Tema

Rochas têm sido utilizadas na construção de edificações durante toda a história da humanidade. Sua ampla utilização advém de suas grandes vantagens, principalmente a sua grande resistência mecânica, boa durabilidade e sua farta abundância ao redor do planeta. São encontradas nos dias atuais tanto em construções modernas como em monumentos antigos com valor histórico.

Em edificações as rochas desempenham funções estruturais, servindo como colunas e pilares, como cantaria revestindo paredes, fachadas e pisos, tanto no interior como no exterior dessas construções.

Outra forma de utilização bastante difundida de rochas em edificações é como elemento decorativo pois, além de oferecer resistência e durabilidade, possuem grande variedade de padrões cromáticos aumentando as opções estéticas da obra de forma geral. As principais áreas de utilização de rochas ornamentais na construção civil são em revestimentos externos e internos, pavimentação (pisos), arte fúnebre e religiosa, peças de mobiliário, pias, lavabos, cantoneiras e projetos arquitetônicos gerais (DRM, 2009). Devido a ampla utilização de rochas em diversas funções nas construções realizadas pela humanidade ao longo de toda sua história o estudo de sua degradação e alterabilidade e, principalmente, de suas causas, é essencial para a proposição de medidas de conservação e restauração das mesmas.

Dentre os estudos voltados para a conservação e manutenção adequada de rochas em edificações históricas, destacam-se na Europa o mármore, o arenito, o granito e as rochas basálticas. No Brasil esse tipo de estudo ainda é pouco divulgado, podendo-se

citar principalmente os esteatitos (pedra-sabão) das obras de Aleijadinho em Minas Gerais (Silva & Roeser, 2003).

## 1.2 Objetivos e justificativas

Devido a grande utilização comercial de rochas ao redor do mundo, muitos pesquisadores passaram a estudar os efeitos resultantes da sua alterabilidade, pois a degradação das rochas pode resultar em alteração de suas propriedades mecânicas, comprometendo estruturas quando a rocha desempenhar função estrutural. A alteração das características originais das rochas pode levar também a perda do seu valor estético quando elas estiverem sendo utilizadas como elementos de ornamentação. A reposição de rochas de cantaria com alto grau de degradação pode se tornar extremamente onerosa. Quando se trata de monumentos históricos pode até mesmo 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.

O principal obstáculo ao estudar a alteração de rochas ornamentais é a dificuldade de se reproduzir, em escala de tempo reduzida, os efeitos da interação da rocha com o ambiente sem se afastar excessivamente das condições exógenas naturais. Por esta razão, os resultados desses experimentos devem ser entendidos apenas como indicadores da compreensão dos efeitos produzidos pelos agentes ambientais que promovem a alterabilidade das rochas, de forma a permitir recomendações sobre a maneira mais adequada de aplicação e manutenção (Morais *et al.*, 2003).

O objetivo desse trabalho é identificar e avaliar os efeitos da cristalização de sais solúveis em rochas comumente utilizadas como cantaria, avaliando a degradação de sua resistência mecânica e a perda de suas características estéticas devido a perda do brilho da superfície polida, assim como verificar o efeito de certos reagentes químicos sobre o

brilho da superfície polida das rochas. Como objeto de estudo foram utilizados um charnockito e um gnaiss, ambos obtidos diretamente em uma marmoraria por facilitar a preparação das amostras para o estudo.

Portanto a correta avaliação da alterabilidade resultante da ação de sais salinos nas rochas é fundamental para fazer a prescrição adequada de rochas ornamentais em construções modernas e propor medidas corretas de conservação e/ou restauração em monumentos históricos quando estes se encontram expostos a um ambiente salino. Além dos efeitos dos sais solúveis, quase como um capítulo em separado, verificou-se também como diferentes ataques químicos afetam o brilho da superfície das rochas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Intemperismo**

Intemperismo é o conjunto de fenômenos de ordem física, química e biológica, de ocorrência natural, que causam a alteração *in situ* das rochas e seus minerais constituintes. O intemperismo ocorre em condições de temperatura e pressão encontradas na superfície da Terra, diferente do metamorfismo, que provoca transformações nas rochas em condições de temperatura e pressão mais elevadas. Segundo Toledo *et al.* (2000) os processos intempéricos atuam através de mecanismos modificadores das propriedades físicas dos minerais e rochas (morfologia, resistência, textura, etc.), e de suas características químicas. Em função dos mecanismos predominantes de atuação, são normalmente classificados em intemperismo físico e intemperismo químico. Quando a ação (física ou bioquímica) de organismos vivos ou da matéria orgânica proveniente de sua decomposição participa do processo, o intemperismo é chamado de físico-biológico ou químico-biológico.

Dos três tipos de intemperismo o mais relevante nesse estudo é o intemperismo físico, em especial o intemperismo resultante da ação dos sais solúveis nas rochas. O intemperismo físico atua pela desintegração física e degradação mecânica das rochas, promovendo um aumento da superfície específica das partículas minerais, sem modificações na sua estrutura cristalina (Salomão & Antunes, 1998).

As variações de temperatura ao longo dos dias e noites e ao longo das diferentes estações do ano causam expansão e contração térmica nos materiais rochosos, levando-os à fragmentação dos grãos minerais. Além disso, os minerais, com diferentes coeficientes de dilatação térmica, comportam-se de forma diferenciada às variações de temperatura, o que provoca deslocamento relativo entre os cristais, rompendo a coesão inicial entre os grãos. A mudança cíclica de umidade também pode causar expansão e contração e, em associação com a variação térmica, provoca um efetivo enfraquecimento e fragmentação das rochas. Este mecanismo é especialmente eficiente nos desertos, onde a diferença de temperatura entre o dia e a noite é muito marcada (Toledo *et al.*, 2000).

Um caso de crescimento de cristais, causando intemperismo físico, é verificado quando a água que preenche fissuras e poros das rochas sofre congelamento. O volume da água contida torna-se 9,2% maior pelo congelamento e passa a exercer uma pressão de expansão por congelamento, de cerca de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , suficiente para fraturar uma rocha como o granito (Suguio, 2003).

O intemperismo físico também ocorre quando as partes mais profundas dos corpos rochosos ascendem a níveis crustais mais superficiais. Com o alívio da pressão, os corpos rochosos expandem, causando a abertura de fraturas grosseiramente paralelas à superfície ao longo da qual a pressão foi aliviada. Estas fraturas recebem o nome de juntas de alívio (Toledo *et al.*, 2000).

A ação das raízes de plantas é um importante agente intempérico. Ao penetrar nos vazios existentes nas rochas, essas raízes aumentam o tamanho das fendas podendo causar a desagregação de blocos.

A cristalização de sais dissolvidos nas águas de infiltração tem o mesmo efeito. Com o passar do tempo, o crescimento desses minerais também causa expansão das fissuras e fragmentação das rochas. Essa cristalização pode chegar a exercer pressões enormes sobre as paredes das rochas, não somente devido ao próprio crescimento dos cristais, mas também por sua expansão térmica, quando a temperatura aumenta nas horas mais quentes do dia, ou pela absorção de umidade. Esse tipo de intemperismo físico é um dos principais problemas que afetam os monumentos. Os sais mais comuns que se precipitam nas fissuras das rochas são cloretos, sulfatos e carbonatos originados da própria alteração intempérica da rocha, que são dissolvidos pelas soluções percolantes provenientes das chuvas (Toledo, 2000).

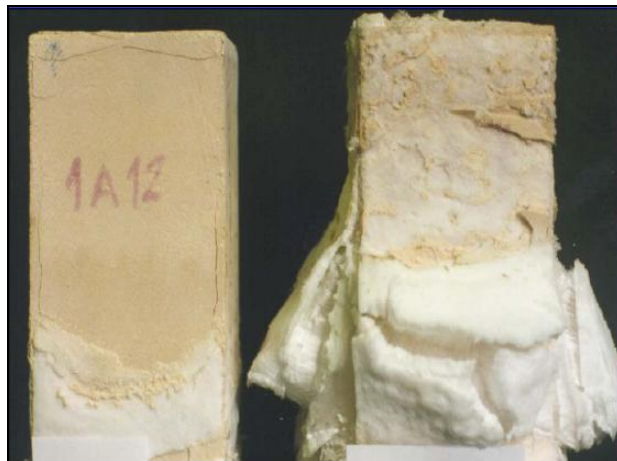
O intemperismo físico e suas causas, em ambientes naturais, são bastante estudados e relativamente bem conhecidos por diversos pesquisadores ao redor do mundo, porém a alteração em ambiente construído e seus efeitos sobre as rochas são ainda pouco conhecidos e estudados. O crescente interesse pela preservação de monumentos históricos que utilizam rochas como um dos componentes de construção e os esforços realizados para restaurar os que se encontram em avançado estágio de degradação incentivam ainda mais pesquisas nessa área.

## **2.2 A ação dos sais solúveis em rochas**

Apesar dos estudos realizados a respeito, os processos de cristalização de sais ainda são pouco compreendidos, assim como seus efeitos sobre as rochas. Existem vários modelos de cristalização de sais disponíveis na literatura mundial, mas nenhum deles consegue explicar todos os fenômenos de cristalização que ocorrem, já que



diversos fatores a influenciam. Segundo Rodriguez-Navarro e Doehne (1998) os vários estudos realizados onde são verificados certos efeitos e danos causados pela cristalização de sais (figura 1) nos dão valiosas informações sobre o assunto, mas esses mesmos estudos geram resultados que não podem ser diretamente comparados e podem até mesmo complicar o já pequeno conhecimento sobre o tema, principalmente quando se utilizam parâmetros de controle de ação de sais e dinâmicas de alteração diferentes. Ainda segundo Rodriguez-Navarro & Doehne (1998), não há certeza nem sobre qual parâmetro é considerado mais determinante para os efeitos degradantes da ação dos sais. Alguns autores consideram as propriedades das rochas como o principal determinante (McGreevy, 1996 *in*: Rodriguez-Navarro & Doehne, 1998), outros consideram as condições ambientais (Sperling & Cooke, 1985 *in*: Rodriguez-Navarro & Doehne, 1998), enquanto outros se concentram na composição dos sais (Kwaad, 1970; Goudie, 1993, *in*: Rodriguez-Navarro & Doehne, 1998).



**Figura 1: Os efeitos da cristalização de sais em um bloco de arenito.**  
**Fonte: Delgado Rodrigues (2006)**

Um estudo mais aprofundado do efeito da cristalização de sais solúveis em rochas foi realizado, sob um ponto de vista físico-químico, por Wellman & Wilson (1965). Apesar de o foco inicial ser a ação da cristalização desses sais em ambiente natural, uma associação dos efeitos pode muito bem ser feita com as rochas em ambiente construído.

Segundo os autores, a fragmentação de rochas pela cristalização de sais, por conveniência classificado como "intemperismo salino", é importante em dentro de um campo específico de ambientes e produz formas topográficas características. Rochas relativamente duras podem ser completamente quebradas até pequenos fragmentos se as saturarmos em uma solução salina e permitindo que o sal se cristalize nos interstícios (Glaessner, 1948 *in*: Wellman & Wilson, 1965). A energia química livre de uma determinada massa de sólido aumenta junto com a sua área superficial. Portanto qualquer sistema tende a reduzir sua área de interface a um mínimo (Thomson *et al.* 1858 *in*: Wellman & Wilson, 1965), e em um sistema contendo cristais em equilíbrio em uma solução saturada os cristais maiores vão crescer as custas dos cristais menores. É menos óbvio o porquê, quando os maiores cristais preenchem inteiramente um poro, eles continuam a crescer contra a constrição imposta pelas paredes do poro, expandindo o poro e fragmentando a rocha.

Considerando a cristalização em um sólido poroso com poros grandes e pequenos preenchidos com uma solução salina saturada, onde a água sofre evaporação deixando somente o soluto no sistema, inicialmente irá ocorrer a formação de cristais maiores nos poros grandes que vão crescer as custas dos cristais menores nos poros pequenos, resultando em um total preenchimento dos poros grandes. Esse crescimento ocorrerá até que ocorra uma fratura mecânica ou que haja um crescimento do cristal através dos poros capilares. Para ocorrer ou não fratura em um dado cristal depende do quão reduzido são os poros pequenos e qual o valor da tensão interfacial entre a face do cristal e a solução saturada em que ele se encontra, comparado com a força mecânica do material poroso. Segundo Wellman & Wilson (1965) rochas com igual força mecânica, aquelas com poros grandes separados entre si por regiões de micro-poros serão as mais suscetíveis ao intemperismo salino.

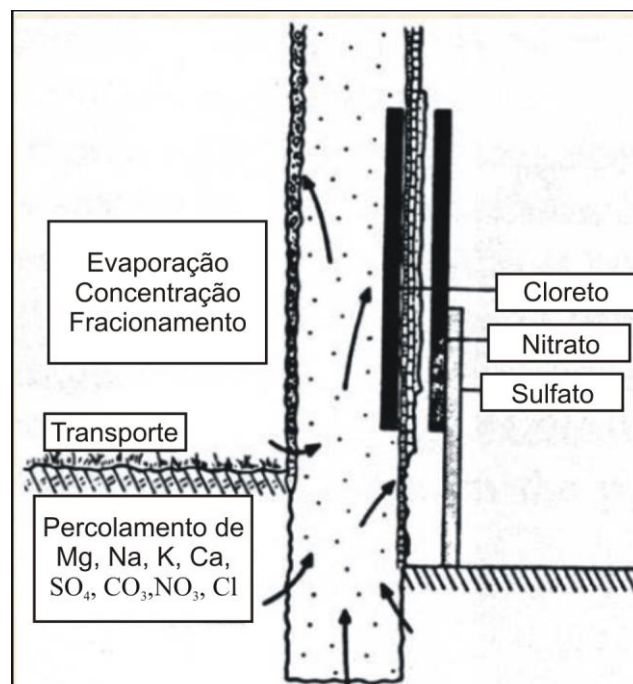
O modelo de Wellman & Wilson é contestado por vários autores. A teoria termodinâmica na qual esse modelo foi baseado, segundo Evans (1970) é válida para interações líquido-gás e líquido-líquido, mas o seu uso para interações sólido-líquido ainda não foi validado. O modelo também é contestado por Tiller (1991), que diz que a pressão capilar, que é válida pra líquidos, é uma quantidade "fictícia" quando aplicada a sólidos. Navarro-Rodriguez e Doehne (1998) mostraram em seus ensaios que a cristalização de NaCl se dava nos poros pequenos das rochas as custas dos poros grandes, fato ainda mais evidenciado quando o solvente começava a evaporar e a solução resultante ficava muito mais concentrada. Esses resultados vão diretamente contra o modelo de Wellman & Wilson e demonstram como ainda não existe consenso na comunidade científica sobre o assunto.

Uma determinação exata do tempo real que os ensaios de cristalização representam é algo ainda não discutido e pouco estudado por pesquisadores. Devido a grande quantidade de fatores que controlam a intensidade da cristalização dos sais em rochas, é difícil fazer uma correlação exata e precisa do tempo utilizado nos ensaios em laboratório com os verificados em rochas em ambiente externo. Exemplos a respeito da disparidade do tempo de ação da soluções salinas podem ser vistos na Europa onde prédios históricos apresentam a centenas de anos patologias resultantes da cristalização de sais enquanto algumas edificações modernas apresentam efeitos similares em apenas alguns anos.

### **2.3 A origem das soluções salinas**

Os sais cristalizados em rochas em ambiente construído são oriundos da ação de soluções salinas, que precipitam os cristais de sais nos poros das rochas. Essas soluções por sua vez são originadas pela ação de três tipos de mecanismos de transporte.

O transporte de sais solúveis em água pode ocorrer por capilaridade a partir do solo (figura 2). A proximidade com o lençol freático ou outra fonte de água, como o sistema de esgoto de uma cidade, pode fazer com que soluções com grandes concentrações de sais ascendam através dos poros das rochas em contato com o solo. A água, que é o solvente do sistema, percola pela rocha e ascende em função da poropressão até o ponto em que evapora completamente, deixando os sais (o soluto do sistema) dentro dos poros das rochas. Os sais mais comumente encontrados são os sulfatos, nitratos e cloretos (Arnold & Zehnder, 1988). A ordem de cristalização desses sais é dada em função de sua solubilidade na água, sendo os sulfatos os menos solúveis e se cristalizando em regiões mais baixas das rochas quando o solvente começa a evaporar. Os nitratos atingem maiores alturas devido a sua maior solubilidade em relação ao sulfatos e, por fim, os cloretos se cristalizam pois são os mais solúveis em água, atingindo as maiores alturas dentro das rochas.



**Figura 2: A ascensão de soluções salinas em rochas por capilaridade.**  
**Fonte: Arnold & Zehnder (1988).**

Outra forma de origem de soluções salinas são as névoas salinas oriundas da água do mar. A o ar atmosférico próximo ao mar retém em suspensão os íons e cátions dos sais contidos na água do mar e pela ação do vento são levados até a costa. O contato da névoa salina com as construções deposita os cátions e íons em sua superfície, que voltam a se associar, formando sais na superfície de contato. Como exemplo pode ser mencionado a Igreja de Nossa Senhora do Outeiro da Glória, onde foram encontrados por Silva & Teixeira (2007), através do método de cromatografia iônica, ânions e cátions de sais na superfície de suas rochas de cantaria (tabelas 1 e 2). Devido à proximidade com o mar a provável causa do depósito desses sais é a ação de névoas salinas, o que é corroborado pela maior concentração de ânions de Cl e cátions de Na em relação aos outros elementos.

**Tabela 1: Concentração dos ânions nos blocos das fachadas. Análise realizada por cromatografia iônica. Fonte: Silva & Teixeira (2007)**

Fachada	Bloco	Ânion (ppm)					
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sup>-3</sup>	PO <sup>-3</sup>	SO <sup>-2</sup>
1	14.4	1,1	3,51	< 0,02	8,35	0,69	11,5
1	9.2	3,2	14,3	< 0,02	3,23	0,75	11,9
1	7.2	1,21	2,4	< 0,02	1,66	0,57	3,69
1	6.2	1,38	2,4	< 0,02	18,6	0,89	10,7
2	11.2	2,4	25,4	< 0,02	7,11	3,76	13,2
2	8.2	2,63	3,8	< 0,02	2,63	6,21	18,5
2	6.1	1,88	4,06	0,79	2,09	0,67	8,97
2	5.1	2,15	3,32	< 0,02	3,17	3,58	13,8
3	9.5	1,2	3,71	< 0,02	6,88	0,42	29,7
3	5.1	2,1	4,97	< 0,02	4,12	1,44	23,7
3	4.3	0,38	44,7	< 0,02	12,6	1,49	9,02
3	3.5	1,3	10,1	< 0,02	3,58	13,1	20,7
3	1.5	6,4	11,5	< 0,02	4,08	1,6	15,8
6	8.2	1,24	21,75	0,82	24	< 0,04	36,5
6	4.1	4,3	4,02	< 0,02	11,4	0,5	16,6
Soma		32,87	159,94	1,61	113,5	35,67	244,28

**Tabela 2: Concentração dos cátions nos blocos das fachadas. Análise realizada por absorção atômica.**  
**Fonte: Silva & Teixeira (2007)**

Fachada	Bloco	Cátions (ppm)								
		Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni
1	14.4	9,06	4,2	0,4	4,11	6,76	0,21	0,09	0,68	0,13
1	9.2	6,64	7,95	0,78	6,7	7,84	0,34	0,21	0,45	0,11
1	7.2	5,57	3	0,84	5,52	7,98	0,21	0,1	0,29	0,11
1	6.2	4,43	3,13	0,83	5,13	8,54	0,24	0,08	0,21	0
2	11.2	5,62	4,24	0,61	5,61	3,54	0,25	0,06	0,26	0,05
2	8.2	7,23	3,53	0,67	3,96	2,61	0,25	0,09	0,68	0
2	6.1	6,32	2,31	0,24	1,66	1,68	0,24	0,02	0,15	0
3	9.5	9,31	2,27	1,45	5,61	1,44	0,21	0,1	0,08	0,03
3	5.1	5,21	3,42	0,29	4,6	5,09	0,23	0,04	0,12	0,07
3	4.3	6,31	4,72	0,49	3,33	3,75	0,23	0,05	0,71	0,03
3	3.5	7,09	5,85	0,82	4,12	3,97	0,2	0,14	1,26	0
3	1.5	8,37	7,72	0,9	4,87	1,95	0,24	0,08	1,06	0,08
6	8.2	10,22	9,7	0,38	3,09	2,48	0,21	0,04	0,02	0
Soma		91,38	62,04	8,70	58,31	57,63	3,06	1,10	5,97	0,61

O terceiro fator que provoca soluções salinas em ambiente construído é presença de sais nas argamassas de fechamento (cimento Portland), que ao entrar em contato com água podem reagir de várias maneiras dependendo da composição química dos sais presentes. Soluções de sais de magnésio podem reagir com o hidróxido de cálcio presentes na pasta de cimento Portland, formando sais solúveis de cálcio que podem ser lixiviados. Quando o hidróxido de cálcio é lixiviado do concreto ao entrar em contato com a água, ele reage com o  $\text{CO}_2$  e precipita carbonato de cálcio na superfície, gerando crostas brancas num fenômeno conhecido como eflorescência. Outras reações químicas podem resultar em enfraquecimento da resistência do concreto ou da perda de sua massa. Isso ocorre, por exemplo, quando há reações entre o cimento Portland e sulfatos oriundos da água do mar ou de águas subterrâneas, que provocam reações expansivas no concreto, causando fissuras e deixando-o mais permeável, e portanto mais vulnerável a ação da água, e menos resistente.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Preparação das amostras

Para a realização desse trabalho foram utilizadas 160 amostras de rochas, sendo 80 amostras de gnaiss e 80 amostras de charnockito (figura 3). Cada amostra se constitui de um corpo de prova com dimensões aproximadas de 4cm x 4cm x 2cm. Cada amostra possuía uma face polida. As amostras utilizadas nesse trabalho foram selecionadas entre um universo de 300 amostras de cada tipo de rocha. A razão disto foi obter grupos de amostras com propriedades petrofísicas mais semelhantes possível entre os corpos de prova. Essas rochas foram escolhidas por sua ampla utilização comercial como rochas ornamentais e de cantaria.



Figura 3: Amostras de charnockito após a preparação para os ensaios.

#### 3.2 Diagnose Petrográfica

Foram confeccionadas lâminas delgadas para as amostras das rochas estudadas no estado inicial e após cada 10 ciclos de ensaio de alteração acelerada.

Nas lâminas de gnaiss e charnockito em estado natural procurou-se determinar a composição mineralógica, as texturas existentes, a granulação, o grau de fissuramento

inicial, bem como indícios de alterações presentes antes do início dos testes de alteração acelerada.

Para avaliar o efeito da cristalização de sais solúveis nas amostras de charnockito determinou-se a densidade de fissuras no estado inicial e nos subseqüentes. Isto foi feito apenas para os charnockitos porque os ortoclásios já se encontravam fissurados e o intuito foi verificar se estas fissuras se propagavam com os ensaios de alteração acelerada.

A densidade de fissuras foi calculada pela razão entre a soma dos comprimentos das fissuras em determinada área de amostragem na lâmina e a área usada para amostragem.

### **3.3 Determinação das propriedades petrofísicas**

As propriedades petrofísicas foram verificadas segundo a norma NBR 12766 (ABNT, 1992). Foram medidas a massa seca ( $M_s$ ), saturada ( $M_{st}$ ) e submersa ( $M_{sb}$ ), e calculados a porosidade aparente (%), o teor de umidade na saturação (%) e peso específico aparente seco ( $g/cm^3$ ). Essas propriedades permitem avaliar indiretamente o estado inicial das rochas.

#### **3.3.1 Porosidade ( $\eta$ )**

Representa a porcentagem de volume de vazios contidos em uma amostra em relação ao seu volume total. Este volume de vazios tem influência na quantidade de absorção de água. Os vazios presentes na rocha podem ser relacionados ao grau de fraturamento ou da natureza da rocha. A porosidade foi determinada através da equação:



$$\eta = \left\{ \frac{(M_{st} - M_s)}{(M_{st} - M_{sb})} \right\} \times 100 \quad (1)$$

### 3.3.2 Teor de umidade na saturação ( $\omega$ )

Expressa a massa de fluido absorvida pela rocha em relação à massa do sólido quando o grau de saturação é máximo. O teor de umidade na saturação nas amostras foi calculado através da equação:

$$\omega(\%) = \left\{ \frac{(M_{st} - M_s)}{(M_s)} \right\} \times 100 \quad (2)$$

### 3.3.3 Massa específica aparente seca ( $\rho_d$ )

Quantifica a massa do material em estudo em relação ao seu volume. A massa específica aparente seca das amostras foi calculada através da equação:

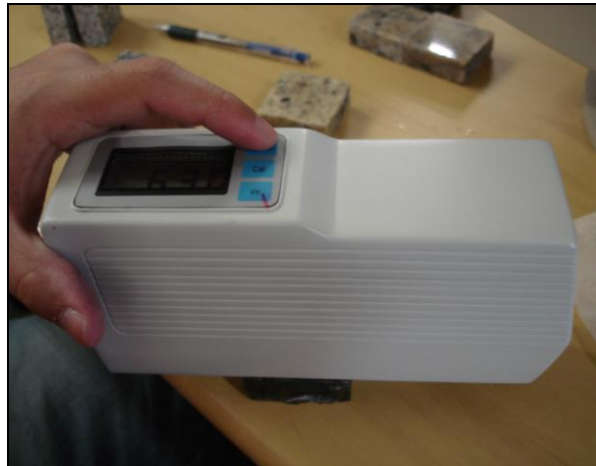
$$\rho_d = \frac{M_s}{(M_{st} - M_{sb})} \quad (3)$$

## 3.4 Medida do brilho da superfície polida

A intensidade do brilho da superfície polida de cada amostra foi medida utilizando-se um medidor de brilho de superfícies planas baseado em microprocessador WGG-60 da T&M Instruments (figura 4).

O aparelho possui uma janela de visada retangular de 4,4cm x 2,0cm que deve ser colocada sobre a superfície da rocha que se deseja medir o brilho. Em cada extremidade dessa janela de visada há uma lente ótica com distintas funções. Uma delas emite um raio de luz branca com ângulo de incidência de 60°, em relação a vertical, sobre a superfície polida e o mesmo é refletido com mesmo o mesmo ângulo até a outra lente, que é a receptora. A intensidade do raio de luz que chega nessa lente é medida em

função da intensidade de luz que foi enviada pela primeira lente e é calculado então o quanto foi perdido dessa intensidade luminosa. A informação é então disponibilizada em um visor mostrando o valor do brilho da superfície polida. A medida do brilho superficial do aparelho é dada em GSU (Glossmeter Unit) ou unidades de brilho.



**Figura 4: O medidor de brilho WGG-60**

A calibração do aparelho é feita utilizando-se duas placas polidas padrão (figura 5). Uma placa polida preta representa o valor de calibração de alto brilho de uma superfície polida na escala do aparelho, sendo o seu valor igual a 95,0 GSU. A outra é uma placa polida branca que representa o valor baixo de brilho de uma superfície polida, seu valor variando de 34,0 até 37,0 GSU. Os valores máximos e mínimos de leitura do aparelho são 120 GSU e 0 GSU, respectivamente.



**Figura 5: O medidor de brilho WGG-60 e suas duas placas polidas de calibração. O valor do brilho superficial de cada uma delas está exposto no visor.**

Foram medidos os brilhos iniciais de cada amostra utilizada nesse trabalho e posteriormente foram medidos os seus brilhos após a submissão dos ensaios de ataque químico e ciclagens água/estufa e solução NaCl/estufa. A superfície polida de cada amostra foi limpa antes do início de cada medição. A mudança do valor de brilho foi calculada e expressa em porcentagem de ganho ou perda de brilho em relação ao valor do brilho inicial.

### **3.5 Ataque químico da superfície polida**

Esses ensaios foram realizados para verificar os eventuais efeitos deletérios de produtos químicos que fazem parte de composição de produtos de limpeza disponíveis no comércio.

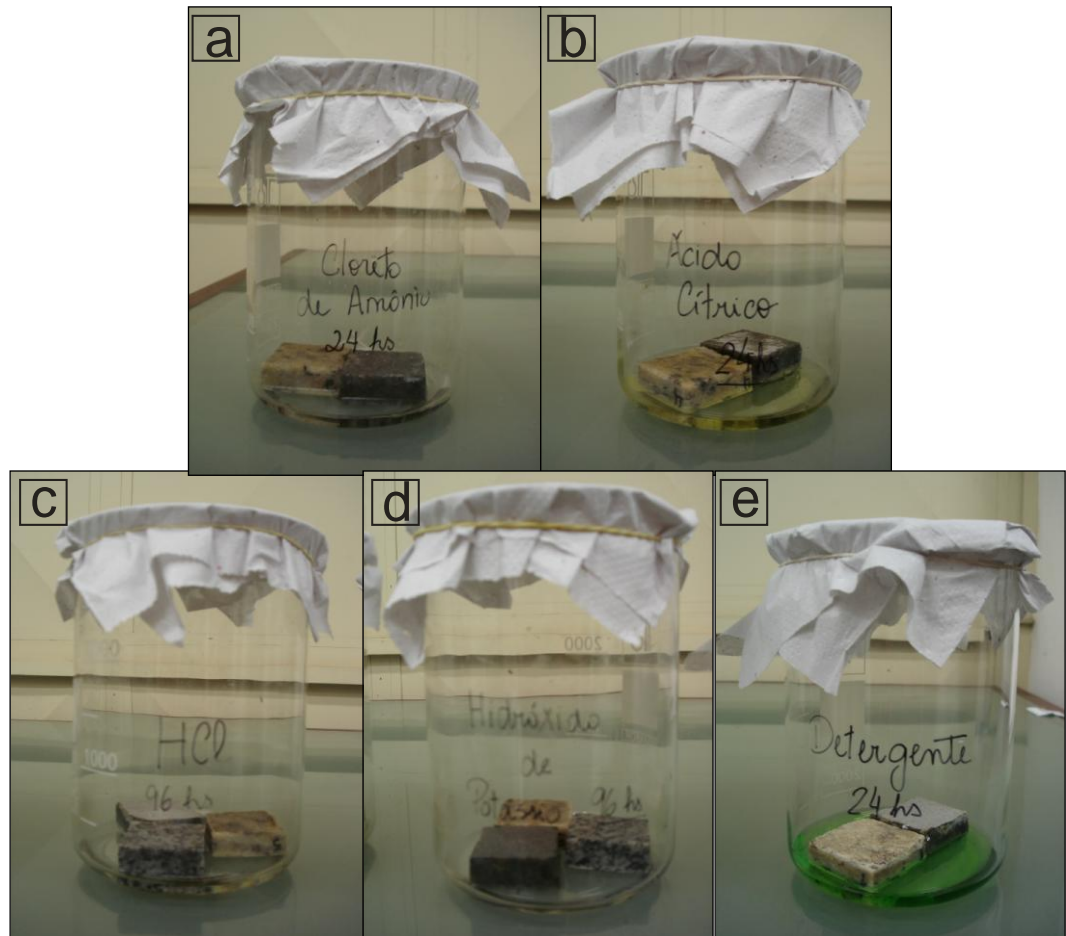
Os dois tipos de rochas foram expostos à ação de cinco reagentes químicos diferentes. Foram utilizados 5 corpos de prova do charnockito e 5 corpos de prova para o gnaisse, cada corpo de prova medindo aproximadamente 5cm x 5cm x 2cm. Cada corpo de prova teve sua superfície polida limpa e foi calculado o valor de brilho da superfície polida de cada um deles.

Foram utilizados 5 becheres para submeter as amostras aos ensaios. Cada recipiente continha um reagente químico, no qual seriam colocadas duas amostras, uma de charnockito e uma de gnaisse. As soluções químicas utilizadas e os respectivos de tempos de exposição das amostras a elas foram:

- Solução de Ácido Clorídrico 3% v/v, durante o período de 96 horas;
- Solução de Hidróxido de Potássio 100g/L, durante o período de 96 horas;
- Solução de Ácido Cítrico 100g/L, durante o período de 24 horas;
- Solução de Cloreto de Amônio 100g/L, durante o período de 24 horas;
- Ação de detergente de composição alquil benzeno sulfonato de sódio, lauril éter sulfato de sódio, neutralizantes, sequestrante, espessantes, conservante, fragrância, corantes e água.

O método aqui empregado baseou-se no trabalho de Santos & Caranassios (2007). Os corpos foram colocados no copo de Becher, com suas superfícies polidas voltadas para o fundo do recipiente, tomando o devido cuidado para manter o contato de toda a área da superfície polida com o reagente químico sendo utilizado. Os Becheres foram cobertos para evitar a evaporação do solvente e alterar a concentração da solução (figura 6).

Após os devidos tempos de exposição as amostras foram retiradas, suas superfícies polidas foram mais uma vez limpas e seu brilho foi medido. O valor verificado foi comparado com o valor inicial e foi calculada, em porcentagem, a perda ou ganho de brilho.



**Figura 6: Amostras submetidas ao ataque dos reagentes químicos. (A) - Cloreto de Amônio, (B) - Ácido Cítrico, (C) - Ácido Clorídrico, (D) - Hidróxido de Potássio, (E) - Detergente**

### 3.6 Ciclagem artificial água/solução NaCl – estufa

O ensaio consiste na realização de ciclos de saturação das amostras em solução salina de NaCl e água destilada e secagem em estufa, com o intuito de avaliar diretamente, em um ambiente controlado, a ação da cristalização dos sais nas rochas e a ação da água sobre as mesmas, comparando-as com o estágio inicial em que se encontravam antes da submissão aos ciclos. O efeito da exposição a solução salina (NaCl) ou a água e sua posterior secagem foi avaliado na variação da resistência a compressão puntiforme e na perda de brilho da superfície polida. O NaCl foi o sal escolhido para esse trabalho devido a sua abundância em regiões costeiras, regiões essas

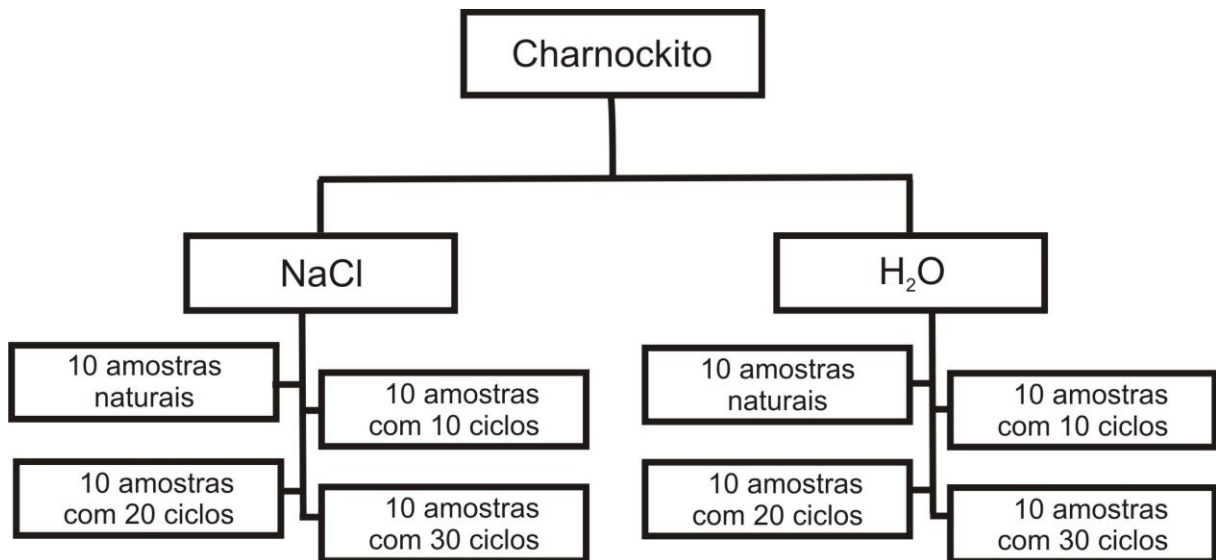
onde se concentram a maior parte da população mundial e onde há um enorme número de construções afetadas pela névoa salina oriunda do mar carregada de NaCl. A concentração utilizada no experimento visou obter um grau de supersaturação inicial, seguido posteriormente por um estágio de saturação de NaCl em água para que pudessem ser verificados de forma mais rápida os efeitos da cristalização dos sais.

Um ciclo completo de ciclagem artificial água/solução NaCl - estufa segue a norma NBR 12696 (ABNT,1992) e é realizado da seguinte forma:

- submersão das amostras em água e solução de NaCl (290g/L) durante 14 horas ( $\pm 1$ );
- colocação das amostras em estufa a 105°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) durante 7 horas ( $\pm 1$ );
- resfriamento durante 1 hora ( $\pm 5$  min).

Neste trabalho foram realizados ensaios em 160 amostras, sendo 40 amostras do charnockito e 40 do gnaissé utilizados na água; e 40 amostras de charnockito e 40 amostras de gnaissé utilizadas na solução de NaCl. Essas amostras foram separadas em grupos de 10. Cada grupo de 10 amostras foi selecionado em função de suas porosidades. Todas as amostras do grupo possuem porosidades muito semelhantes (diferença de 0,02% na grande maioria com algumas poucas chegando a 0,03%) para tentar ao máximo homogeneizar a resistência mecânica do grupo.

Cada grupo foi exposto a um número diferente de ciclagens (figuras 7). O grupo inicial, denominado "amostras naturais", foram as amostras que não foram submetidas a nenhum ciclo, pois assim podem ser utilizadas como referência de condições não modificadas da rocha. Todos os grupos foram designados de acordo com o número de ciclos e do tipo de solução, NaCl ou água, aos quais eles foram submetidos (figuras 8 e 9). Foram realizados para esse trabalho 30 ciclos completos, excluindo as amostras naturais.

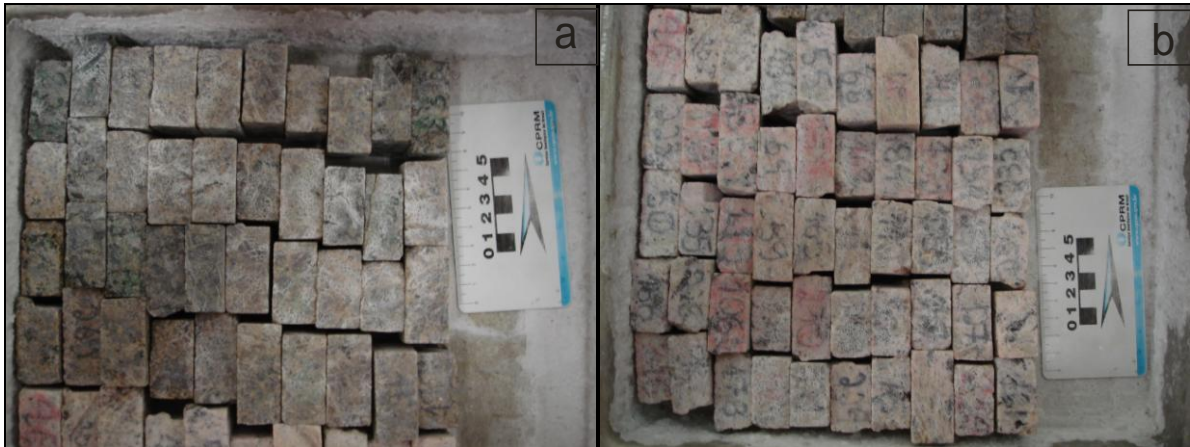


**Figura 7: Organograma das amostras de charnockito e suas respectivas exposições a soluções e números de ciclos.**



**Figura 8: Amostras de charnockitos (a) e gnaisses (b) submetidas a ação de ciclagem água/estufa.**





**Figura 9:** Amostras de charnockitos (A) e gnaisses (B) após 30 ciclos de exposição a solução de NaCl/estufa. O acúmulo de NaCl é evidente sobre a superfície de todas as amostras.

### 3.7 "Point Load Test "(ISRM - 1985)

O teste de "Point Load" é utilizável como teste índice para a classificação da resistência de materiais rochosos mensurando o índice de resistência a compressão puntiforme ( $I_{s(50)}$ ). As amostras utilizadas, tanto na forma de testemunhos, blocos cortados ou fragmentos irregulares, são rompidas pela aplicação de carga concentrada através de um par de placas cônicas, cujas terminações são esféricas, em contato direto com o corpo de prova. A força foi aplicada através de um macaco hidráulico conectado a uma bomba de operação manual e os valores de pressão lidos em um manômetro com fundo de escala 60 Kgf/cm<sup>2</sup>. A resistência a compressão pontual (Pls) é dada pela equação abaixo:

$$Pls = \frac{F}{D^2} \quad (4)$$

As leituras no manômetro necessitam ser convertidas para força (F) em função da área do macaco hidráulico utilizado e da perda de carga que ocorre na linha. A calibração forneceu o gráfico e a equação mostrados na figura 10.



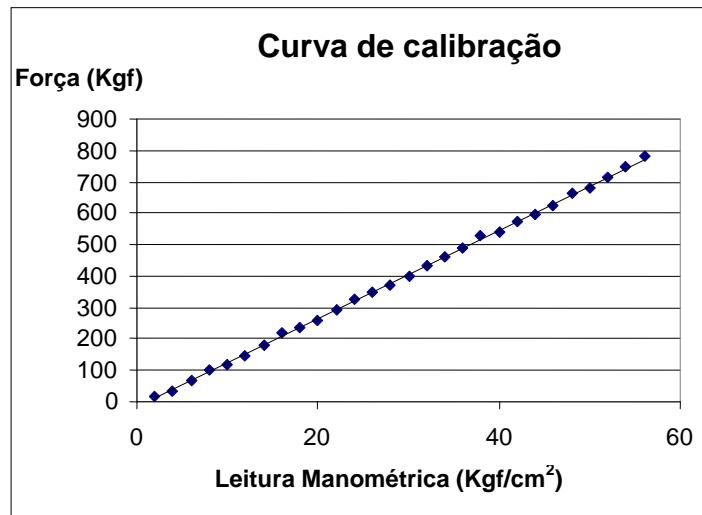
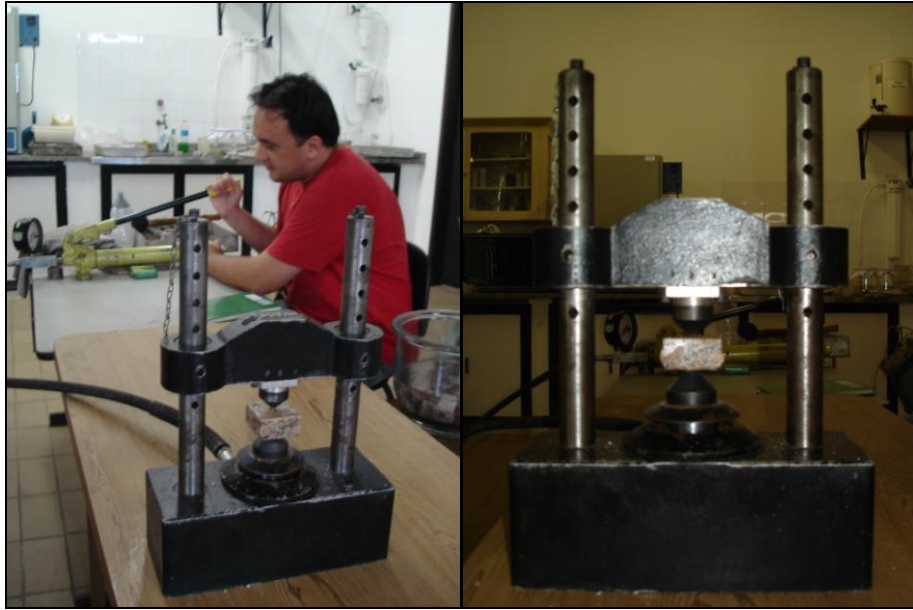


Figura 10: Curva de calibração para o Point Load Test.

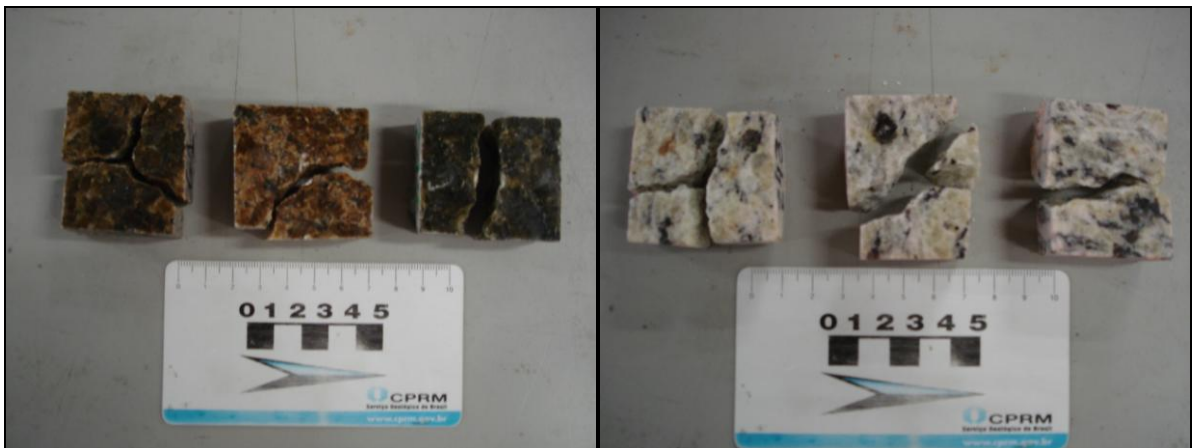
$$F(Kgf) = 14,106LM - 18,128 ; r^2 = 0,9995 \quad (5)$$

Para a realização do ensaio as amostras foram preparadas segundo as normas para amostras em forma de bloco (ISRM, 1981), onde a altura do corpo (D) tem que ser menor que a largura (W) e maior que 30% do valor da largura, ou seja:  $0,3W < D < W$ ; já a metade do comprimento do corpo (L) tem que ser maior que metade da altura, ou seja:  $L > 0,5D$ . Em função das normas recomendadas às amostras foram dimensionadas com 4cm x 4cm x 2cm.

As amostras foram completamente saturadas em água antes de serem rompidas para representar o mais crítico possível estado de resistência das mesmas. A carga foi aplicada paralelamente a altura (D) do corpo. Caso a fratura resultante da ação da carga não atingisse as duas superfícies em contato direto com as placas cônicas, ou seja, não se propagasse por toda a altura do corpo (D), o teste seria considerado inválido (figura 11 e 12).



**Figura 11:** Amostra sendo rompida pela aplicação de carga



**Figura 12:** Amostras rompidas pela aplicação de carga, notar que todas as fraturas foram consideradas válidas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Determinação das propriedades petrofísicas

As propriedades petrofísicas iniciais de todas as 300 amostras de gnaisses e as 300 amostras de charnockitos podem ser verificadas nos apêndices 1 e 2, mas suas médias foram calculadas estão expostas abaixo (tabela 3).

**Tabela 3: Média das propriedades petrofísicas iniciais das amostras de charnockito e gnaisse.**

Amostra	Teor de umidade na saturação(%)	Porosidade(%)	Peso esp. aparente seco (g/cm <sup>3</sup> )
Charnockito	0,27	0,73	2,70
Gnaisse	0,51	1,32	2,61

As propriedades petrofísicas das amostras selecionadas para os ensaios estão expostas a seguir (tabela 4). Os valores de dispersão (desvio padrão) e dispersão em relação a média (coeficiente de variação) podem ser observados no apêndice 1.

**Tabela 4: Média das propriedades petrofísicas das amostras de charnockito e gnaisse após ciclagens.**

Charnockito-NaCl	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade (%)	Peso esp. Aparent. Seco (g/cm <sup>3</sup> )	Charnockito-água	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade (%)	Peso esp. Aparent. Seco (g/cm <sup>3</sup> )
NATURAL	0,27	0,73	2,70	NATURAL	0,27	0,73	2,70
10° CICLO	0,28	0,76	2,72	10° CICLO	0,27	0,75	2,72
20° CICLO	0,32	0,88	2,72	20° CICLO	0,23	0,62	2,71
30° CICLO	0,20	0,51	2,72	30° CICLO	0,25	0,69	2,72

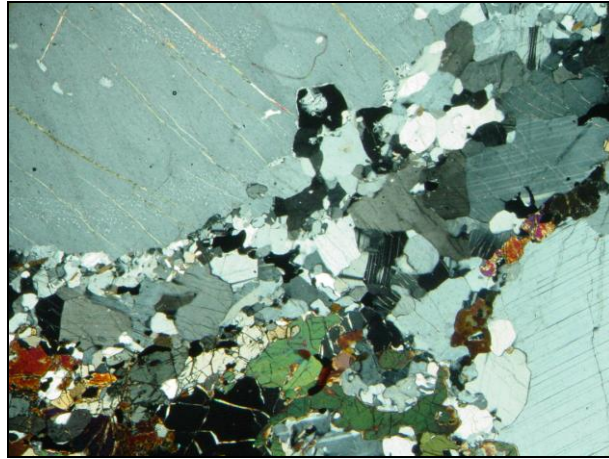
  

Gnaisse-NaCl	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade (%)	Peso esp. Aparent. Seco (g/cm <sup>3</sup> )	Gnaisse-água	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade (%)	Peso esp. Aparent. Seco (g/cm <sup>3</sup> )
NATURAL	0,51	1,32	2,61	NATURAL	0,51	1,32	2,61
10° CICLO	0,61	1,57	2,62	10° CICLO	0,43	1,14	2,62
20° CICLO	0,45	1,18	2,61	20° CICLO	0,30	0,78	2,63
30° CICLO	0,56	1,48	2,64	30° CICLO	0,36	0,93	2,59

Tanto no caso dos charnockitos como no dos gnaisses, em alguns ciclos ocorre, em média, uma diminuição da porosidade das amostras em relação ao estágio original,

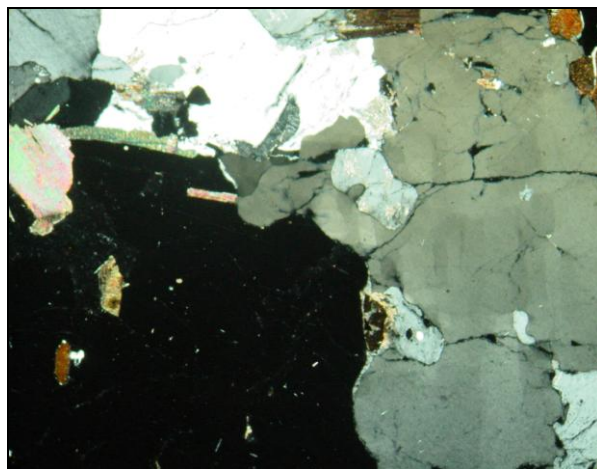
quando o esperado era que ocorresse, em média, um aumento geral da porosidade das amostras. Tal fato é verificado também por Navarro-Rodriguez e Doehne (1998). Essa diminuição da porosidade é explicada pela presença de sais cristalizados dentro dos poros das rochas que não são dissolvidos mesmo após a saturação da amostra em água por 48 horas a temperatura ambiente. Uma proposta para que tal fato fosse corrigido é a saturação da amostra em água aquecida, o que aumentaria a solubilidade dos sais que ainda estivessem no seu interior. Sugere-se que esse procedimento seja adotado antes das medidas petrofísicas e dos ensaios de resistência.

Em lâmina, o charnockito é uma rocha fanerítica inequigranular porfirítica (Figura 13), com minerais predominantemente xenomórficos e granulação grosseira (10mm) , com índice de cor aproximadamente 20% (mesocrática). A mineralogia essencial é constituída, em ordem de maior abundância, por ortoclásio, plagioclásio, clinopiroxênio e ortopiroxênio, biotita e hornblenda; como fases acessórias foram encontrados 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 (>10mm) e, entre eles, ocorrem aglomerações de todos os outros minerais encontrados na lâmina. A ocorrência de mirmequita é evidente em toda a lâmina e todos os minerais sofreram fraturas pós-cristalização que foram preenchidas pelo mineral de alteração dos piroxênios.



**Figura 13:** Lâmina do charnockito inicial. Os cristais de ortoclásio são de granulometria muito maior que os demais cristais da rocha (25x).

O gnaissé estudado é uma rocha fanerítica porfirítica hipidiomórfica (Figura 14), com minerais predominantemente hipidiomórficos e granulação grosseira (8mm). O seu índice de cor é de aproximadamente 3% (leucocrática). A mineralogia essencial é composta por álcali-feldspato, quartzo (com extinção ondulante), plagioclásio, biotita e granada. Os feldspatos apresentam, de forma generalizada, alteração para calcita em suas bordas. Ocorre intercrescimento mirmequítico em grande quantidade no gnaissé, porém nenhuma direção de deformação pode ser observada. A foliação da rocha é pouco desenvolvida, sendo levemente evidenciada por alguns níveis de orientação de cristais de biotitas.



**Figura 14:** Lâmina do gnaissé inicial. Não há direção de deformação claramente observável. Os cristais de quartzo apresentavam extinção ondulante (25x).

## 4.2 Densidade de fissuras

A densidade das fissuras nas lâminas das amostras 173 (amostras naturais) e 171 (20° ciclo) do charnockito submetido a ciclagem de solução NaCl/estufa foram calculadas. A lâmina 173 (figura 15) apresenta uma densidade de fissuras igual a  $10,91 \text{ cm}^{-1}$ , onde praticamente toda essa densidade foi calculada sobre cristais de ortoclásio fraturados. Já a lâmina 171 (figura 16) apresenta uma densidade de fissuras igual a  $19,00 \text{ cm}^{-1}$  de forma bem mais distribuída sobre a lâmina.

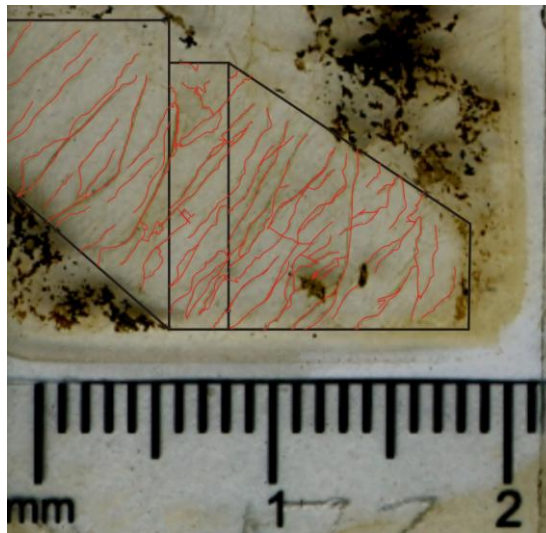


Figura 15: Lâmina do charnockito do ciclo inicial com suas fissuras realçadas. Quase todas as fissuras se encontram sobre um cristal de ortoclásio.

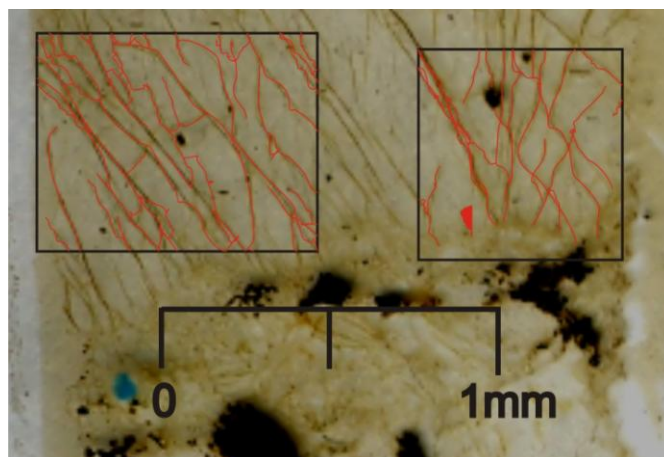


Figura 16: Lâmina do charnockito do 20° ciclo com suas fissuras realçadas. As fissuras estão mais distribuídas sobre a lâmina em relação ao ciclo inicial.

Em escala microscópica, o aumento da densidade de fissuras nas amostras de charnockito, é um dos indicativos mais evidentes da ação da cristalização de sais, que é o aumento da porosidade de uma rocha através do aumento do espaçamento das paredes das fissuras e a sua propagação. Em escala megascópica tal efeito também é claramente visível em algumas amostras de gnaisses, onde aparecem fissuras na amostra decorrentes da cristalização de sais, seguindo paralelamente a direção da foliação (figura 17).



**Figura 17:** Amostra de gnaiss com fissuras se propagando paralelamente a direção da foliação.

#### **4.3 Medida do brilho da superfície polida**

O brilho da superfície polida foi medido em cada uma das amostras que foram selecionadas para ser submetidas aos ciclos de exposição à solução de NaCl-água/estufa. Os valores dos brilhos antes da exposição aos ciclos estão expostos nas tabelas 5, 6, 7 e 8.

**Tabela 5: Valor do brilho da superfície polida das amostras de charnockitos submetidas a ciclagem água/estufa.**

Amostras Naturais	Brilho Inicial	Amostras 10° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 10° Ciclo	Amostras 20° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 20° Ciclo	Amostras 30° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 30° Ciclo
9	77,9	10	73,9	73,1	59	86,7	85,2	8	74,9	70,8
20	84,4	16	91,9	86,7	68	90,8	82,7	18	74,7	72,6
33	86,2	54	85,8	82,2	85	77,7	72,5	37	88,3	83,7
39	92,4	62	87,1	81,2	92	86,2	78,1	56	83,9	85,2
73	85,3	106	85,2	84,3	163	81,9	73,8	61	72,9	79,6
99	84,0	122	81,8	78,4	198	87,8	82,3	88	75,8	76,9
140	72,4	155	83,1	76,7	214	81,3	75,1	103	77,2	79,7
142	73,4	192	82,9	77,4	226	85,5	77,1	149	88,1	73,1
212	91,0	202	75,3	69,0	240	73,6	69,4	181	83,1	83,7
238	79,3	258	73,5	62,5	277	93,7	84,8	281	90,1	90,0

**Tabela 6: Valor do brilho da superfície polida das amostras de charnockitos submetidas a ciclagem solução de NaCl/estufa.**

Amostras Naturais	Brilho Inicial	Amostras 10° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 10° Ciclo	Amostras 20° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 20° Ciclo	Amostras 30° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 30° Ciclo
21	84,3	84	88,8	77,8	38	78,9	39,5	40	74,4	65,2
23	77,7	95	83,8	64,9	77	87,6	26,7	96	85,1	68,0
57	93,8	175	76,3	74,1	113	84,2	48,6	112	89,6	56,6
65	79,7	200	78,4	68,6	126	88,1	59,4	139	85,6	75,9
80	81,7	228	83,8	69,5	141	73,9	59,5	183	71,1	65,3
105	88,9	229	87,2	71,3	146	90,8	77,4	246	86,8	75,6
114	80,1	230	75,8	69,1	168	79	64,2	248	76,6	65,7
151	76	247	84,1	76,6	171	84,7	76,5	263	83,3	62,5
152	88	257	85,7	61,2	203	76,7	71,6	270	91,4	56,9
207	87	264	93,6	75,1	241	91,1	55,8	291	89,5	65,5

**Tabela 7: Valor do brilho da superfície polida das amostras de gnaiss submetidas a ciclagem água/estufa.**

Amostras Naturais	Brilho Inicial	Amostras 10° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 10° Ciclo	Amostras 20° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 20° Ciclo	Amostras 30° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 30° Ciclo
10	63,0	57	49,8	52,0	5	60,3	58,9	25	15,8	14,6
86	44,8	97	49,0	53,0	12	81,1	79,8	58	42,4	46,3
87	54,9	102	51,4	53,8	95	54,2	56,5	82	56,3	50,6
101	49,5	172	56,1	55,7	110	51,6	54,5	116	52,1	56
108	48,9	249	41,9	44,8	159	55,2	57,3	117	44,8	46,2
144	59,8	274	48,8	48,4	192	47,6	48,9	183	69,0	71,3
194	51,4	286	46,3	47,4	231	45,2	47,9	205	63,3	57,2
196	61,3	294	42,4	43,8	273	42,0	44,0	226	77,8	80,5
240	45,0	295	41,6	40,4	284	42,7	45,1	279	42,0	43
241	43,8	297	55,1	58,9	293	40,6	41,6	296	43,2	50,5



**Tabela 8: Valor do brilho da superfície polida das amostras de gnaiss submetidas a ciclagem solução NaCl/estufa.**

Amostras Naturais	Brilho Inicial	Amostras 10° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 10° Ciclo	Amostras 20° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 20° Ciclo	Amostras 30° Ciclo	Brilho Inicial	Brilho após 30° Ciclo
3	64	33	63,2	45,0	15	59,9	48,1	14	40,8	29,0
4	40,8	85	50,8	45,1	133	52,2	48,2	20	80,3	64,7
24	47,3	111	55,1	52,6	155	47	42,8	43	42,8	31,5
76	62,8	143	47,1	44,8	191	59,6	52,5	51	44,4	26,3
98	52,7	151	47,2	37,9	236	77,2	64,5	89	47,1	42,1
142	55,9	160	49,8	53,4	243	47,9	38,6	115	50,2	35,9
239	80,9	181	53,1	49,1	275	47,6	33,2	132	57,2	52,0
245	45,5	261	32,6	29,8	281	50,2	52,1	254	42,8	31,7
260	29,8	262	51,8	43,2	291	52,7	36,7	257	32,2	18,3
278	47,6	292	34,5	32,6	300	37,2	32,1	272	51,4	34,5

A ação da ciclagem solução de NaCl-água/estufa sobre o brilho da superfície polida gerou resultados diferentes para cada um dos tipos de amostras e cada solução empregada. As amostras de charnockito sofreram uma maior perda de brilho, nos dois tipos de ciclagem, do que as amostras de gnaisses. A porcentagem de perda de brilho dos charnockitos estão expostos na tabela 8.

**Tabela 9: Média dos valores da perda de brilho da superfície polida das amostras de charnockito.**

Charnockito - água		Charnockito - NaCl	
Ciclo	Variação de Brilho	Ciclo	Variação de Brilho
10°	-6,1%	10°	-15,2%
20°	-7,5%	20°	-30,3%
30°	-1,4%	30°	-20,5%

Mesmo não havendo um padrão de perda de brilho progressivo ao longo dos ciclos, os charnockitos foram claramente deteriorados esteticamente pela ação das ciclagens, com evidente perda de brilho em todos os ciclos. A maior perda de brilho foi verificada nas amostras submetidas a solução de NaCl, notavelmente as amostras do 20° ciclo.

O gnaisse mostra dois resultados distintos. As amostras submetidas a ação da ciclagem solução de NaCl/estufa mostra uma progressiva perda de brilho, evidenciando uma clara deterioração das características estéticas. Entretanto, as amostras submetidas à ciclagem água/estufa apresentaram em média um aumento no brilho da superfície polida. A porcentagem de perda e ganho de brilho estão expostos na tabela 9.

**Tabela 10:** Média dos valores de alteração do brilho da superfície polida das amostras de gnaisse.

Gnaisse - água		Gnaisse - NaCl	
Ciclo	Varição de Brilho	Ciclo	Varição de Brilho
10°	3,2%	10°	-10,0%
20°	3,2%	20°	-15,5%
30°	1,4%	30°	-26,6%

#### 4.4 Ataque químico da superfície polida

Após a exposição aos reagentes químicos houve mudanças nos valores de brilho da superfície polida das amostras. Apesar de a degradação do brilho ter sido verificada em todas os corpos de provas (tabelas 11 e 12), o impacto estético causado pela degradação do reagente químico não esteve diretamente relacionado com uma maior perda de brilho. A amostra de charnockito submetida à ação do Hidróxido de Potássio teve uma redução do brilho muito mais acentuada que as outras amostras, o que não é perceptível a olho nú, em contraste com as amostras submetidas à ação de ácido clorídrico e ácido cítrico que tiveram uma perda de brilho superficial inferior a do Hidróxido de Potássio, mas o impacto estético foi muito maior (figura 17), dada a alteração cromática que pode ser observada.

Tabela 11: Perda de brilho da superfície polida das amostras de charnockito.

Charnockito	Brilho Inicial	Brilho Após Ensaio	Varição de Brilho
Detergente	85,13	83,5	-1,9%
Cloreto de Amônio	87,3	86,8	-0,6%
Hidróxido de Potássio	85,47	72,33	-15,4%
Ácido Cítrico	80,1	76,87	-4,0%
Ácido Clorídrico	81,33	74,93	-7,9%

Tabela 12: Perda de brilho da superfície polida das amostras de gnaiss.

Gnaiss	Brilho Inicial	Brilho Após Ensaio	Varição de Brilho
Detergente	72,2	71,5	-1,0%
Cloreto de Amônio	72,7	55,9	-23,1%
Hidróxido de Potássio	63,6	59,5	-6,4%
Ácido Cítrico	69,2	61,9	-10,5%
Ácido Clorídrico	72,5	70,2	-3,1%

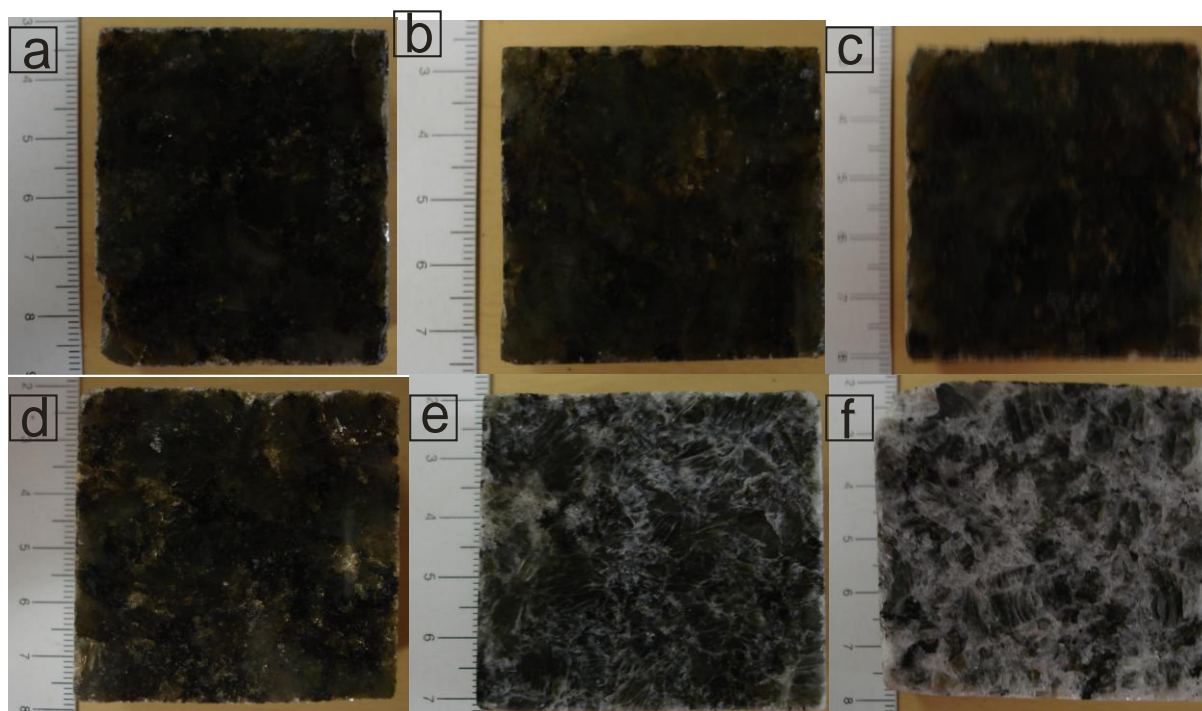
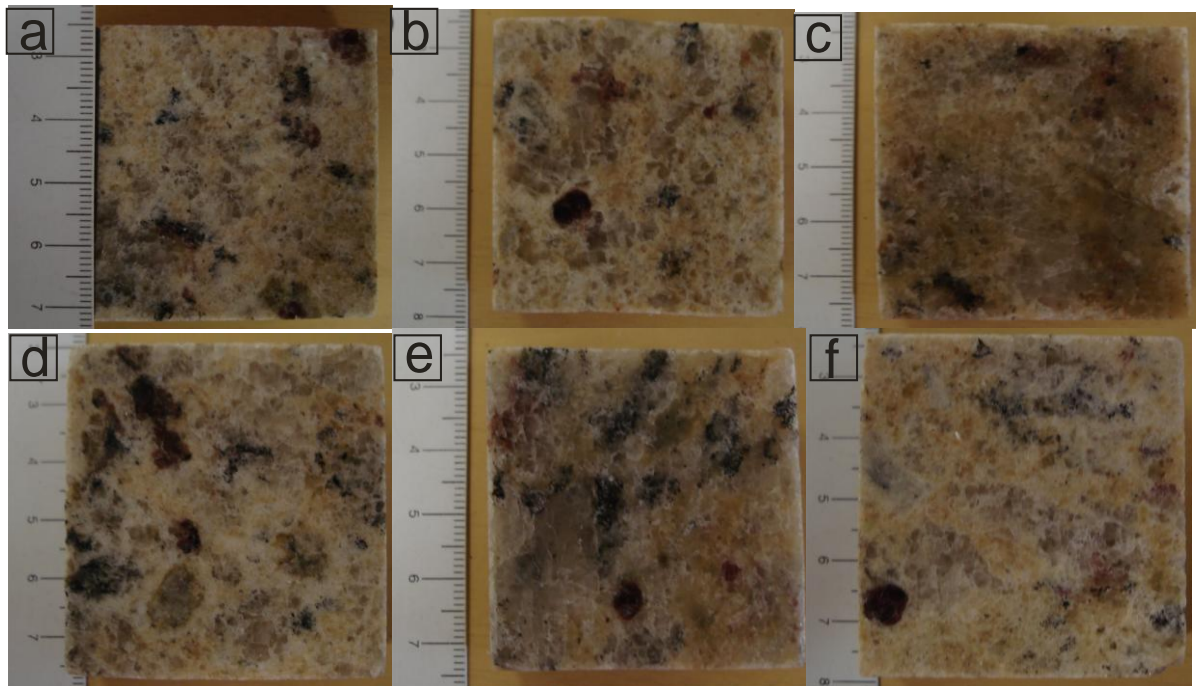


Figura 18: Charnockitos expostos à ação de reagentes químicos. Amostra no estado inicial (A), após ação de detergente (B), cloreto de amônio (C), hidróxido de potássio (D), ácido cítrico (E), ácido clorídrico (F). A escala nas fotos está em centímetros.

As amostras de gnaiss apresentam uma situação semelhante a dos charnockitos.

O corpo submetido à ação de cloreto de amônio foi o que apresentou maior perda

percentual de brilho em relação ao estado inicial. Tal perda de brilho não parece tão clara a olho nú, mas as amostras que sofreram ação de ácido clorídrico e ácido cítrico, parecem mais alteradas quando vistas a olho nu (figura 18). Neste caso ocorreu alteração cromática nas amostras.

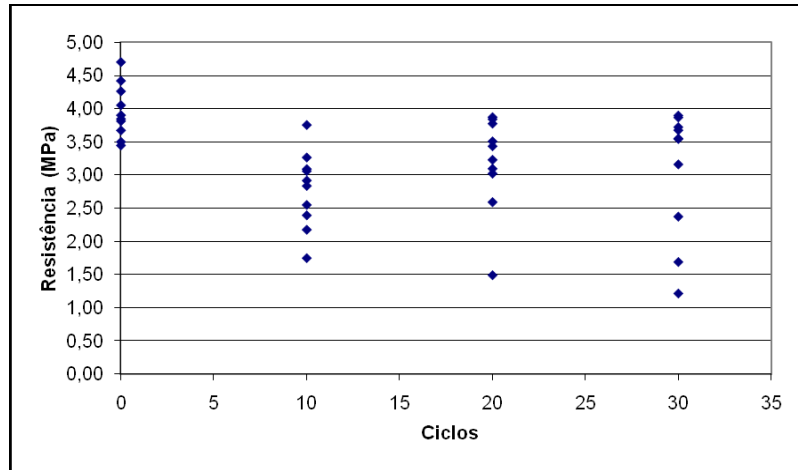


**Figura 19: Gnaisses expostos à ação de reagentes químicos. Amostra no estado inicial (A), após ação de detergente (B), cloreto de amônio (C), hidróxido de potássio (D), ácido cítrico (E), ácido clorídrico (F). A escala da figura está em centímetros.**

#### 4.5 Point Load Test

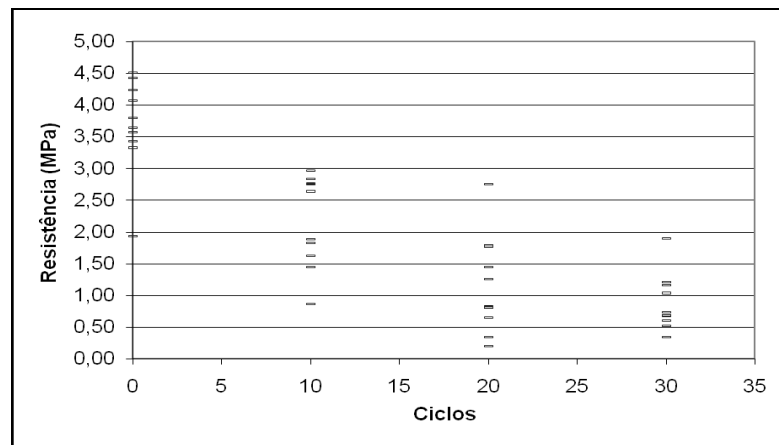
Os ensaios de "Point Load Test" mostraram resultados distintos para cada um dos tipos de rochas (apêndice 3). As amostras de charnockito sofreram, de forma geral, um decréscimo de sua resistência a compressão puntiforme e, portanto, de sua resistência mecânica. No caso das amostras submetidas ao ciclo água/estufa a perda de resistência

foi constante ao longo dos ciclos e apesar dos valores de resistência verificados dentro dos ciclos serem, em alguns casos, elevados, ainda eram inferiores aos valores de resistência máximo encontrados nas amostras naturais (figura 19).



**Figura 20:** Gráfico de resistência em função do nº de ciclos do charnockito sob efeito da ciclagem água/estufa.

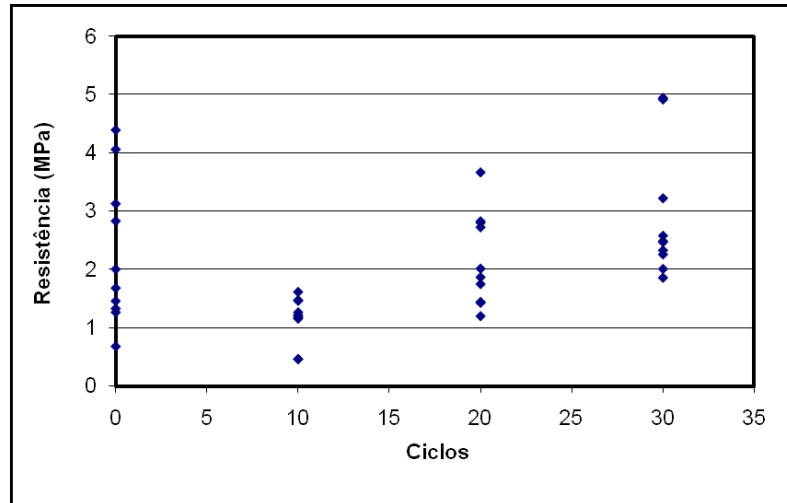
No caso dos charnockitos submetidos a ação da ciclagem solução NaCl/estufa a perda de resistência foi constante e bem mais acentuada do que na ciclagem água/estufa (figura 20).



**Figura 21:** Gráfico de resistência em função do nº de ciclos do charnockito sob efeito da ciclagem solução NaCl/estufa.

Nas amostras de gnaisses submetidas a ação dos ciclos o resultado obtido difere do resultado com as amostras de charnockitos. Os valores de resistência obtidos na

ciclagem água/estufa (figura 21) mostra o decréscimo da resistência a compressão puntiforme no 10º ciclo em relação ao ciclo inicial. Já no 20º e no 30º ciclos há um acréscimo da média dos valores de resistência mecânica em relação aos ciclos anteriores, resultando numa linha de tendência positiva. No 30º ciclo nota-se que o maior e o menor valor de resistência são superiores aos encontrados no ciclo inicial.



**Figura 22: Gráfico de resistência em função do nº de ciclos do gnaise sob efeito da ciclagem solução água/estufa.**

O aumento da resistência a compressão puntiforme dos gnaisses submetidos a ciclagem água/estufa pode ser resultado da direção da foliação das amostras. Não foi possível verificar essa orientação na maioria das amostras utilizadas nesse trabalho, pois a mesma era muito fraca em grande parte das amostras. Mas deve-se ser ressaltado que sua orientação em relação a direção da carga aplicada pelos cones no "Point Load Test" tem fundamental influência na resistência das amostras a compressão puntiforme em função do efeito da anisotropia da amostra.

Nas amostras de gnaise submetidas à ação da ciclagem de solução NaCl/estufa (figura 22) houve perda da resistência mecânica ao longo dos ciclos de forma similar, ainda que não tão intensa, à verificada nas amostras de charnockito submetidas a ação da ciclagem NaCl/estufa.

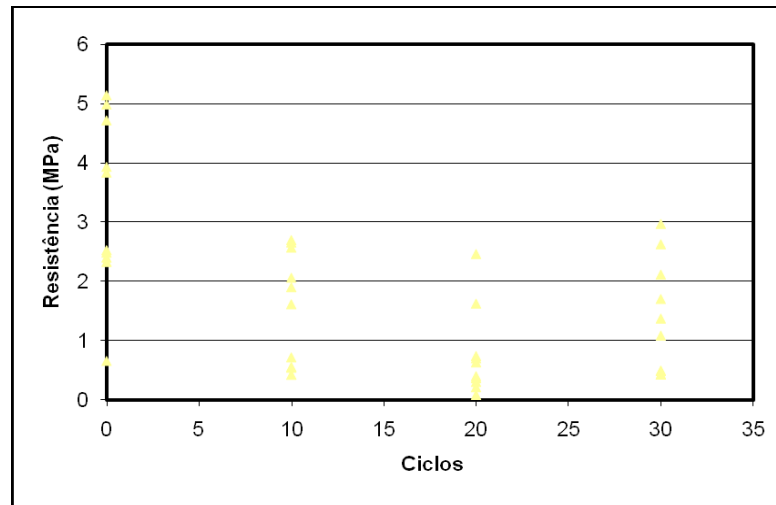


Figura 23: Gráfico de resistência em função do nº de ciclos do gnaise sob efeito da ciclagem solução NaCl/estufa.

## 5. CONCLUSÕES

Como resultado deste trabalho de conclusão de curso as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

- A correta e cuidadosa seleção de amostras com as mesmas características petrofísicas é essencial para uma correta e precisa análise dos efeitos da cristalização de sais solúveis nas mesmas.
- A exposição das amostras a ciclagem água - solução NaCl/estufa claramente degradou as propriedades tanto mecânicas quanto estéticas das rochas.
- A perda de brilho da superfície polida foi verificada em todos os ciclos água/estufa e solução NaCl/estufa, em ambas as amostras. A maior perda foi verificada nas amostras de charnockitos.
- A perda de brilho também foi verificada em todas as amostras submetidas a ação de reagentes químicos. A amostra de gnaise apresentou uma maior perda de brilho na presença de Cloreto de Amônio e a amostra de charnockito apresentou uma maior perda na presença de Hidróxido de Potássio. Porém, a

olho nú, as amostras que mostram uma maior deterioração foram às submetidas a ação da solução de HCl. Houve mudança acentuada da cor

- As amostras de gnaisses submetidas a ciclagem de solução NaCl/estufa sofreram um percentual de perda de brilho similar a perda verificada nas amostras de gnaisses sob ação dos reagentes Cloreto de Amônio e Ácido Cítrico.
- As amostras de charnockito submetidas a ciclagem de solução NaCl/estufa sofreram um percentual de perda de brilho superior a qualquer perda verificada nas amostras gnaisses sob ação dos reagentes químicos. Nas amostras de charnockito submetidas a ciclagem água/estufa o percentual de perda de brilho foi similar ao verificado nas amostras submetidas a ação dos reagentes químicos Ácido Cítrico, Ácido Clorídrico e detergente.
- A diminuição, em média, da resistência a compressão puntiforme das amostras foi verificada em ambas as ciclagens no caso dos charnockitos e no ciclo solução NaCl/estufa no caso dos gnaisses
- De uma forma geral, a rocha que mais sofreu degradação, tanto estética quanto mecânica, foram os charnockitos, demonstrando sua maior susceptibilidade a ação de soluções salinas do que o gnaisse.



## 6. 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.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, NBR 12696/92: Agregados - Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa, Rio de Janeiro.

ARNOLD, A., & K.ZEHNDER.,1988. Decay of stony materials by salts on humid atmosphere. In Sixth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ed. J.Ciabach. Torun: Nicholas Copernicus University. p. 138–48.

EVANS, I. S. 1970. Salt crystallization and rock weathering: A review, *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 19, p. 155-177.

FRASCÁ, M. H. B. O. & YAMAMOTO, J. K. Ensaios de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento – Estudos Experimentais. In. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2005.

GLAESSNER, M. F. , *Principles of Micropalaeontology*, 37 (Melbourne Univ. Press, 1948).

GOUDIE, A. S. 1993. Salt weathering simulation using a single-immersion technique, *Earth Surface Processes and Landforms*. 18, p. 369-373.

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. 2005.

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

KWAAD, F. J. P. M. 1970. Experiments on the granular disintegration of granite by salt action, *Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium*, 16, p. 67-80.

LEWIS, G. N. , & RANDALL, M. , *Thermodynamics*, second ed. (McGraw-Hill, N.Y., 1961).

McGREEVY, J. P. 1996. Pore properties of limestone as controls on salt weathering susceptibility: a case study, In SMITH, B. J. & WARKE, P. A. (Eds), *Processes of Urban Decay*, Donhead, London, p. 150-167.

MORAIS, J. O.; SALES, F. A. C. B.; SOUSA, J. F. *Rochas Industriais: Pesquisa Geológica, Exploração, Beneficiamento e Impactos Ambientais*. Realce, Fortaleza. 514p. 2003.

RODRIGUEZ-NAVARRO, C. & DOEHNE, E. Salt Weathering: Influence of Evaporation Rate, Supersaturation and Crystallization Pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, p. 191-209. 1999.

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

SANTOS, E. S. & CARANASSIOS, A. 2007. Ensaio de Caracterização Tecnológica e Alterabilidade de um granito denominado comercialmente Tycoon Blue. In: I Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM.

SILVA, M.E. & ROESER, H.M.P., Mapeamento de Deteriorações em Monumentos Históricos de Pedra-Sabão em Ouro Preto. *Revista Brasileira de Geociências*. Minas Gerais, v.33. 2003. p. 331-339.

SILVA, V. F. & TEIXEIRA, R. B. Caracterização química e mineralógica de gnaisses utilizados como rochas de cantaria na Igreja do Outeiro da Glória. In: XXVII Jornada de Iniciação Científica Professor Giulio Massarani. 2007. Resumo. Rio de Janeiro. UFRJ.

SPERLING, C. B. & COOKE, R. V. 1985. Laboratory simulation of rock weathering by salt crystallization and hydration processes in hot, arid environment, *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, p. 541-555.

SUGUIO, K. 2003. Intemperismo e Origem dos sedimentos. In. SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. Editora Edgard Blücher LTDA, p 11-22.

THOMSON, W. , Proc. Roy. Soc., 9, 255 (1858); Phil. Mag. (4), 17, 61 (1859).  
Verhoogen, J. , J. Geol., 56, 210 (1948).

TILLER, W. A. 1991. The Science of Crystallization Microscopic Interfacial Phenomena, Cambridge University Press, Cambridge, 331 p.

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.

WELLMAN, H. W. & WILSON, A. T. 1965. Salt weathering, a neglected geological erosive agent in coastal and arid environments, Nature, 205, 1097-1098.

Sites:

<http://www.drm.rj.gov.br/mercado.htm>, acessado em 9 Jan.2009.

## Apêndice 1 – Propriedades Petrofísicas das Amostras de Charnockitos

Número de Ciclos: Água	Porosidade Média	Desv. Padrão	Coef. Var.
Natural	0,71	0,10	0,13
10	0,71	0,10	0,14
20	0,71	0,10	0,13
30	0,71	0,10	0,13
40*	0,72	0,10	0,14
50*	0,72	0,10	0,14
60*	0,72	0,10	0,14
70*	0,72	0,10	0,14
80*	0,73	0,10	0,14
90*	0,73	0,10	0,14
MÉDIA	0,72		

Número de ciclos: NaCl	Porosidade Média	Desv. Padrão	Coef. Var.
Natural	0,69	0,09	0,13
10	0,69	0,09	0,13
20	0,70	0,09	0,13
30	0,70	0,09	0,13
40*	0,70	0,09	0,13
50*	0,70	0,09	0,13
60*	0,70	0,09	0,13
70*	0,70	0,11	0,15
80*	0,70	0,09	0,13
90*	0,70	0,09	0,13
MÉDIA	0,70		

(\*) Ensaios em andamento.

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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



Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seco(g/cm <sup>3</sup> )
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

## Apêndice 2 – Propriedades Petrofísicas das Amostras de Gnaisses

Número de Ciclos: Água	Porosidade Média	Desv. Padrão	Coef. Var.
Natural	1,29	0,24	0,19
10	1,29	0,24	0,19
20	1,29	0,24	0,18
30	1,29	0,23	0,18
40*	1,29	0,23	0,18
50*	1,29	0,23	0,18
60*	1,29	0,23	0,18
70*	1,29	0,23	0,18
80*	1,29	0,23	0,18
90*	1,29	0,23	0,18
MÉDIA	1,29		

Número de Ciclos: NaCl	Porosidade Média	Desv. Padrão	Coef. Var.
Natural	1,29	0,23	0,17
10	1,29	0,22	0,17
20	1,29	0,22	0,17
30	1,29	0,22	0,17
40*	1,29	0,22	0,17
50*	1,29	0,22	0,17
60*	1,29	0,22	0,17
70*	1,29	0,22	0,17
80*	1,29	0,22	0,17
90*	1,29	0,22	0,17
MÉDIA	1,29		

Amostras	Massa seca	Massa saturada	Massa submersa	Teor de umidade na sat(%)	Porosidade(%)	Massa esp. Aparent. Seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	81,91	82,15	50,45	0,29	0,76	2,58
2	77,06	77,42	47,30	0,47	1,20	2,56
3	71,98	72,27	44,86	0,40	1,06	2,63
4	79,13	79,48	49,71	0,44	1,18	2,66
5	73,95	74,27	45,70	0,43	1,12	2,59
6	77,36	77,83	47,98	0,61	1,57	2,59
7	78,14	78,50	47,99	0,46	1,18	2,56
8	82,08	82,36	50,88	0,34	0,89	2,61
9	79,47	79,82	48,83	0,44	1,13	2,56
10	77,84	78,17	48,29	0,42	1,10	2,61
11	69,34	69,68	42,63	0,49	1,26	2,56
12	86,05	86,45	53,10	0,46	1,20	2,58
13	76,45	76,78	47,45	0,43	1,13	2,61
14	85,40	85,74	53,28	0,40	1,05	2,63
15	93,96	94,39	57,76	0,46	1,17	2,57
16	90,13	90,50	55,82	0,41	1,07	2,60
17	84,06	84,58	51,92	0,62	1,59	2,57
18	92,11	92,49	56,88	0,41	1,07	2,59
19	71,89	72,21	43,83	0,45	1,13	2,53
20	84,90	85,23	51,18	0,39	0,97	2,49
21	114,73	115,29	70,70	0,49	1,26	2,57
22	79,22	79,68	48,59	0,58	1,48	2,55
23	86,78	87,37	53,74	0,68	1,75	2,58
24	95,10	95,56	58,45	0,48	1,24	2,56
25	88,15	88,52	55,50	0,42	1,12	2,67
26	83,51	83,94	52,49	0,51	1,37	2,66
27	85,41	86,02	52,72	0,71	1,83	2,56
28	87,38	88,02	54,11	0,73	1,89	2,58
29	88,62	89,13	54,47	0,58	1,47	2,56
30	78,26	78,83	47,82	0,73	1,84	2,52
31	93,08	93,52	57,47	0,47	1,22	2,58
32	87,65	88,33	53,68	0,78	1,96	2,53
33	71,50	71,97	43,78	0,66	1,67	2,54
34	78,88	79,34	48,71	0,58	1,50	2,58
35	78,69	79,17	49,30	0,61	1,61	2,63
36	78,23	78,82	49,58	0,75	2,02	2,68
37	70,28	70,59	43,68	0,44	1,15	2,61
38	83,59	84,15	51,75	0,67	1,73	2,58
39	90,99	91,57	56,03	0,64	1,63	2,56
40	80,72	81,15	50,32	0,53	1,39	2,62
41	75,92	76,34	46,40	0,55	1,40	2,54
42	75,97	76,42	47,21	0,59	1,54	2,60
43	68,50	68,90	42,69	0,58	1,53	2,61
44	83,54	84,11	52,27	0,68	1,79	2,62
45	81,95	82,54	50,87	0,72	1,86	2,59
46	84,08	84,61	52,73	0,63	1,66	2,64
47	59,16	59,43	36,69	0,46	1,19	2,60
48	78,34	78,76	48,62	0,54	1,39	2,60
49	70,37	70,70	44,06	0,47	1,24	2,64

50	79,99	80,50	49,72	0,64	1,66	2,60
51	75,25	75,61	46,92	0,48	1,25	2,62
52	82,68	83,26	51,50	0,70	1,83	2,60
53	84,55	85,13	52,75	0,69	1,79	2,61
54	84,31	84,70	52,69	0,46	1,22	2,63
55	95,86	96,29	59,55	0,45	1,17	2,61
56	78,50	78,95	48,92	0,57	1,50	2,61
57	79,80	80,22	49,89	0,53	1,38	2,63
58	73,96	74,44	46,09	0,65	1,69	2,61
59	93,09	93,50	57,87	0,44	1,15	2,61
60	76,17	76,46	47,47	0,38	1,00	2,63
61	83,24	83,61	51,88	0,44	1,17	2,62
62	88,56	89,19	55,21	0,71	1,85	2,61
63	100,21	100,96	62,96	0,75	1,97	2,64
64	66,68	66,97	41,73	0,43	1,15	2,64
65	73,68	74,16	45,63	0,65	1,68	2,58
66	85,64	86,15	53,31	0,60	1,55	2,61
67	86,53	86,88	53,82	0,40	1,06	2,62
68	73,03	73,40	45,44	0,51	1,32	2,61
69	75,26	75,71	46,81	0,60	1,56	2,60
70	66,68	67,13	41,56	0,67	1,76	2,61
71	79,96	80,35	50,02	0,49	1,29	2,64
72	80,79	81,20	50,65	0,51	1,34	2,64
73	68,93	69,34	43,02	0,59	1,56	2,62
74	83,22	83,56	52,02	0,41	1,08	2,64
75	73,30	73,67	45,62	0,50	1,32	2,61
76	94,62	95,23	58,77	0,64	1,67	2,60
77	77,93	78,46	49,12	0,68	1,81	2,66
78	99,46	100,07	61,72	0,61	1,59	2,59
79	71,84	72,37	44,73	0,74	1,92	2,60
80	80,08	80,42	49,65	0,42	1,10	2,60
81	87,84	88,40	55,11	0,64	1,68	2,64
82	85,71	86,07	53,27	0,42	1,10	2,61
83	107,88	108,30	67,25	0,39	1,02	2,63
84	67,63	67,97	42,22	0,50	1,32	2,63
85	79,67	80,08	49,35	0,51	1,33	2,59
86	81,08	81,54	50,38	0,57	1,48	2,60
87	68,94	69,40	42,85	0,67	1,73	2,60
88	82,84	83,40	51,80	0,68	1,77	2,62
89	78,52	78,95	48,88	0,55	1,43	2,61
90	74,27	74,75	46,38	0,65	1,69	2,62
91	71,31	71,73	44,23	0,59	1,53	2,59
92	83,39	83,82	52,00	0,52	1,35	2,62
93	78,21	78,67	48,82	0,59	1,54	2,62
94	96,42	96,80	59,89	0,39	1,03	2,61
95	67,28	67,72	41,82	0,65	1,70	2,60
96	79,07	79,37	49,17	0,38	0,99	2,62
97	92,12	92,73	57,30	0,66	1,72	2,60
98	63,01	63,28	34,20	0,43	0,93	2,17
99	85,93	86,41	53,33	0,56	1,45	2,60
100	85,47	85,87	53,64	0,47	1,24	2,65
101	82,72	83,07	51,59	0,42	1,11	2,63

102	82,51	82,86	51,58	0,42	1,12	2,64
103	70,11	70,44	43,63	0,47	1,23	2,62
104	70,52	70,78	44,13	0,37	0,98	2,65
105	73,56	73,93	45,88	0,50	1,32	2,62
106	82,09	82,41	51,06	0,39	1,02	2,62
107	79,23	79,67	49,43	0,56	1,46	2,62
108	81,71	82,09	50,91	0,47	1,22	2,62
109	84,83	85,34	52,76	0,60	1,57	2,60
110	66,20	66,54	41,45	0,51	1,36	2,64
111	87,47	87,82	54,54	0,40	1,05	2,63
112	79,02	79,42	49,10	0,51	1,32	2,61
113	66,92	67,18	41,76	0,39	1,02	2,63
114	79,33	79,75	49,54	0,53	1,39	2,63
115	63,30	63,62	39,47	0,51	1,33	2,62
116	76,58	76,94	47,66	0,47	1,23	2,62
117	72,80	73,20	45,71	0,55	1,46	2,65
118	85,30	85,78	53,04	0,56	1,47	2,61
119	73,96	74,31	45,85	0,47	1,23	2,60
120	86,44	86,86	54,14	0,49	1,28	2,64
121	66,08	66,37	41,28	0,44	1,16	2,63
122	86,66	87,14	53,99	0,55	1,45	2,61
123	71,29	71,71	44,68	0,59	1,55	2,64
124	65,51	65,80	40,60	0,44	1,15	2,60
125	74,12	74,51	45,88	0,53	1,36	2,59
126	66,31	66,61	41,40	0,45	1,19	2,63
127	71,47	71,86	44,40	0,55	1,42	2,60
128	76,41	76,86	47,32	0,59	1,52	2,59
129	81,70	82,07	50,95	0,45	1,19	2,63
130	61,29	61,56	38,16	0,44	1,15	2,62
131	81,22	81,62	50,61	0,49	1,29	2,62
132	73,49	73,81	45,73	0,44	1,14	2,62
133	79,45	79,83	49,48	0,48	1,25	2,62
134	75,34	75,75	46,94	0,54	1,42	2,62
135	66,20	66,45	41,10	0,38	0,99	2,61
136	73,70	74,14	46,27	0,60	1,58	2,64
137	65,30	65,64	40,75	0,52	1,37	2,62
138	66,92	67,22	41,77	0,45	1,18	2,63
139	59,24	59,56	36,78	0,54	1,40	2,60
140	82,78	83,22	51,55	0,53	1,39	2,61
141	77,82	78,30	48,32	0,62	1,60	2,60
142	74,64	75,07	46,70	0,58	1,52	2,63
143	76,14	76,50	47,57	0,47	1,24	2,63
144	74,93	75,35	46,77	0,56	1,47	2,62
145	70,39	70,68	43,85	0,41	1,08	2,62
146	69,98	70,22	43,46	0,34	0,90	2,62
147	74,24	74,64	46,24	0,54	1,41	2,61
148	67,69	68,09	42,38	0,59	1,56	2,63
149	69,03	69,45	42,92	0,61	1,58	2,60
150	69,73	70,14	43,39	0,59	1,53	2,61
151	85,22	85,60	53,26	0,45	1,18	2,64
152	72,43	72,73	45,35	0,41	1,10	2,65
153	91,86	92,37	57,10	0,56	1,45	2,60

154	63,82	64,20	39,68	0,60	1,55	2,60
155	63,49	63,83	39,54	0,54	1,40	2,61
156	72,54	72,99	45,69	0,62	1,65	2,66
157	76,27	76,66	47,46	0,51	1,34	2,61
158	71,97	72,36	44,94	0,54	1,42	2,62
159	76,69	77,10	47,54	0,53	1,39	2,59
160	72,45	72,85	45,06	0,55	1,44	2,61
161	83,14	83,55	51,72	0,49	1,29	2,61
162	61,62	61,85	38,27	0,37	0,98	2,61
163	81,19	81,54	50,61	0,43	1,13	2,62
164	71,61	72,04	44,82	0,60	1,58	2,63
165	83,21	83,58	51,78	0,44	1,16	2,62
166	64,69	65,03	40,16	0,53	1,37	2,60
167	63,00	63,36	39,23	0,57	1,49	2,61
168	58,08	58,36	36,07	0,48	1,26	2,61
169	71,23	71,52	44,25	0,41	1,06	2,61
170	68,95	69,23	42,76	0,41	1,06	2,60
171	64,55	64,84	40,16	0,45	1,18	2,62
172	65,33	65,55	40,70	0,34	0,89	2,63
173	69,24	69,62	43,26	0,55	1,44	2,63
174	70,01	70,24	43,49	0,33	0,86	2,62
175	61,48	61,65	38,20	0,28	0,72	2,62
176	60,08	60,29	37,27	0,35	0,91	2,61
177	79,43	79,76	49,86	0,42	1,10	2,66
178	69,48	69,75	43,18	0,39	1,02	2,61
179	65,34	65,66	40,49	0,49	1,27	2,60
180	70,17	70,48	43,49	0,44	1,15	2,60
181	60,96	61,18	38,25	0,36	0,96	2,66
182	57,01	57,20	35,27	0,33	0,87	2,60
183	68,03	68,34	42,47	0,46	1,20	2,63
184	60,91	61,35	37,93	0,72	1,88	2,60
185	77,65	77,81	48,08	0,21	0,54	2,61
186	64,17	64,51	40,04	0,53	1,39	2,62
187	62,42	62,62	38,64	0,32	0,83	2,60
188	75,81	76,30	46,92	0,65	1,67	2,58
189	77,59	77,80	48,22	0,27	0,71	2,62
190	57,01	57,29	35,38	0,49	1,28	2,60
191	86,23	86,55	53,51	0,37	0,97	2,61
192	67,42	67,65	41,69	0,34	0,89	2,60
193	85,71	86,01	53,6	0,35	0,93	2,64
194	55,30	55,56	34,26	0,47	1,22	2,60
195	62,16	62,43	38,53	0,43	1,13	2,60
196	60,52	60,72	37,62	0,33	0,87	2,62
197	74,51	74,95	46,28	0,59	1,53	2,60
198	66,00	66,48	41,16	0,73	1,90	2,61
199	60,29	60,47	37,25	0,30	0,78	2,60
200	57,79	58,00	35,72	0,36	0,94	2,59
201	60,03	60,35	37,33	0,53	1,39	2,61
202	53,56	53,87	33,17	0,58	1,50	2,59
203	57,82	58,02	35,77	0,35	0,90	2,60
204	57,54	57,89	35,79	0,61	1,58	2,60
205	61,73	61,94	38,26	0,34	0,89	2,61



206	70,18	70,42	43,67	0,34	0,90	2,62
207	73,67	74,11	45,70	0,60	1,55	2,59
208	75,52	75,67	46,94	0,20	0,52	2,63
209	75,64	76,01	47,17	0,49	1,28	2,62
210	56,96	57,13	35,28	0,30	0,78	2,61
211	58,78	58,92	36,67	0,24	0,63	2,64
212	75,93	76,22	47,22	0,38	1,00	2,62
213	73,47	73,68	45,75	0,29	0,75	2,63
214	76,17	76,58	47,65	0,54	1,42	2,63
215	89,22	89,64	55,51	0,47	1,23	2,61
216	60,31	60,69	37,54	0,63	1,64	2,61
217	60,30	60,46	37,65	0,27	0,70	2,64
218	70,45	70,64	43,70	0,27	0,71	2,62
219	61,22	61,38	37,99	0,26	0,68	2,62
220	78,16	78,39	48,84	0,29	0,78	2,65
221	67,94	68,32	42,15	0,56	1,45	2,60
222	66,30	66,73	41,18	0,65	1,68	2,59
223	71,28	71,74	44,05	0,65	1,66	2,57
224	66,31	66,63	41,33	0,48	1,26	2,62
225	82,13	82,55	51,38	0,51	1,35	2,63
226	69,51	69,91	43,04	0,58	1,49	2,59
227	79,40	79,59	49,25	0,24	0,63	2,62
228	77,20	77,49	48,09	0,38	0,99	2,63
229	72,03	72,25	44,93	0,31	0,81	2,64
230	69,03	69,33	42,77	0,43	1,13	2,60
231	58,84	59,17	36,53	0,56	1,46	2,60
232	66,51	66,90	41,37	0,59	1,53	2,61
233	63,22	63,41	39,33	0,30	0,79	2,63
234	59,73	60,08	37,19	0,59	1,53	2,61
235	61,48	61,90	38,15	0,68	1,77	2,59
236	69,49	69,87	43,44	0,55	1,44	2,63
237	66,19	66,62	41,08	0,65	1,68	2,59
238	61,50	61,82	38,11	0,52	1,35	2,59
239	71,99	72,36	44,72	0,51	1,34	2,60
240	100,25	100,77	62,66	0,52	1,36	2,63
241	86,95	87,41	54,05	0,53	1,38	2,61
242	84,42	84,84	52,57	0,50	1,30	2,62
243	81,87	82,29	50,75	0,51	1,33	2,60
244	80,29	80,72	49,91	0,54	1,40	2,61
245	75,91	76,33	47,21	0,55	1,44	2,61
246	88,13	88,70	54,79	0,65	1,68	2,60
247	85,41	85,86	53,33	0,53	1,38	2,63
248	88,90	89,40	55,91	0,56	1,49	2,65
249	89,96	90,47	56,01	0,57	1,48	2,61
250	75,21	75,66	46,94	0,60	1,57	2,62
251	106,94	107,58	66,26	0,60	1,55	2,59
252	99,43	100,02	61,79	0,59	1,54	2,60
253	85,75	86,27	53,38	0,61	1,58	2,61
254	76,13	76,47	47,42	0,45	1,17	2,62
255	79,12	79,55	49,17	0,54	1,42	2,60
256	78,34	78,74	48,90	0,51	1,34	2,63
257	108,10	108,68	67,31	0,54	1,40	2,61

258	106,75	107,47	66,69	0,67	1,77	2,62
259	81,25	81,68	51,08	0,53	1,41	2,66
260	94,78	95,19	58,94	0,43	1,13	2,61
261	57,62	57,87	35,86	0,43	1,14	2,62
262	72,25	72,67	45,11	0,58	1,52	2,62
263	71,41	71,80	44,43	0,55	1,42	2,61
264	66,78	67,11	41,59	0,49	1,29	2,62
265	105,08	105,60	65,23	0,49	1,29	2,60
266	78,17	78,70	48,96	0,68	1,78	2,63
267	79,19	79,56	49,30	0,47	1,22	2,62
268	77,98	78,38	48,56	0,51	1,34	2,62
269	84,70	85,10	52,59	0,47	1,23	2,61
270	86,68	87,18	53,98	0,58	1,51	2,61
271	84,04	84,66	52,77	0,74	1,94	2,64
272	72,50	72,96	45,32	0,63	1,66	2,62
273	88,16	88,53	54,89	0,42	1,10	2,62
274	96,42	96,92	60,09	0,52	1,36	2,62
275	82,37	82,73	51,05	0,44	1,14	2,60
276	88,36	88,89	55,19	0,60	1,57	2,62
277	91,29	91,84	56,88	0,60	1,57	2,61
278	78,64	79,06	48,96	0,53	1,40	2,61
279	88,07	88,54	54,71	0,53	1,39	2,60
280	91,57	92,21	57,09	0,70	1,82	2,61
281	79,95	80,42	49,60	0,59	1,52	2,59
282	89,19	89,69	55,26	0,56	1,45	2,59
283	76,78	77,11	47,80	0,43	1,13	2,62
284	82,93	83,32	51,53	0,47	1,23	2,61
285	83,98	84,39	52,21	0,49	1,27	2,61
286	84,89	85,25	52,62	0,42	1,10	2,60
287	88,57	88,97	55,39	0,45	1,19	2,64
288	70,77	71,11	44,08	0,48	1,26	2,62
289	61,30	61,59	38,10	0,47	1,23	2,61
290	82,76	83,12	52,03	0,43	1,16	2,66
291	82,67	83,20	51,38	0,64	1,67	2,60
292	90,11	90,59	56,26	0,53	1,40	2,62
293	97,58	98,13	61,13	0,56	1,49	2,64
294	87,53	88,02	54,51	0,56	1,46	2,61
295	89,94	90,36	56,05	0,47	1,22	2,62
296	70,65	71,02	43,71	0,52	1,35	2,59
297	65,42	65,72	40,93	0,46	1,21	2,64
298	70,86	71,16	44,18	0,42	1,11	2,63
299	74,28	74,64	46,20	0,48	1,27	2,61
300	62,58	62,83	38,99	0,40	1,05	2,63

### Apêndice 3 – Resultados do Point Load Test das Amostras de Charnockitos

Inicial Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)		Diam.Equivalente de2(cm <sup>2</sup> )	de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W									
1	3,98	3,87	3,93	2,06	44,50	609,59	10,30	3,21	5,92	0,82	4,85	
27	4,17	4,04	4,10	2,01	34,00	461,48	10,47	3,24	4,41	0,82	3,62	
51	4,18	4,09	4,13	1,81	31,50	426,21	9,51	3,08	4,48	0,80	3,61	
81	4,15	4,09	4,12	2,07	41,00	560,22	10,87	3,30	5,15	0,83	4,27	
145	4,18	4,04	4,11	2,08	37,00	503,79	10,87	3,30	4,63	0,83	3,84	
190	3,95	3,94	3,95	2,04	45,00	616,64	10,23	3,20	6,03	0,82	4,93	
242	4,20	3,90	4,05	2,04	42,50	581,38	10,54	3,25	5,52	0,82	4,54	
273	3,96	3,24	3,60	2,06	37,50	510,85	9,45	3,07	5,40	0,80	4,34	
285	4,04	3,41	3,72	2,10	35,50	482,64	9,93	3,15	4,86	0,81	3,95	
299	4,23	4,10	4,16	2,13	50,50	694,23	11,29	3,36	6,15	0,84	5,14	
MÉDIAS	4,10	3,81	3,95	2,05	37,50	544,70	10,35	3,22	5,26	0,82	4,31	

10° Ciclo Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)		Diam.Equivalente de2(cm <sup>2</sup> )	de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W									
10	4,35	4,02	4,18	1,84	33,5	454,42	9,82	3,13	4,63	0,81	3,75	
16	4,01	3,88	3,95	2,04	22,5	299,26	10,25	3,20	2,92	0,82	2,39	
54	3,58	3,40	3,49	2,07	19	249,89	9,19	3,03	2,72	0,80	2,17	
62	3,42	3,22	3,32	2,03	26,5	355,68	8,57	2,93	4,15	0,79	3,26	
106	4,04	3,45	3,74	2,08	28	376,84	9,92	3,15	3,80	0,81	3,09	
122	3,89	3,86	3,87	2,03	23,5	313,36	10,02	3,17	3,13	0,81	2,55	
155	4,16	4,10	4,13	2,07	17,5	228,73	10,88	3,30	2,10	0,83	1,74	
192	3,67	3,24	3,45	2,05	24	320,42	8,99	3,00	3,56	0,79	2,83	
202	4,07	4,04	4,05	1,92	26,5	355,68	9,92	3,15	3,59	0,81	2,91	
258	4,13	3,88	4,00	1,88	27	362,73	9,57	3,09	3,79	0,81	3,05	
MÉDIAS	3,93	3,71	3,82	2,00	24,80	331,70	9,71	3,11	3,44	0,81	2,77	

20° Ciclo Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(Mpa)
	W1	W2	W								
59	4,00	3,93	3,97	2,02	28	376,84	10,21	3,20	3,69	0,82	3,02
68	3,98	3,54	3,76	2,10	29,5	398,00	10,05	3,17	3,96	0,81	3,23
85	3,93	3,86	3,89	2,02	35	475,58	10,01	3,16	4,75	0,81	3,87
92	4,06	3,98	4,02	2,05	33	447,37	10,51	3,24	4,26	0,82	3,50
163	3,94	3,87	3,90	1,92	33,5	454,42	9,53	3,09	4,77	0,81	3,84
198	4,10	3,92	4,01	2,11	15	193,46	10,77	3,28	1,80	0,83	1,49
214	4,39	4,06	4,22	1,93	24,5	327,47	10,39	3,22	3,15	0,82	2,59
226	4,04	3,96	4,00	2,08	32,5	440,32	10,58	3,25	4,16	0,82	3,43
240	4,18	3,95	4,07	1,88	33,5	454,42	9,75	3,12	4,66	0,81	3,77
277	4,16	3,69	3,92	2,08	29	390,95	10,38	3,22	3,77	0,82	3,09
MÉDIAS	4,08	3,88	3,98	2,02	29,35	395,88	10,22	3,20	3,90	0,82	3,18

30° Ciclo Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
8	4,24	4,16	4,20	2,02	37	503,79	10,80	3,29	4,67	0,83	3,86
18	4,29	4,24	4,26	2,02	36	489,69	10,93	3,31	4,48	0,83	3,72
37	4,31	3,99	4,15	2,05	12,5	158,20	10,82	3,29	1,46	0,83	1,21
56	3,82	3,46	3,64	2,03	27,5	369,79	9,40	3,07	3,93	0,80	3,16
61	4,66	3,85	4,25	2,05	36	489,69	11,11	3,33	4,41	0,83	3,67
88	4,07	3,74	3,90	1,84	15	193,46	9,16	3,03	2,11	0,80	1,69
103	4,74	4,11	4,43	1,90	23	306,31	10,68	3,27	2,87	0,83	2,37
149	4,40	3,67	4,04	1,86	31	419,16	9,53	3,09	4,40	0,80	3,54
181	4,07	4,03	4,05	2,09	34	461,48	10,77	3,28	4,29	0,83	3,55
281	3,75	3,70	3,72	2,09	35	475,58	9,92	3,15	4,79	0,81	3,89
MÉDIAS	4,23	3,90	4,06	1,99	28,70	386,71	10,31	3,21	3,74	0,82	3,07

<b>Inicial NaCl</b>	<b>Dimensões Laterais (cm)</b>			<b>Dist. (cm)</b>	<b>Leit. Manométrica</b>	<b>Carga</b>		<b>Diam.Equivalente</b>			<b>Resistência</b>
<b>Amostra</b>	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>L M (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Kgf)</b>	<b>de2(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>de(cm)</b>	<b>Is(MPa)</b>	<b>FC</b>	<b>Is(50)(MPa)</b>
11	3,53	3,49	3,51	2,02	33	430,77	9,01	3,00	4,78	0,79	3,80
12	4,04	3,95	3,99	2,03	20	242,99	10,33	3,21	2,35	0,82	1,93
58	3,85	3,38	3,61	2,03	30	387,43	9,32	3,05	4,16	0,80	3,33
78	4,00	3,96	3,98	2,05	34,5	452,43	10,39	3,22	4,35	0,82	3,57
143	3,93	3,46	3,69	2,06	33,5	437,99	9,70	3,11	4,51	0,81	3,65
170	4,13	4,04	4,08	1,87	37	488,54	9,70	3,12	5,03	0,81	4,07
173	4,12	3,98	4,05	1,88	40	531,87	9,70	3,11	5,48	0,81	4,43
227	4,19	3,71	3,95	1,88	40	531,87	9,47	3,08	5,62	0,80	4,51
249	4,28	4,12	4,20	2,09	42,5	567,98	11,16	3,34	5,09	0,83	4,24
267	4,02	3,14	3,58	2,06	31	401,88	9,41	3,07	4,27	0,80	3,43
<b>MÉDIAS</b>	4,01	3,72	3,87	2,00	34,15	447,38	9,82	3,13	4,57	0,81	3,73

<b>10° Ciclo NaCl</b>	<b>Dimensões Laterais (cm)</b>			<b>Dist. (cm)</b>	<b>Leit. Manométrica</b>	<b>Carga</b>		<b>Diam.Equivalente</b>			<b>Resistência</b>
<b>Amostra</b>	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>L M (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Kgf)</b>	<b>de2(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>de(cm)</b>	<b>Is(MPa)</b>	<b>FC</b>	<b>Is(50)(MPa)</b>
84	3,82	3,31	3,56	2,03	14,5	186,41	9,20	3,03	2,03	0,80	1,62
95	3,85	3,67	3,76	2,06	25	334,52	9,85	3,14	3,40	0,81	2,75
175	4,13	3,86	3,99	1,88	24,5	327,47	9,53	3,09	3,44	0,80	2,77
200	4,16	4,04	4,10	2,12	19	249,89	11,06	3,33	2,26	0,83	1,88
228	4,10	3,89	4,00	2,12	27,5	369,79	10,77	3,28	3,43	0,83	2,84
229	4,13	3,94	4,03	1,92	17	221,67	9,88	3,14	2,24	0,81	1,82
230	4,18	3,99	4,08	1,85	13,5	172,30	9,64	3,10	1,79	0,81	1,44
247	4,08	3,67	3,88	2,05	24,5	327,47	10,12	3,18	3,24	0,82	2,64
257	4,03	3,89	3,96	1,87	26	348,63	9,45	3,07	3,69	0,80	2,96
264	4,06	3,30	3,68	2,05	8,5	101,77	9,58	3,10	1,06	0,81	0,86
<b>MÉDIAS</b>	4,05	3,75	3,90	1,99	20,00	263,99	9,91	3,15	2,66	0,81	2,16

20° Ciclo NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(Mpa)
	W1	W2	W								
38	3,86	3,24	3,55	2,04	8	94,72	9,19	3,03	1,03	0,80	0,82
77	3,59	3,48	3,54	2,03	6,5	73,56	9,12	3,02	0,81	0,80	0,64
113	4,68	4,18	4,43	2,07	13,5	172,30	11,64	3,41	1,48	0,84	1,25
126	3,55	3,46	3,51	2,04	4	38,30	9,12	3,02	0,42	0,80	0,33
141	4,22	4,11	4,17	2,00	14,5	186,41	10,63	3,26	1,75	0,82	1,45
146	3,54	3,54	3,54	1,95	23	306,31	8,78	2,96	3,49	0,79	2,76
168	4,15	3,78	3,97	1,88	16	207,57	9,48	3,08	2,19	0,80	1,76
171	4,34	4,11	4,23	1,93	8,5	101,77	10,36	3,22	0,98	0,82	0,81
203	3,91	3,21	3,56	1,87	15	193,46	8,50	2,91	2,28	0,78	1,79
241	3,93	3,66	3,79	2,13	3	24,19	10,29	3,21	0,24	0,82	0,19
MÉDIAS	3,98	3,68	3,83	1,99	11,20	139,86	9,71	3,11	1,47	0,81	1,18

30° Ciclo NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
8	4,24	4,16	4,20	2,02	37	503,79	10,80	3,29	4,67	0,83	3,86
18	4,29	4,24	4,26	2,02	36	489,69	10,93	3,31	4,48	0,83	3,72
37	4,31	3,99	4,15	2,05	12,5	158,20	10,82	3,29	1,46	0,83	1,21
56	3,82	3,46	3,64	2,03	27,5	369,79	9,40	3,07	3,93	0,80	3,16
61	4,66	3,85	4,25	2,05	36	489,69	11,11	3,33	4,41	0,83	3,67
88	4,07	3,74	3,90	1,84	15	193,46	9,16	3,03	2,11	0,80	1,69
103	4,74	4,11	4,43	1,90	23	306,31	10,68	3,27	2,87	0,83	2,37
149	4,40	3,67	4,04	1,86	31	419,16	9,53	3,09	4,40	0,80	3,54
181	4,07	4,03	4,05	2,09	34	461,48	10,77	3,28	4,29	0,83	3,55
281	3,75	3,70	3,72	2,09	35	475,58	9,92	3,15	4,79	0,81	3,89
MÉDIAS	4,23	3,90	4,06	1,99	28,70	386,71	10,31	3,21	3,74	0,82	3,07

### Apêndice 4 – Resultados do Point Load Test das Amostras de Gnaisses

Inicial Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
31	4,11	4,09	4,10	2,16	41	546,32	11,25	3,35	4,86	0,84	4,06
39	4,10	3,98	4,04	2,18	44	589,65	11,21	3,35	5,26	0,83	4,39
153	4,18	4,17	4,17	2,15	19	228,55	11,43	3,38	2,00	0,84	1,68
299	4,24	3,48	3,86	2,00	20	242,99	9,84	3,14	2,47	0,81	2,00
42	4,22	3,31	3,77	2,10	14,5	163,55	10,05	3,17	1,63	0,81	1,33
193	4,39	3,70	4,04	2,03	16	185,22	10,47	3,24	1,77	0,82	1,45
256	3,82	3,78	3,80	2,10	9	84,11	10,18	3,19	0,83	0,82	0,67
174	4,04	3,32	3,68	2,03	13,5	149,11	9,51	3,08	1,57	0,80	1,26
246	4,23	4,00	4,12	2,09	29	372,99	10,95	3,31	3,41	0,83	2,83
67	4,29	4,07	4,18	1,99	31	401,88	10,60	3,26	3,79	0,82	3,13
MÉDIAS	4,16	3,79	3,98	2,08	23,70	296,44	10,55	3,25	2,76	0,82	2,28

10° Ciclo Água	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
57	4,04	3,67	3,85	2,07	15,5	200,52	10,16	3,19	1,97	0,82	1,61
97	4,55	3,78	4,16	2,05	13	165,25	10,88	3,30	1,52	0,83	1,26
102	4,18	3,73	3,96	2,05	12	151,14	10,33	3,21	1,46	0,82	1,20
172	3,88	3,16	3,52	2,04	5	52,40	9,13	3,02	0,57	0,80	0,46
249	4,25	3,98	4,12	2,09	15	193,46	10,93	3,31	1,77	0,83	1,47
274	4,40	4,15	4,28	2,07	12,5	158,20	11,27	3,36	1,40	0,84	1,17
286	4,14	3,87	4,00	2,12	12,5	158,20	10,81	3,29	1,46	0,83	1,21
294	4,12	4,00	4,06	2,11	12	151,14	10,87	3,30	1,39	0,83	1,15
295	4,28	3,87	4,07	2,13	15	193,46	11,03	3,32	1,75	0,83	1,46
297	3,65	3,54	3,59	1,99	5	52,40	9,11	3,02	0,58	0,80	0,46
MÉDIAS	4,15	3,78	3,96	2,07	11,75	147,62	10,45	3,23	1,39	0,82	1,15

<b>20° Ciclo</b>	<b>Dimensões Laterais (cm)</b>			<b>Dist. (cm)</b>	<b>Leit. Manométrica</b>	<b>Carga</b>		<b>Diam.Equivalente</b>			<b>Resistência</b>
<b>Água</b>	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>L M (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Kgf)</b>	<b>de2(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>de(cm)</b>	<b>Is(MPa)</b>	<b>FC</b>	<b>Is(50)(Mpa)</b>
5	3,94	3,92	3,93	1,86	13	165,25	9,28	3,05	1,78	0,80	1,42
12	4,37	3,79	4,08	2,03	34,5	468,53	10,52	3,24	4,45	0,82	3,66
95	3,89	3,39	3,64	1,97	24	320,42	9,12	3,02	3,51	0,80	2,80
110	3,67	3,37	3,52	2,07	24,5	327,47	9,28	3,05	3,53	0,80	2,82
159	4,17	3,51	3,84	2,05	25	334,52	10,00	3,16	3,34	0,81	2,72
192	3,63	3,53	3,58	2,01	13	165,25	9,16	3,03	1,80	0,80	1,44
231	3,58	3,29	3,44	2,01	16	207,57	8,81	2,97	2,36	0,79	1,86
273	4,22	4,01	4,11	2,08	20	263,99	10,89	3,30	2,43	0,83	2,01
284	4,01	3,91	3,96	2,07	17	221,67	10,43	3,23	2,13	0,82	1,75
293	4,36	3,96	4,16	2,20	13	165,25	11,64	3,41	1,42	0,84	1,20
<b>MÉDIAS</b>	3,98	3,67	3,83	2,03	20,00	263,99	9,91	3,15	2,68	0,81	2,17

<b>30° Ciclo</b>	<b>Dimensões Laterais (cm)</b>			<b>Dist. (cm)</b>	<b>Leit. Manométrica</b>	<b>Carga</b>		<b>Diam.Equivalente</b>			<b>Resistência</b>
<b>Água</b>	<b>W1</b>	<b>W2</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>L M (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P (Kgf)</b>	<b>de2(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>de(cm)</b>	<b>Is(MPa)</b>	<b>FC</b>	<b>Is(50)(MPa)</b>
25	4,05	3,87	3,96	2,14	31	419,16	10,77	3,28	3,89	0,83	3,22
58	3,77	3,57	3,67	2,10	18,5	242,83	9,81	3,13	2,48	0,81	2,01
82	4,14	3,88	4,01	2,11	24	320,42	10,75	3,28	2,98	0,83	2,47
116	3,99	3,59	3,79	2,08	23	306,31	10,04	3,17	3,05	0,81	2,48
117	3,93	3,48	3,71	2,04	17	221,67	9,65	3,11	2,30	0,81	1,85
183	3,62	3,42	3,52	2,13	42,5	581,38	9,52	3,08	6,11	0,80	4,92
205	3,99	3,01	3,50	2,04	19,5	256,94	9,07	3,01	2,83	0,80	2,26
226	3,64	3,47	3,55	2,19	44	602,54	9,90	3,15	6,09	0,81	4,94
279	4,42	3,79	4,10	2,11	25,5	341,58	11,03	3,32	3,10	0,83	2,58
296	3,99	3,53	3,76	2,02	21	278,10	9,65	3,11	2,88	0,81	2,33
<b>MÉDIAS</b>	3,95	3,56	3,76	2,09	26,60	357,09	10,02	3,16	3,57	0,81	2,90



Inicial NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
23	3,98	3,88	3,93	2,21	49	661,87	11,05	3,32	5,99	0,83	4,99
29	4,56	4,01	4,28	1,89	36,5	481,32	10,27	3,21	4,68	0,82	3,84
40	3,80	3,78	3,79	2,08	47	632,98	10,03	3,17	6,31	0,81	5,14
49	3,86	3,33	3,59	2,07	8,5	76,89	9,45	3,07	0,81	0,80	0,65
80	3,94	3,93	3,93	2,08	25	315,21	10,43	3,23	3,02	0,82	2,48
130	3,60	3,36	3,48	2,02	40	531,87	8,95	2,99	5,94	0,79	4,72
137	3,64	3,45	3,55	2,06	22,5	279,10	9,31	3,05	3,00	0,80	2,40
138	3,86	3,30	3,58	2,04	23,5	293,55	9,31	3,05	3,15	0,80	2,53
195	3,58	3,55	3,57	1,94	33,5	437,99	8,81	2,97	4,97	0,79	3,93
270	4,54	3,59	4,06	2,06	24	300,77	10,68	3,27	2,82	0,83	2,33
MÉDIAS	3,93	3,62	3,78	2,05	30,95	401,15	9,83	3,13	4,07	0,81	3,30

10° Ciclo NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
33	3,96	3,69	3,83	1,87	18	235,78	9,13	3,02	2,58	0,80	2,06
85	3,83	3,80	3,81	2,10	5	52,40	10,19	3,19	0,51	0,82	0,42
111	4,20	4,09	4,14	1,97	25,5	341,58	10,41	3,23	3,28	0,82	2,70
143	3,96	3,65	3,80	2,06	7,5	87,67	9,97	3,16	0,88	0,81	0,71
151	4,08	3,95	4,02	2,11	25	334,52	10,78	3,28	3,10	0,83	2,57
160	4,10	3,41	3,75	2,04	17,5	228,73	9,75	3,12	2,35	0,81	1,90
181	3,47	3,40	3,43	2,01	14	179,36	8,80	2,97	2,04	0,79	1,61
261	3,37	3,28	3,32	2,06	5,5	59,46	8,70	2,95	0,68	0,79	0,54
262	3,70	3,62	3,66	2,10	6	66,51	9,77	3,13	0,68	0,81	0,55
292	4,16	4,08	4,12	2,08	26	348,63	10,90	3,30	3,20	0,83	2,65
MÉDIAS	3,88	3,70	3,79	2,04	15,00	193,46	9,84	3,13	1,93	0,81	1,57

20° Ciclo NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(Mpa)
	W1	W2	W								
15	4,80	4,06	4,43	1,87	16	207,57	10,54	3,25	1,97	0,82	1,62
133	3,98	3,77	3,87	2,08	4,5	45,35	10,27	3,20	0,44	0,82	0,36
155	3,53	3,45	3,49	2,06	3	24,19	9,16	3,03	0,26	0,80	0,21
191	4,83	3,48	4,15	2,04	2	10,08	10,80	3,29	0,09	0,83	0,08
236	3,73	3,40	3,57	2,17	22,5	299,26	9,87	3,14	3,03	0,81	2,46
243	3,95	3,92	3,93	2,12	8	94,72	10,59	3,25	0,89	0,82	0,74
275	3,95	3,89	3,92	2,11	4	38,30	10,53	3,25	0,36	0,82	0,30
281	3,88	3,86	3,87	2,09	7,5	87,67	10,27	3,21	0,85	0,82	0,70
291	4,00	3,87	3,94	2,10	7	80,61	10,54	3,25	0,76	0,82	0,63
300	3,55	3,38	3,46	2,07	4,5	45,35	9,12	3,02	0,50	0,80	0,40
MÉDIAS	4,02	3,71	3,86	2,07	7,90	93,31	10,17	3,19	0,92	0,82	0,75

30° Ciclo NaCl	Dimensões Laterais (cm)			Dist. (cm)	Leit. Manométrica L M (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga P (Kgf)	de2(cm <sup>2</sup> )	Diam.Equivalente de(cm)	Is(MPa)	FC	Resistência Is(50)(MPa)
	W1	W2	W								
14	3,89	3,72	3,81	2,18	20,5	271,05	10,57	3,25	2,56	0,82	2,11
20	4,29	3,85	4,07	2,02	25	334,52	10,48	3,24	3,19	0,82	2,62
43	3,89	3,24	3,56	2,14	10,5	129,99	9,70	3,12	1,34	0,81	1,08
51	3,90	3,52	3,71	2,11	5,5	59,46	9,98	3,16	0,60	0,81	0,48
89	3,94	3,59	3,77	2,11	5	52,40	10,10	3,18	0,52	0,82	0,42
115	3,55	3,37	3,46	2,09	12,5	158,20	9,23	3,04	1,71	0,80	1,37
132	4,27	3,29	3,78	2,07	5	52,40	9,98	3,16	0,52	0,81	0,43
254	4,07	3,91	3,99	2,04	16,5	214,62	10,36	3,22	2,07	0,82	1,70
257	4,69	4,15	4,42	2,17	31,5	426,21	12,23	3,50	3,49	0,85	2,97
272	3,81	3,54	3,68	2,10	5,5	59,46	9,82	3,13	0,61	0,81	0,49
MÉDIAS	4,03	3,62	3,82	2,10	13,75	175,83	10,25	3,20	1,66	0,82	1,37

## Apêndice 4:

<b>0,3W &lt; D &lt; W</b>	<b>Formulário:</b> <b>Correção da Forma:</b> $d_e^2 = d^2$ (diametral) $d_e^2 = 4A/\pi$ (outros) $A = W.D$ (seção transversal mínima)	<b>Correção do tamanho:</b> $FC = (d_e/50)^{0,45}$	<b>Resistência:</b> $IS = (P/d_e^2) * 10^{-1}$ (Mpa) $IS(50) = FC * IS$ (MPa)	<b>Tipo:</b> <b>d-</b> diametral <b>a-</b> axial <b>i-</b> irregular ou blocos <b>//</b> - paralela <b>L-</b> perpendicular	<b>st</b> - saturada <b>sc</b> - seca <b>un</b> -umidade natural
---------------------------	---	---	---	--	--