Universidade Estadual Paulista

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOLOGIA REGIONAL

ALTERABILIDADE E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DO CEARÁ COM APLICAÇÃO NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Discente: Anna Paula Lima Costa

Orientadora: Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck

Co-orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Rio Claro – SP

2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ALTERABILIDADE E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DO CEARÁ COM APLICAÇÃO NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Anna Paula Lima Costa

Orientadora: Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck
Co-orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geologia Regional para obtenção do Título de Doutor em Geologia.

Rio Claro (SP)
2007

552 Costa, Anna Paula Lima
C837a Alterabilidade e caracterização tecnológica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do estado do Ceará com aplicação no setor de rochas ornamentais /Anna Paula Lima Costa. -- Rio Claro : [s.n.], 2007
214 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado). – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Tamar Milca Bortolozzo Galembeck
Co-orientador: José de Araújo Nogueira Neto

1. Petrologia. 2. Rocha ornamental. 3. Gnaisse. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Orientadora Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck

Dr. Antenor Braga Paraguassú

Dra. Maria de Fátima Bessa Torquato

Dr. Fabiano Cabañas Navarro

Dr. Antonio Carlos Artur

Doutoranda: Anna Paula Lima Costa

Rio Claro, 22 de agosto de 2007

Resultado: Aprovada

“Dedico este trabalho ao meu filho
Paulo Roberto e o querido Zeca (José de Araújo Nogueira Neto),
pessoa digna, sem cuja sabedoria e paciência, eu não teria chegado
tão longe...”

AGRADECIMENTOS

Graças a Deus cheguei ao fim de mais uma etapa profissional, não a última, mas talvez uma das mais difíceis. Um trabalho como esse não se conclui sozinha, há sempre muitos profissionais, amigos e familiares que trabalham separadamente, mas com um único objetivo, o de colaborar para o nosso crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à orientadora Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck.

Ao co-orientador Dr. José de Araújo Nogueira Neto, por ser um grande amigo e guru.

À Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa – FUNCAP e Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, pelo suporte financeiro dado ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Dr. Joaquim Simão e Dra. Zenaide Silva, pela disponibilidade na utilização do Laboratório de Rochas Industriais e Ornamentais do Departamento de Ciências da Terra da Universidade Nova de Lisboa.

Aos técnicos, secretárias e agentes administrativos do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Paulista – UNESP e do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará.

Aos amigos Dr. Joaquim Torquato e Dra. Maria de Fátima Bessa, pelos conselhos e orientações.

Em memória ao mestre, amigo e incentivado Prof. Marques Junior.

Aos colegas Hélio e Magnólia, por tornarem as etapas de campo muito mais agradáveis.

Aos colegas Ivaldo, Aninha e Mayra pelo apoio e carinho em Rio Claro.

A todos os colegas rioclarense e cearenses pelo suporte do dia-a-dia.

Agradeço a minha Família carinhosa, compreensiva, que sempre me apoiou e deu suporte na educação do meu filho, Paulo Roberto, durante minha ausência.

Ao Isaac Sassoma por ter suportado com paciência os meus momentos de tensão e desânimo, sempre me encorajando e incentivando.

Manifesto o meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada.

ÍNDICE

RESUMO ..... **xiv**

ABSTRACT ..... **xv**

1 CAPÍTULO

INTRODUÇÃO **01**

1.1 CONTEXTO GERAL DO ESTUDO 01

1.2 O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS 02

1.2.1 Setor de Rochas Ornamentais no Ceará – Histórico 02

1.3 OBJETIVOS 04

1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO ÀS ÁREAS DE ESTUDO 04

2 CAPÍTULO

MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS **09**

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 09

2.2 TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS 09

2.3 TRABALHOS LABORATORIAIS 10

2.3.1 Análise Petrográfica 11

2.3.2 Ensaios Físico-Mecânicos 14

2.3.3 Análise da Alterabilidade 21

2.3.4 Análise Química Mineral 33

2.4 TRABALHO FINAL 35

3 CAPÍTULO

CONTEXTO GEOLÓGICO **36**

3.1 ENQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONAL 36

3.1.1 Geologia da Região de Itapipoca 39

3.1.2 Geologia da Região de Granja 44

3.1.3 Geologia da Região de Chorozinho 48

4 CAPÍTULO

ANÁLISE PETROGRÁFICA **53**

4.1 CONCEITOS 53

4.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA 54

4.2.1 Verde Netuno – Gnaisse Enderbítico da Região de Itapipoca 57

4.2.2 Verde Santa Cruz – Gnaisse Enderbítico da Região de Granja 60

4.2.3 Verde Choró – Gnaisse Enderbítico da Região de Chorozinho 63

5 CAPÍTULO

QUÍMICA MINERAL 66

5.1 BIOTITA 66

5.2 GRANADA 68

5.3 ANFIBÓLIO 71

5.4 PIROXÊNIO 73

5.5 FELDSPATO 74

5.6 ÓXIDOS 75

6 CAPÍTULO

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS: RESULTADOS E DISCUSSÕES 76

6.1 ÍNDICES FÍSICOS (MASSA ESPECÍFICA APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO D'ÁGUA) – NBR 12766 - ABNT 1992 77

6.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES 80

6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO 90

6.4 ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO AMSLER 96

6.5 ENSAIO DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR 99

7 CAPÍTULO

ALTERAÇÃO/ALTERABILIDADE: RESULTADOS E DISCUSSÕES 102

7.1 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO 103

7.1.1. Comportamento dos Gnaisses Enderbíticos perante o HCl 105

7.1.2. Comportamento dos Gnaisses Enderbíticos perante o KOH 106

7.1.3. Comportamento dos Gnaisses Enderbíticos perante o NaClO 108

7.1.4. Comportamento dos Gnaisses Enderbíticos perante o $C_6H_8O_7$ 109

7.1.5. Comportamento dos Gnaisses Enderbíticos perante o NH_4Cl 110

7.1.6. Manutenção dos Materiais Pétreos 117

7.2 EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA 119

7.3 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO CONTÍNUA COM EXTRATOR SOXHLET 124

7.3.1. Observação Macroscópica dos Fragmentos de Rochas e Peso das Amostras 124

7.3.2. Análise Química das Águas dos Ciclos de Lixiviação 126

7.3.3. Análise Química das Rochas Frescas e das Alteradas 127

7.3.4. Análise do Resíduo Sólido das Soluções 129

7.4 EXPOSIÇÃO AO DIÓXIDO DE ENXOFRE 134

8 CAPÍTULO
CONCLUSÕES E SUGESTÕES 136
9 CAPÍTULO
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 141

APÊNDICE A – TABELAS DAS ANÁLISES QUÍMICA 147
QUÍMICA MINERAL DA BIOTITA 148
QUÍMICA MINERAL DA GRANADA 150
QUÍMICA MINERAL DO ANFIBÓLIO 152
QUÍMICA MINERAL DO PIROXÊNIO 154
QUÍMICA MINERAL DO FELDSPATO 158
QUÍMICA MINERAL DOS ÓXIDOS 162
ELEMENTOS MAIORES 163
SOLUÇÕES DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO COM EXTRATOR SOXHLET 164

APÊNDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS 165
ÍNDICES FÍSICOS 166
COMPRESSÃO UNIAXIAL 169
RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) 179
RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO 189
DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR 195
ALTERAÇÃO ACELERADA POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA 198
LIXIVIAÇÃO CONTÍNUA COM EXTRATOR SOXHLET 198
EXPOSIÇÃO AO DIÓXIDO DE ENXOFRE 198
PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS 199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização e acesso às áreas de pesquisa..... 06
Figura 1.2: Localização da área de Itapipoca..... 07
Figura 1.3: Localização da área de Granja..... 07
Figura 1.4: Localização da área de Chorozinho..... 08
Figura 2.1: Esquema ilustrativo da influência da estrutura da rocha e sua resistência 10
Figura 2.2: Tipos de contatos entre grãos 12
Figura 2.3: Esquema do sistema utilizado no ensaio de resistência à flexão..... 17
Figura 2.4: Aplicação dos agentes agressivos nas placas polidas..... 23
Figura 2.5: Câmara Ascott 25
Figura 2.6: Extrator Soxhlet..... 27
Figura 2.7: Ensaio de lixiviação continua dos gnaisses enderbíticos..... 28
Figura 2.8: Coordenada no sistema CIELAB..... 32
Figura 3.1: Principais Domínios dos Terrenos Pré-Cambrianos do Ceará 38
Figura 3.2: Mapa geológico da porção noroeste do município de Itapipoca 41
Figura 3.3: Mapa geológico da porção noroeste do município de Granja 45
Figura 3.4: Aspecto morfológico da área de estudo de Granja..... 47
Figura 3.5: Diagrama de roseta 49
Figura 3.6: Mapa Geológico da região central de Chorozinho 51
Figura 3.7: Aspecto morfológico da área de pesquisa de Chorozinho..... 52
Figura 4.1: Proporção mineralógica dos constituintes dos gnaisses enderbíticos..... 54
Figura 4.2: Diagrama QAP com a classificação (STRECKEISEN, 1974). 55
Figura 5.1: Classificação para as biotitas dos gnaisses enderbíticos..... 67
Figura 5.2: Classificação das biotitas no diagrama FeO-MgO-Al_2O_3.. 68
Figura 5.3: Classificação das granadas 69
Figura 5.4: Diagrama das frações molares (X_{Fe}-X_{Mg}; de X_{Ca}-X_{Mg} e X_{Ca}-X_{Fe})..... 70
Figura 5.5: Classificação de anfibólios para os gnaisses enderbíticos. 72
Figura 5.6: Classificação dos orto e dos clinopiroxênios em gnaisses enderbíticos 73
Figura 5.7: Classificação dos feldspatos dos gnaisses enderbíticos..... 75
Figura 6.1: Relação entre os valores médios de massa específica aparente seca e saturada e índice de minerais escuros para os gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará..... 78

Figura 6.2: Correlação da porosidade aparente e da absorção de água com o número de microfissuras dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará 79

Figura 6.3: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e saturada, nas direções oblíqua, perpendicular e paralela versus a velocidade de ondas ultra-sônicas dos gnaisses enderbíticos estudados 82

Figura 6.4: Relação dos resultados da resistência à compressão nas condições seca e saturada versus velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Netuno .. 83

Figura 6.5: Relação dos resultados da resistência à compressão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz..... 84

Figura 6.6: Relação dos resultados da resistência à compressão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Choró 86

Figura 6.7: Simulação do ensaio de compressão uniaxial com os possíveis principais planos de ruptura da rocha 87

Figura 6.8: Relação dos planos teóricos de ruptura com eixos do elipsóide dos esforços..... 88

Figura 6.9: Esquema dos corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão e flexão 88

Figura 6.10: Relação dos valores médios da resistência à flexão em condições seca e saturada, nas direções perpendicular e paralela versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico do Norte do Estado do Ceará 91

Figura 6.11: Relação dos resultados da resistência à flexão em condições seca e saturada versus velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Netuno .. 92

Figura 6.12: Relação dos resultados da resistência à flexão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz..... 93

Figura 6.13: Relação dos resultados da resistência à flexão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Choró 94

Figura 6.14: Relação entre o desgaste Amsler e a porcentagem de quartzo na composição mineralógica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 97

Figura 6.15: Relação entre o desgaste médio Amsler e a porcentagem de quartzo na composição mineralógica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 98

Figura 6.16: Relação entre as diferentes direções de dilatação e a média da velocidade de onda ultra-sônica para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 100

Figura 7.1: Perda de brilho (%) em relação ao brilho inicial, após ensaio de ataque químico para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 104

Figura 7.2: Relação do brilho inicial e final após ataque com acido clorídrico versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo para os gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 106

Figura 7.3: Relação do brilho inicial e final após ataque com hidróxido de potássio versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo para os gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 107

Figura 7.4: Relação do brilho inicial e final após ataque com hipoclorito de sódio versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo para os gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 109

Figura 7.5: Relação do brilho inicial e final após ataque com ácido cítrico versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo para os gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 110

Figura 7.6: Relação do brilho inicial e final após ataque com cloreto de amônia versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo para os gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 111

Figura 7.7a: Variação absoluta da perda de massa das amostras em relação ao ciclo anterior em porcentagem relativa à amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 120

Figura 7.7b: Variação acumulada da perda de massa das amostras/grama de amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 121

Figura 7.8: Aspecto visual do Verde Netuno após o ensaio de exposição à névoa salina 122

Figura 7.9: Aspecto visual do Verde Santa Cruz após ensaio de exposição à névoa salina . 122

Figura 7.10: Aspecto visual do Verde Choró após o ensaio de exposição à névoa salina.... 123

Figura 7.11: Aspecto macroscópico antes e após o ensaio de lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos: a) Verde Netuno; b) Verde Santa Cruz; e c) Verde Choró..... 125

Figura 7.12: Peso inicial, final e perda de peso após o ensaio lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará 126

Figura 7.13: Difratograma dos resíduos do Verde Netuno após o ensaio de Soxhlet. 131

Figura 7.14: Difratograma dos resíduos do Verde Santa Cruz após o ensaio de Soxhlet..... 132

Figura 7.15: Difratograma dos resíduos do Verde Choró após o ensaio de Soxhlet 133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1: Síntese petrográfica dos litotipos estudados 56
Tabela 6.1: Resultados do ensaio de índices físicos 77
Tabela 6.2: Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial 81
Tabela 6.3: Resultado dos ensaios de resistência à flexão 90
Tabela 6.4: Resultados do ensaio de Desgaste Amsler 96
Tabela 6.5: Resultados do ensaio de Dilatação Térmica Linear 99
Tabela 7.1: Perda de brilho após o ataque químico dos gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 103
Tabela 7.2: Resultado da determinação das classes de resistência após o ataque químico dos gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 113
Tabela 7.3: Perda de massa total após o ensaio por exposição à névoa salina dos gnaisses enderbíticos da porção Norte do Estado do Ceará 119
Tabela 7.4a: Variação absoluta da perda de massa das amostras em relação ao ciclo anterior em porcentagem relativa à amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará 120
Tabela 7.4b: Variação acumulada da perda de massa das amostras/grama de amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará 120
Tabela 7.5: Perda de massa total após o ensaio lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará 125
Tabela 7.6: Minerais essenciais, dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará, que contribuíram para a presença de determinados elementos em solução 127
Tabela 7.7: Análise química de rocha total em amostras dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará, antes e após o ensaio de Soxhlet 128
Tabela 7.8: Minerais identificados nos resíduos sólidos das filtragens dos ciclos do ensaio de Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará..... 129
Tabela 7.9: Variação de peso e perda de massa dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará após o ensaio de exposição ao dióxido de enxofre..... 134
Tabela 7.10: Variações cromáticas médias medidas para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará antes e após a ação da exposição ao dióxido de enxofre... 135

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Classificação sugerida no ISRM (1997e) 16
Quadro 2.2: Relação dos reagentes químicos 23

ÍNDICE DE PRANCHAS

PRANCHA I: Morfologia das áreas de estudo 43
PRANCHA II: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Netuno 59
PRANCHA III: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Santa Cruz 62
PRANCHA IV: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Choró 65
PRANCHA V: Placas polidas do Verde Netuno usadas no ensaio de resistência de ataque químico 113
PRANCHA VI: Placas polidas do Verde Santa Cruz usadas no ensaio de resistência de ataque químico 114
PRANCHA VII: Placas polidas do Verde Choró usadas no ensaio de resistência de ataque químico 115
PRANCHA VIII: Efeito obtido a partir do Microsoft Photo Editor 116

RESUMO

Os materiais empregados na pesquisa correspondem a rochas granulíticas, mais especificamente gnaisses enderbíticos. Exibem cor que varia de verde a cinza escuro, com textura de fina a média, e foliação que varia de pouco a bem marcada. Todos estes corpos rochosos estão dispostos sob a forma de maciços. Os materiais estudados foram denominados de Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró, respectivamente para os granulitos das regiões de Itapipoca, Granja e Chorozinho. Foram pesquisados quanto aos aspectos tecnológicos e alteração/alterabilidade quando em uso. O objetivo principal deste trabalho foi estudar as alterabilidades das rochas selecionadas e observar os seus comportamentos uma vez expostas à ação dos agentes de alteração em laboratório, em condições correlacionáveis às do ambiente em que poderão ser aplicadas. A resposta aos ensaios tecnológicos mostra que eles apresentam boa qualidade para uso ornamental e de revestimento. Os estudos de alterabilidade realizados em rochas granulíticas demonstraram que, mesmo rochas aparentemente pouco susceptíveis a alteração, podem apresentar problemas de degradação quando submetidas a ambientes poluídos quimicamente agressivos. Sobre estes aspectos, observou-se que as características petrográficas e os índices físicos (porosidade e absorção) são ferramentas muito importantes para a avaliação da durabilidade das rochas como materiais de revestimento. No contexto geral estas rochas mostraram-se bastante resistentes para uso como materiais de revestimentos.

Palavras-Chave: Alterabilidade, Caracterização Tecnológica, Gnaisse, Rochas Ornamentais.

ABSTRACT

The materials employed in this research correspond to granulitic rocks, more specifically enderbitic gneisses. Those rocks exhibit of green to dark gray color, fine to medium texture and gentle to well-marked foliation. All of them constitute massif bodies. The denominations Green Netuno, Green Santa Cruz and Green Choró were given to the granulites of Itapipoca, Granja and Chorozinho, respectively. The research was carried out taking in account the technological aspects and weathering/weatherability when in use. The essential aim of this work is to study the alterability of selected rocks and to observe their behavior once exposed to alteration agents in a laboratory environment comparable to actual environments where these rocks are used. The results of the technological tests showed that these rocks present good quality for both ornamental and of coating use. The alterability studies conducted in granulitic rocks demonstrated that, even rocks with an apparent low susceptibility to alteration, may in fact problems when submitted to chemically aggressive polluted environments. On these aspects, it was possible to notice that both the petrographic characteristics and the physical parameters (porosity and absorption) are very important tools for the evaluation of the durability of the rocks as coating materials. Therefore, in a general context the rocks studied are quite resistant regarding both to the alteration capacity and to the technological characteristics.

KEYWORDS: Weathering, Characterization Technological, Gneiss, Dimension Stones

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO GERAL DO ESTUDO

O documento ora apresentado visa a preencher um dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Geociências, área de concentração em Geologia Regional, junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

O desenvolvimento deste trabalho contou com o subsídio da Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) através do projeto nº 411/02 (Granulitos da Região de Chorozinho (Nordeste do Ceará): Aprimoramento e Desenvolvimento de Caracterização Tecnológica para Rochas Ornamentais). Esse projeto teve como objetivos a caracterização tecnológica de materiais rochosos granulíticos e a obtenção de dados importantes tanto para a região de Chorozinho como para o desenvolvimento do Estado do Ceará, uma vez que nele se buscou não só o conhecimento geológico da área, como também a aplicabilidade dos litotipos granulíticos para um futuro aproveitamento como rochas ornamentais.

Os materiais utilizados nesta pesquisa são três (3) litotipos de rochas metamórficas de alto grau (granulitos), classificadas no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1974) como rochas enderbíticas. Sua cor varia de verde a cinza escuro e apresentam granulação de fina a média, com estruturação marcada por minerais planares.

Essas rochas ainda não são exploradas comercialmente e se apresentam na forma de matacões e maciços. Recebem as denominações Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró e são provenientes, respectivamente, das regiões de Itapipoca, Granja e Chorozinho. Os enderbitos foram selecionados dentre os litotipos metamórficos encontrados nas respectivas regiões por apresentarem características estéticas (cor) e quantitativas (volume) aceitas para utilização no setor de rochas ornamentais. Embora os parâmetros tecnológicos dos tipos rochosos possam diferir, os limites aceitáveis e adequados a cada uso são comuns. Assim, um melhor desempenho na quantificação dos parâmetros tecnológicos se torna cada vez mais significativo.

1.2. O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O mercado de rochas ornamentais e de revestimento compreende os mármores e granitos, que perfazem cerca de 90% da produção mundial, e outras rochas de revestimento, segundo as suas respectivas conceituações comerciais:

- **Mármores**: rochas calcárias ou dolomíticas, sedimentares ou metamórficas, que possam receber desdobramento seguido de beneficiamento (polimento, apicoamento, etc.);

- **Granitos**: grande variedade de rochas silicáticas de origem tanto ígnea quanto metamórfica, rocha não calcária ou dolomítica, que apresenta boas condições de desdobramento, seguida de beneficiamento (polimento, apicoamento ou flameamento);

- **Rochas para Revestimento**: (definição da NBR 15012/03) rochas naturais que, submetidas a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, são utilizadas no acabamento de superfícies, especialmente em pisos e fachadas, em obras de construção civil. Essa definição pode ser considerada similar à que a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2001) propõe para *dimension stone*: pedra natural que foi selecionada, regularizada ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabadas. Ou seja, é toda rocha natural mais ou menos tratada/beneficiada (bruta, aparelhada, flamejada ou polida), utilizada no acabamento de superfície de obras civis.

- **Rochas Ornamentais**: (definição da NBR 15012/03) material rochoso natural, submetido a diferentes graus e/ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, picotada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética.

1.2.1 SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ - HISTÓRICO

A partir do "Relatório Técnico" do Projeto de Avaliação Econômica do Granito do Estado do Ceará, concluído no ano de 1989 (MELO e CASTRO, 1989). Ocorreram as primeiras referências sobre rochas ornamentais no Estado do Ceará, creditadas ao projeto "Pedras Ornamentais nas Regiões Norte-Nordeste, Leste e Oeste do Estado do Ceará", executado pela CEMINAS, em 1982.

No final da década de 80 e início da década de 90, o Governo do Estado do Ceará, em parceria com a Federação das Indústrias do Ceará (FIEC), a Superintendência de

Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e o Banco do Nordeste S/A (BNB), foi o principal impulsionador do desenvolvimento das indústrias cearenses de granito.

No dia 19 de abril de 1993, o então governador do estado, Ciro Ferreira Gomes, instituiu o Pólo Industrial de Mármores e Granitos do Ceará, que ficou conhecido como Pólo Graniteiro.

O projeto tinha como principais metas:

1. Descoberta de novos depósitos de rochas ornamentais;
2. Pesquisa Mineral geológica de detalhe;
3. Aceleração do processo de industrialização do Ceará;
4. Aumento da pauta de exportação do Estado;
5. Geração de novos postos de trabalho;
6. Maior desenvolvimento do Estado.

Na ocasião, foi assinado o protocolo de intenção, que instituiu o Fundo de desenvolvimento Industrial do Ceará (FIC), e criou oficialmente um novo Sindicato para esse setor – Sindicato das Indústrias de Mármores e Granitos do Estado do Ceará (SIMAGRAN).

Em 1994, o setor graniteiro cearense já era destaque no cenário nacional, gerando um estudo detalhado com o objetivo de analisar o potencial do setor de rochas Ornamentais do Estado do Ceará. O propósito principal era colocar no mercado, interno e externo, o produto já beneficiado, com um valor agregado, em vez de continuar exportando o granito bruto para ser beneficiado fora do Estado.

O Ceará produziu, em 2002, 250 mil toneladas de pedras ornamentais e de revestimento, respondendo por 4,2% da produção brasileira e 28% da produção do Nordeste (VIDAL, 2002).

No primeiro semestre de 2004, as exportações cearenses de rochas ornamentais ultrapassaram as da Bahia, tanto em faturamento quanto em volume físico. O Ceará tornou-se assim o 5º maior estado exportador brasileiro de rochas ornamentais, atrás apenas do Espírito Santo, de Minas Gerais, do Rio de Janeiro e de São Paulo. É o maior estado exportador fora da região sudeste.

O Ceará continua crescendo e agora o setor graniteiro está apostando no Limestone para agregar valor ao calcário cearense, alimentar com novidades o mercado interno e dinamizar as exportações.

A indústria cearense de rochas ornamentais está basicamente voltada para a exportação de produtos acabados e se destaca no âmbito nacional em relação aos demais estados produtores, no que tange a esse aspecto.

1.3. OBJETIVOS

Os objetos de estudo desta pesquisa são os granulitos enderbíticos das regiões de Itapipoca, Granja e Chorozinho, municípios estes, situados na porção norte do Estado do Ceará, com o intuito de sua utilização como rochas ornamentais e para revestimento.

A pesquisa teve como principal objetivo estudar algumas das possíveis alterabilidades a que estarão sujeitos os gnaisses enderbíticos (quando utilizados como rocha ornamental e para revestimento), suas causas e possíveis conseqüências.

Além desse objetivo específico, incluem-se na pesquisa: a correlação das características petrográfica e tecnológicas dos gnaisses enderbíticos (envolvendo a determinação das características físicas e físico-mecânicas através dos índices físicos); a determinação da resistência à compressão uniaxial simples, ao módulo de ruptura, ao desgaste por abrasão (Amsler), à dilatação térmica linear, à velocidade de ondas ultra-sônicas, e ao comportamento dos gnaisses enderbíticos enderbitos nos ensaios de alterabilidade (resistência ao ataque químico, exposição à névoa salina e ao dióxido de enxofre, lixiviação contínua através do extrator soxhlet).

Também é proposta deste estudo desenvolver comparação dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica com os parâmetros e as especificações sugeridas por Frazão e Farjallat (1995) e com os da ASTM (C615), geralmente exigidos na qualificação dos materiais quando de sua aplicação no setor de rochas ornamentais e de revestimento para comercialização nos mercados interno e externo.

1.4. LOCALIZAÇÃO E ACESSO ÀS ÁREAS DE ESTUDO

As ocorrências granulíticas em questão estão distribuídas no Estado do Ceará, da seguinte forma: na porção noroeste das cidades de Itapipoca e Granja, e a nordeste e sudoeste da cidade de Chorozinho (figura 1.1).

O acesso às áreas estudadas, partindo-se de Fortaleza, pode segue os seguintes trajetos:

a. **Itapipoca -** pela BR-222, passando-se por Caucaia, Croatá, São Luis do Curú até Umirim, de onde se segue para norte pela CE-016, por aproximadamente 30Km, até a

sede do município (125 km de Fortaleza). Daí, segue-se, por estrada de terra batida, por aproximadamente 15Km a noroeste de Itapipoca (figura 1.2);

b. **Granja -** pela BR-222 até Sobral, a partir de onde de segue pela CE-071, passando por Martinópoles até a sede do município de Granja (322 km), de onde a área em estudo dista aproximadamente 6 km a noroeste. (figura 1.3);

c. **Chorozinho -** via BR-116, passando por Itaitinga, Horizonte e Pacajús, percorrendo aproximadamente 64 km. Dessa posição, segue-se por estrada de terra batida por mais ou menos 6 km a sudeste de Chorozinho (figura 1.4).

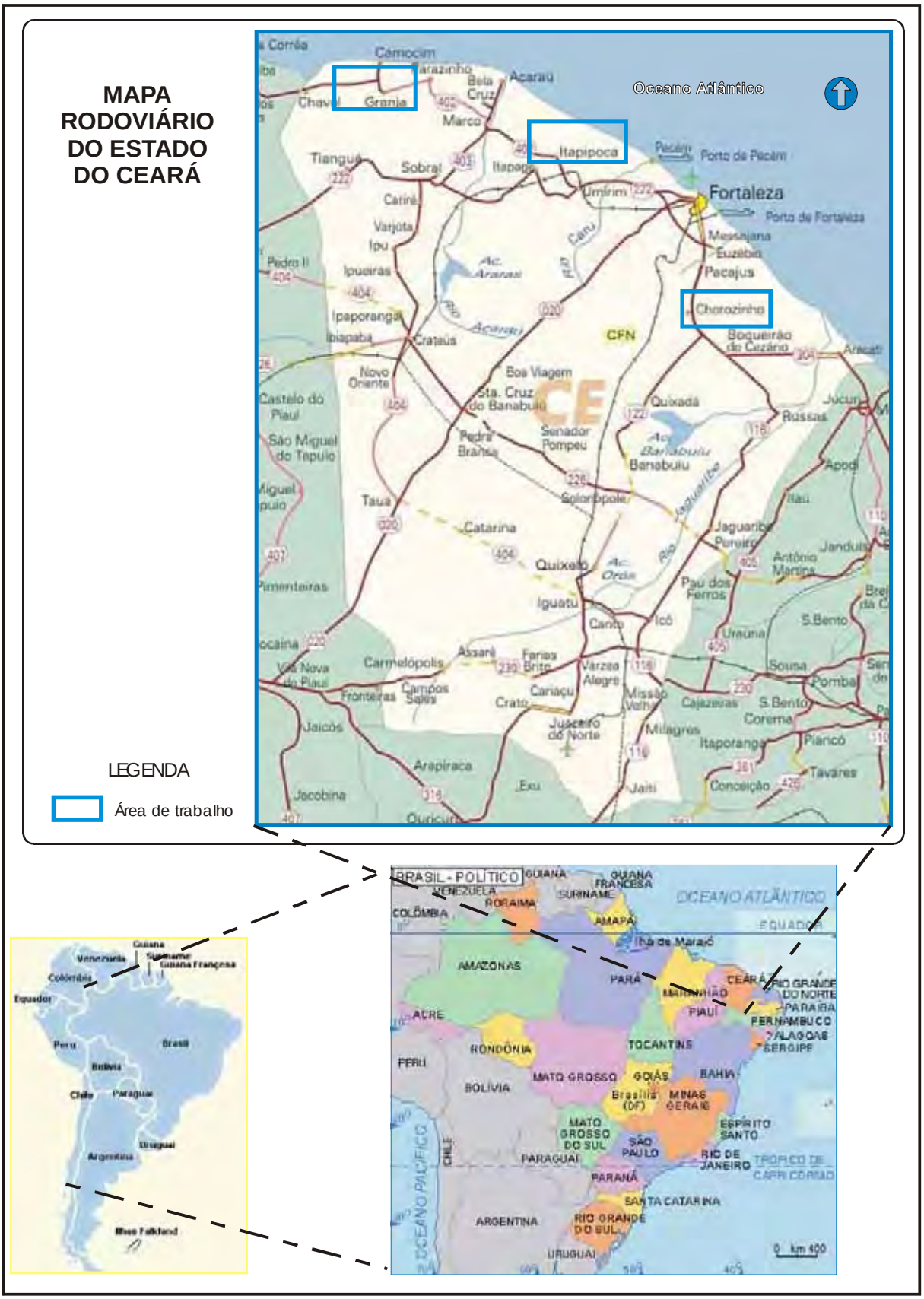


Figura 1.1: Localização e acesso às áreas de pesquisa

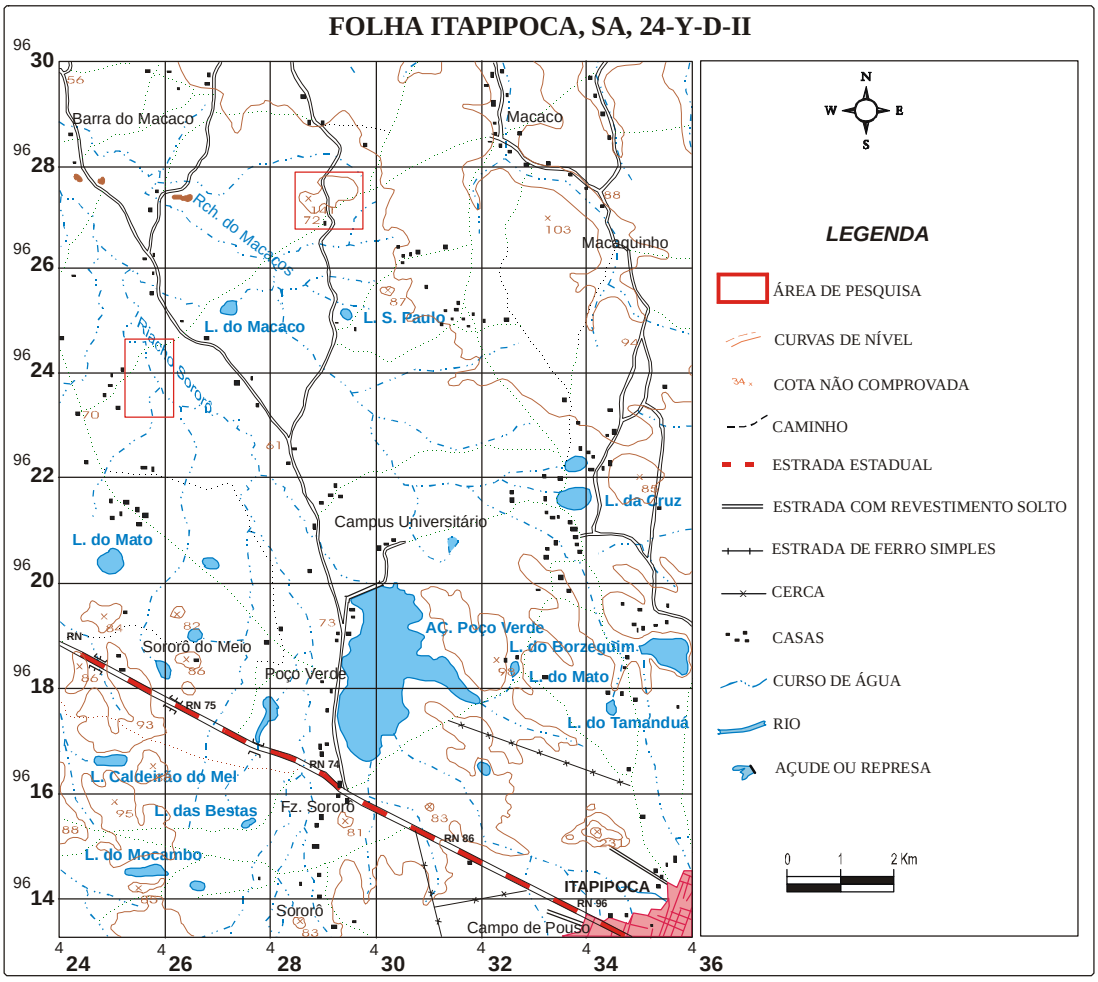


Figura 1.2: Localização das áreas de pesquisa na região de Itapipoca

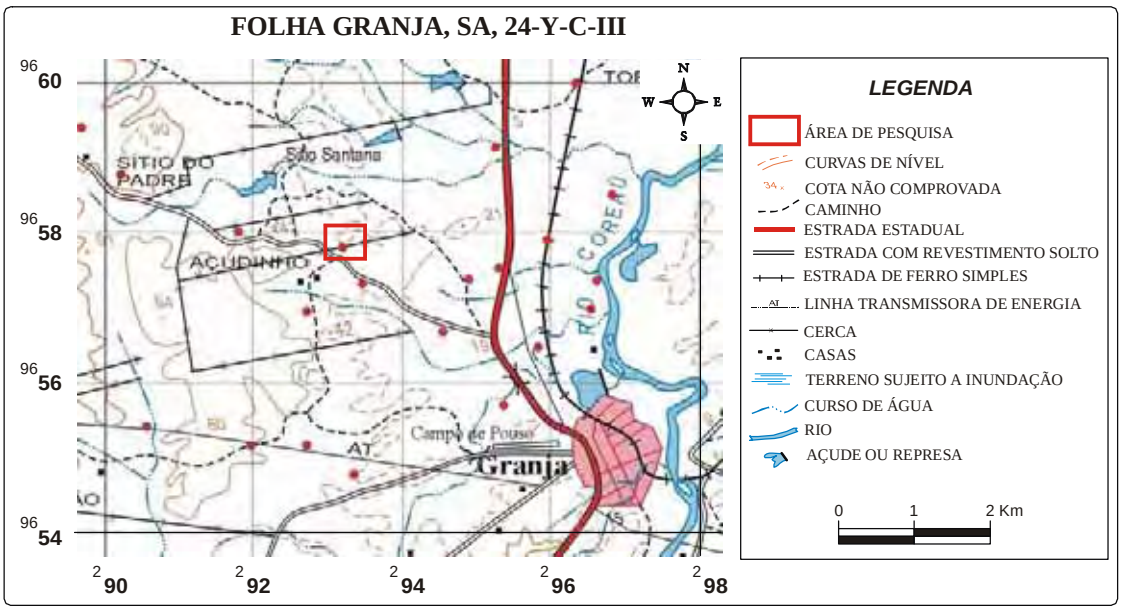


Figura 1.3: Localização da área de pesquisa na região de Granja

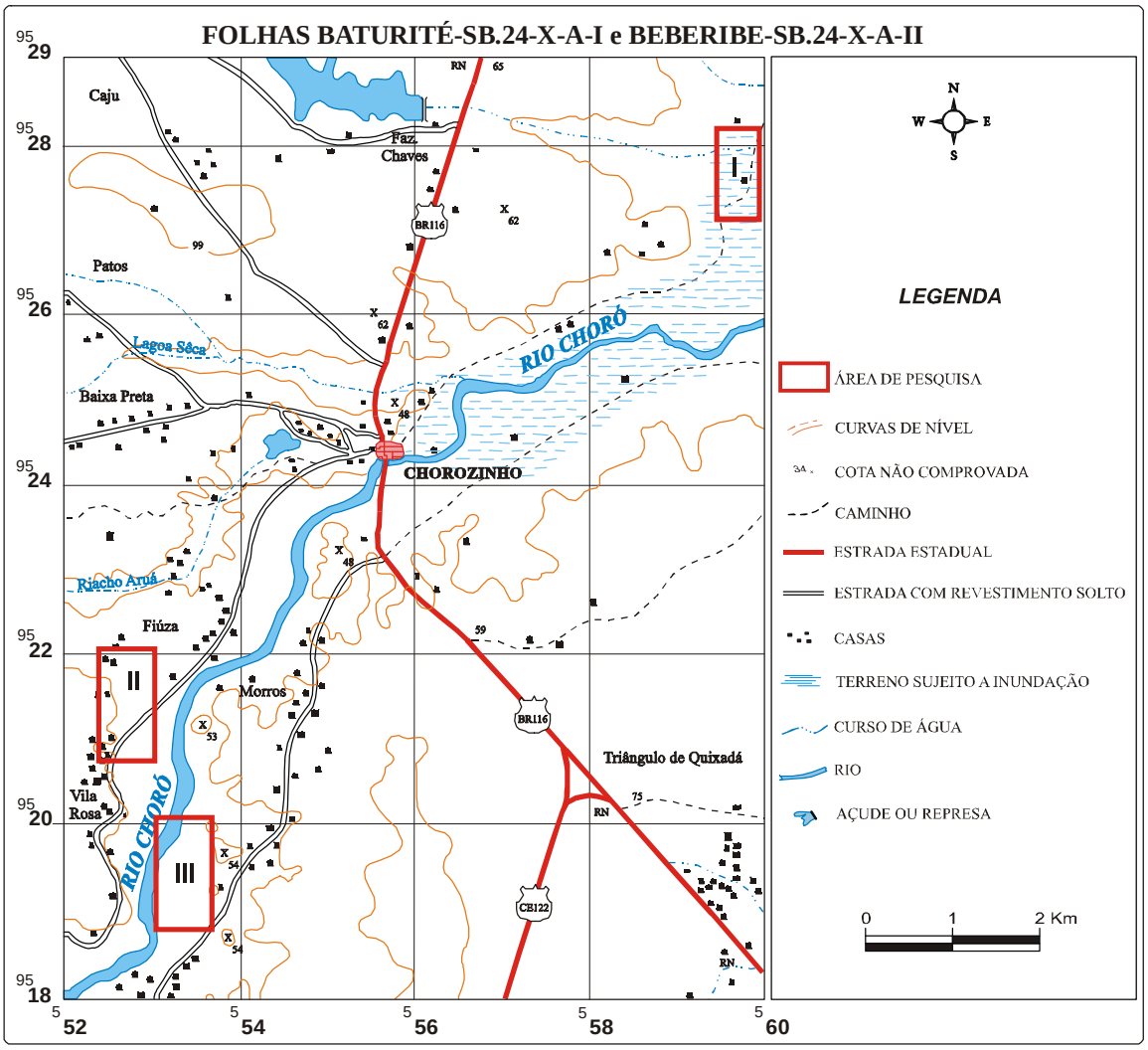


Figura 1.4: Localização das áreas de pesquisa na região de Chorozinho

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

De acordo com os objetivos propostos, foram adotadas para o desenvolvimento da pesquisa, atividades envolvendo campo, laboratório e gabinete. Esses procedimentos visaram à caracterização geológica, petrográfica, tecnológica e de alterabilidade das variedades gnáissicas enderbíticas das regiões de Itapipoca, Granja e Chorozinho. Esses litotipos foram aqui denominados, respectivamente, de Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró. Vale lembrar que esses materiais ainda não estão sendo explorados comercialmente.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico foi dirigido para:

- ✓ Revisão dos aspectos geológicos regionais e locais de interesse para o estudo (baseado nos trabalhos pertinentes à caracterização de materiais pétreos);
- ✓ Os métodos aplicados na caracterização tecnológica e alterabilidade de rochas ornamentais e para revestimento, das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM);

Também foram compilados dados das análises químicas de Moraes (2000), Nogueira Neto (1996 e 2000) e Costa (2003) e das propriedades tecnológicas dos gnaisses enderbíticos da região de Chorozinho, obtidos por Costa (2000 e 2003).

TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS

Foram realizadas duas fases de campo direcionadas para a definição das litologias e para a coleta de amostras daqueles afloramentos com características propícias à implantação de atividades minerarias.

Na primeira, fase foram realizados levantamentos geológicos das áreas em escala de 1:50.000, com vistas à definição das principais unidades litoestratigraficas, e suas relações

com as rochas granulíticas, bem como o estabelecimento dos elementos e feições estruturais presentes.

A coleta de amostras dos gnaisses enderbíticos foi efetivada na segunda fase. Foi extraído dos afloramentos de interesse, um total de 12 blocos com dimensões de 40 cm x 30 cm x 20 cm para a caracterização petrográfica e preparação dos corpos-de-prova destinados aos ensaios físicos, físico-mecânicos e de alterabilidade. Os corpos-de-prova foram confeccionados levando-se em conta os planos de foliação da rocha, cortados de forma que permitissem a realização dos ensaios tecnológicos em duas orientações diferentes, perpendiculares entre si, ou seja, corpos-de-prova com faces normal e paralela à foliação principal da rocha. Os planos de foliação das rochas foram definidos por uma orientação planar, principalmente dos minerais placóides, de discreta a moderada (figura 2.1).

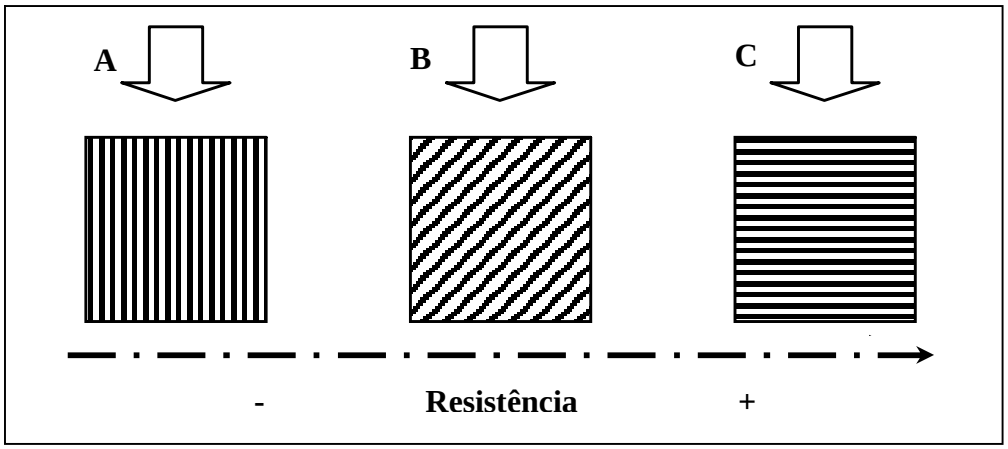


Figura 2.1: Esquema ilustrativo da influência da estrutura da rocha e sua resistência. A (paralelo) e C (perpendicular) são as direções ensaiadas nos Verdes Santa Cruz e Choró; B (oblíqua) a direção ensaiada no Verde Netuno

TRABALHOS LABORATORIAIS

A etapa de laboratório constou de várias atividades distintas, tais como: análise petrográfica, ensaios físicos e físico-mêcanicos, análise da alterabilidade (ataque químico com soluções acidificadas, ensaio com extrator de Soxhlet, ensaio com câmara salina, ensaio com câmara de SO_2), colorimetria, análise química das rochas por fluorescência de raios X (elementos maiores), difração de raios X (elementos maiores), difração de raios-X e química mineral por microssonda eletrônica.

A caracterização tecnológica foi composta por diversos ensaios que obedeceram às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para rochas ornamentais. Esses ensaios foram realizados nos laboratórios do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociência e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista/Rio Claro, no Laboratório de Mineralogia e Petrologia do Instituto Superior Técnico (LAMPIST) Lisboa/Portugal e Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Ciências da Terra da Universidade Nova de Lisboa.

1.1.ANÁLISE PETROGRÁFICA

Realizado conforme a norma NBR 12768 (ABNT, 1992a), esse procedimento envolveu o estudo dos constituintes minerais das rochas no microscópio petrográfico, considerando o grau e a quantidade de alterações e o estado microfissural dos mesmos, possibilitando uma avaliação do comportamento de suas propriedades físico e/ou mecânicas, nos produtos trabalhados para fins ornamentais.

Foram confeccionadas no total vinte e uma (21) lâminas, sendo sete (7) para cada tipo litológico. Destas últimas, pelo menos duas (2) seções foram confeccionadas paralelas e perpendiculares às orientações principais das rochas.

Na caracterização petrográfica, foram adotados padrões microestruturais e texturais sugeridos por Navarro (1998), e modificados por Costa (2000), conforme discriminado a seguir.

- ✓ **Tamanho dos cristais**

As dimensões médias dos cristais foram estabelecidas atribuindo-se as classes abaixo:

Fina: <1 mm;

Média-fina: entre 1 e 3 mm;

Média: entre 3 e 7 mm;

Média-grossa: entre 7 e 10 mm;

Grossa: >10 mm.

✓ **Dimensão relativa dos cristais**

As rochas foram classificadas em:

Equigranulares, quando os grãos minerais das rochas possuem o mesmo tamanho, ou quando as dimensões dos grãos variam dentro de uma estreita faixa;

Inequigranulares, quando apresentam grãos minerais que diferem de tamanho numa relação de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;

Porfiríticas, quando exibem megacristais de dimensões pelo menos cinco vezes superiores à média dos grãos da matriz, sobressaindo-se nitidamente em relação às dimensões destes.

✓ **Relações de contatos**

Os tipos de contatos entre grãos são mais comumente descritos na literatura como: planos, arredondados, lobulares, denteados, côncavo-convexos e serrilhados. Neste trabalho optou-se por uma combinação desses vários tipos de contatos (figura 2.2).

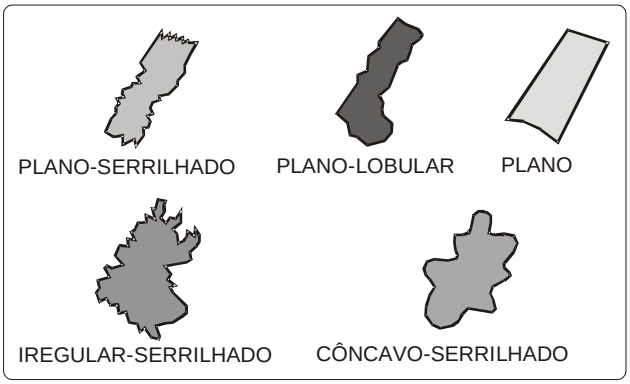


Figura 2.2: Tipos de contatos considerados (Modificado de MESQUITA, 2002)

A quantificação dos tipos de contatos nas lâminas delgadas analisadas foi efetuada de forma subjetiva, com a contagem dos tipos de contato em 10 diferentes campos (área de 21,22 mm² = aumento da objetiva de 4X). Após o reconhecimento da média dos tipos mais comuns, estabeleceram-se as quantidades em termos percentuais.

- ✓ **Grau de alteração mineral**

Considerando-se as transformações dos feldspatos, dadas principalmente pela saussuritização do plagioclásio, pela cloritização de biotitas e pela uralitização dos piroxênios, o grau de alteração foi classificado em:

Classes 1 (fraco): quando a superfície alterada do cristal for < 20%;

Classes 2 (médio): quando a superfície alterada do cristal estiver entre 21–50%;

Classes 3 (forte): quando a superfície alterada do cristal estiver entre 51-80%;

Classes 4 (muito forte): quando a superfície alterada do cristal for > 80%.

Como essas observações foram realizadas de forma subjetiva, foram também analisados 10 distintos campos (área de 21,22 mm² = aumento da objetiva de 4X). Em seguida obteve-se a média do grau de alteração representativo em cada lâmina.

- ✓ **Densidade de microfissuras**

A partir da média de microfissuras determinada em dez (10) campos (área de 3,799 mm² = aumento da objetiva de 10X) dividida pela área total de observação em lâmina, obteve-se uma densidade dessas descontinuidades por área de observação (índice de microfissuramento). As microfissuras ainda foram classificadas em inter e intragrãos.

Os gnaisses enderbíticos possuem minerais como quartzo, piroxênios (orto e clino), anfibólio, feldspato, granada e biotita. Dentro desse contexto, tais minerais apresentam resistências distintas. Por isso, foram também estabelecidas as proporções relativas da presença de cada um dos diferentes minerais no campo de observação (contagem de pontos), e essas proporções foram relacionadas com o percentual relativo de microfissuras. Cabe ressaltar que essas observações podem variar de observador para observador e dentre as amostras. Adicionalmente foram contadas todas as microfissuras encontradas, independentemente do seu tamanho (em objetiva com aumento de 10X, pela facilidade de identificação das microfissuras em relação aos planos de clivagem e/ou outros elementos planares naturais dos minerais).

- ✓ **Quantificação mineralógica**

Foi realizada através da contagem dos minerais em lâminas, em pelo menos 500 pontos. Na análise, foram quantificados os feldspatos, o quartzo, o piroxênio, o anfibólio, a

biotita, a granada e os minerais acessórios. A classificação petrográfica das rochas estudadas seguiu as recomendações da IUGS (STRECKEISEN, 1974).

2.3.2. ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

- ✓ **Índices Físicos**

De acordo com a norma NBR 12766 (ABNT, 1992b), são designadas índices físicos as propriedades de massa específica aparente (seca e saturada), a porosidade aparente e a absorção de água. As determinações de tais propriedades refletem várias características das rochas. Os valores de porosidade, que representam o volume de espaços "vazios" de uma rocha, e a absorção de água, que corresponde à capacidade da rocha para absorver e reter a água nos seus poros e descontinuidades, são bem correlacionáveis com a resistência mecânica da rocha.

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção de água. Rochas com alta absorção de água apresentam aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, dentre outras, enquanto a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares.

Seguindo o procedimento determinado na norma supra citada, foram confeccionados 10 cubos com dimensões de 5 cm x 5 cm x 5 cm, pesando entre 220 e 410g, para cada litotipo. Os corpos-de-prova foram lavados e colocados em estufa com temperatura de 110 ± 5°C, durante 24 horas.

Após esse tempo, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e resfriados por no mínimo, 30 minutos e pesados individualmente. Os respectivos valores resultantes são designados por peso seco (massa A).

Em seguida, foi efetuada a imersão e saturação dos corpos-de-prova em água destilada por mais 24 horas, em temperatura ambiente. Após o período de 24 horas, os corpos-de-prova foram retirados da água, enxutos em suas superfícies, e pesados ao ar, determinando-se, assim, o peso saturado (massa B). Em seguida, efetua-se uma nova pesagem de cada corpo-de-prova. Desta vez, são imergindos em recipiente com água destilada, suspensos e presos sobre a balança, em fio de *naylon*, para se garantir efeito de empuxe. Tal procedimento resulta no peso submerso (massa C).

Os cálculos para cada corpo-de-prova seguiram as fórmulas abaixo e, ao final, foram calculadas as médias aritméticas para os 10 valores obtidos no ensaio.

Massa específica aparente secą $\rho_{seca)}$ = A / (B – C) (Kg/m³);

Massa específica aparente saturada $\rho_{sat.)}$ = B / (B – C) (Kg/m³);

Porosidade = ((B – A) / (B – C)) X 100 (%);

Absorção de água = (B – A) / A X 100 (%).

- ✓ **Compressão Uniaxial Simples**

Este ensaio tem como objetivo a determinação da tensão de ruptura de um material. A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material.

Foram utilizados 34 cubos com dimensões de aproximadamente 7 cm x 7 cm x 7 cm, sendo doze (12) do Verde Santa Cruz, doze (12) do Verde Choró e dez (10) do Verde Netuno. O ensaio foi realizado segundo direções paralelas e perpendiculares a principal foliação da rocha, com exceção do Verde Netuno, que exibe duas foliações oblíquas entre si. Esses ensaios foram também realizados nas condições seca e saturada e o procedimento seguiu a norma NBR-12767 (ABNT, 1992c), obtendo-se a tensão de ruptura a partir da fórmula:

$$\sigma_c = P/A$$

σ_c = Tensão de Ruptura (MPa);

P = Força de ruptura (KN);

A = Área de carga do corpo-de-prova (m²).

<u>Classificação das rochas segundo a resistência à compressão uniaxial</u>

A *Sugested Methods for the Quantitative Description of Discontinuites in Rock Masses* - ISRM (1977e), classifica as rochas segundo a resistência à compressão uniaxial desde extremamente brandas a extremamente resistentes (Quadro 2.1).

Classificação	σ_c (MPa)
Extremamente branda (solo)	< 1
Muito branda	1 – 5
Branda	5 – 25
Resistência média	25 – 50
Resistente	50 –100
Muito resistente	100 – 250
Extremamente resistente	> 250

Quadro 2.1: Classificação sugerida pela ISRM (1977e) para rochas quanto à resistência à compressão uniaxial

Coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R)

Com base nos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, nas condições seca e saturada, Kowalski (1970) estabeleceu o percentual de influência que a água promove na resistência da rocha quando submetida a esforços. De acordo com a expressão que definiu, quanto maior o valor do coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R) menor a influência da água na resistência da rocha quando submetida a esforços. O coeficiente "R" constitui, portanto, mais um avanço no processo de classificação, e é definido por:

$$R = \frac{\sigma_{sat}}{\sigma_{seco}} \times 100\ (\%)$$

Onde σ_{sat} e σ_{seco} representam, respectivamente, a resistência à compressão simples da rocha saturada e seca.

- ✓ **Resistência à Flexão (método dos três 3 pontos)**

Um dos objetivos deste ensaio é orientar o cálculo da espessura das placas, em função da área das placas de rochas, que sofrem esforços fletores, durante o transporte ou após sua colocação em fachadas/revestimento.

Os resultados obtidos no ensaio são influenciados principalmente pela composição mineralógica, pela textura, pela estrutura, pela presença ou ausência de microfissuras, pela anisotropia, pelo estado de alteração e pela porosidade da rocha. Esses fatores podem, ou não, ocasionar problemas na fixação das placas.

O ensaio consiste no rompimento dos corpos-de-prova assentados sobre dois cutelos inferiores (de reação) e um superior (de ação) (figura 2.3). Este ensaio dá indicação da tensão mínima ou da flexão máxima que provoca a ruptura de um bloco ou placa de rocha quando submetidos a esforços de compressão e/ou tração.



Figura 2.3: Esquema do sistema utilizado no ensaio de resistência à flexão

Foram utilizados 34 corpos-de-prova de forma prismática com dimensões de aproximadamente 20 cm x 10 cm x 5 cm, sendo doze (12) prismas do Verde Santa Cruz, doze (12) do Verde Choró e dez (10) prismas do Verde Netuno. Inicialmente os corpos-de-prova foram lavados e colocados em estufa por 24 horas. O ensaio foi também realizado segundo direções paralelas e perpendiculares à foliação principal da rocha (à exceção do Verde Netuno, que apresenta duas foliações oblíquas), e executado, também, nas condições seca e saturada.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR-12763 (ABNT, 1992d), obtendo-se a tensão de ruptura a partir da fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3PL}{2bd^2}$$

σ_1 = tensão de ruptura (MPa);

P = força de ruptura (KN);

L = distância entre os cutelos de reação (m);

b = largura do corpo-de-prova (m);

d = altura do corpo-de-prova (m).

- ✓ **Desgaste por Abrasão Amsler**

Este ensaio segue a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e), e mede a resistência do material à solicitação abrasiva por meio da verificação na redução de espessura (em mm) que duas placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 1000 metros, medidas em equipamento apropriado denominado "Máquina Amsler".

O resultado obtido do desgaste é um reflexo da mineralogia, do grau de irregularidade da superfície, do estado de agregação dos minerais e da orientação da rocha.

Foram utilizados doze (12) corpos-de-prova, sendo quatro (4) de cada litotipo, com dimensões de aproximadamente 7 cm x 7 cm x 3 cm. O ensaio foi efetuado nas condições seca e saturada.

Inicialmente foram selecionadas as superfícies que não seriam desgastadas e as arestas enumeradas de um a quatro (1, 2, 3 e 4).

Com auxilio de um micrômetro (relógio comparador), foram efetuadas as medidas iniciais nas quatro faces laterais dos corpos-de-prova. Os valores foram devidamente anotados em planilha.

O ensaio realizado na Máquina Amsler é feito com dois corpos fixados nas sapatas de acoplamento que os mantêm em contato e girando em torno do seu próprio eixo, sobre um anel de ferro fundido com perímetro de 2 metros (superfície de abrasão), tendo areia média como abrasivo, com vazão de 76 ± 2 cm³/min, a uma velocidade de rotação de $0,6 \pm 0,02$ rpm. Os corpos-de-prova foram então submetidos a um desgaste equivalente a 500 metros, ou 250 voltas. Retirados os corpos-de-prova da máquina, estes são limpos, trocados de lugar e novas medidas são efetuados por mais 500 metros.

Os cálculos da redução de espessura (em mm) para cada amostra são efetuados de acordo com as fórmulas a seguir:

$$\mathbf{d = a - b;}$$

$$\mathbf{e = a - c;}$$

sendo:

a = Altura inicial média das 4 faces (mm);

b = Altura média das 4 faces (mm) após 500 metros;

c = Altura média das 4 faces (mm) após 1000 metros;

d = Desgaste médio após 500 metros (mm);

e = Desgaste médio após 1000 metros ou Desgaste Amsler (mm).

- ✓ **Dilatação Térmica Linear**

Este ensaio tem como objetivo determinar o coeficiente de dilatação térmica linear da rocha. Este parâmetro indica como as dimensões do material variam em função da temperatura, ou seja, dilatam e/ou contraem com a variação da temperatura. É recomendado sempre que os materiais pétreos forem expostos a ambientes com grandes variações de temperatura auxiliam no dimensionamento de juntas estruturais. Segue a norma NBR 12765 (ABNT, 1992).

Na realização do ensaio, foram utilizados nove (9) corpos-de-prova, sendo três (3) para cada litotipo, ensaiados em três direções X, Y e Z que representam, respectivamente as direções maior, intermediárias e menor de estiramento mineral, com exceção para o Verde Netuno, para o qual não foi possível determinar estas direções.

Os corpos-de-prova com formato cilíndrico, com diâmetro de 27 mm e comprimento de 90 ± 2 mm, foram imersos em banho-maria e resfriados até 0°C e, após estabilização nessa temperatura, aquecidos até 50ºC a uma taxa de 0,3°C/min. Após estabilização da temperatura foram resfriados até 0ºC, à mesma taxa.

Inicialmente, os corpos-de-prova são medidos (comprimento "L")e, em seguida, aquecidos (dilatação) em banho ultratermostático (água) de 0° a 50°C. Anotam-se a dilatação e a temperatura inicial. Após o aquecimento final (± 3 horas), há um período de estabilidade, que corresponde, no caso, a 20 minutos. São anotados, então, os valores de temperatura e dilatação final. O mesmo procedimento ocorre para o período de resfriamento (contração). Ao fim do ensaio, são obtidos ΔL e ΔT, que serão utilizados no cálculo do coeficiente de dilatação (β), pelo uso das fórmulas:

$$\beta_1 = \Delta L_1 / L_0 \Delta T_1 \qquad \text{e} \qquad \beta_2 = \Delta L_2 / L_0 \Delta T_2$$

onde:

β_i - coeficiente de dilatação térmica linear no aquecimento (x 10^{-3} mm/mºC)

β - coeficiente de dilatação térmica linear no resfriamento (x10^{-3} mm/mºC)

ΔL – incremento de comprimento do corpo-de-prova (m);

$\mathbf{L_0}$ – comprimento do corpo-de-prova (m);

ΔT – incremento de temperatura (°C).

Em seguida, calcula-se a média aritmética dos valores de β (no aquecimento) e de β0 (no resfriamento) dos três corpos-de-prova, para se obter o valor final do coeficiente de dilatação térmica linear.

Na determinação do coeficiente de dilatação térmica linear (β) o pulso ultra-sônico foi determinado antes do ensaio e após o mesmo, nas condições seca e saturada, para se verificar a possível formação de microfissuras ou a expansão de outras preexistentes, dois fatores gerados pela taxa de aquecimento adotada (0,3°C/min).

- ✓ **Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-Sônicas**

O ensaio, regulamentado pela norma americana D2845 (ASTM, 1990), determina a medida de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (Vp) com variadas aplicações, dentre as quais, inferência de algumas propriedades como o grau de fissuramento, de alteração, de porosidade e coesão das rochas. A determinação destes elementos em materiais rochosos é um meio de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica, com a vantagem de não ser destrutivo.

O aparelho utilizado para a determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais é o Portable Utrassonic Non Destrutive Indicator Tester – (PUNDIT). Esse aparelho está equipado com dois transdutores de 54 KHz, com duas possibilidades de medidas, de 0,1 a 999,9 μs, com possibilidade de variação de 0,1μs e de 1 a 9999,9 μs em unidades de 1 μs, provido de alimentação através de corrente elétrica ou bateria interna. Os disparos são automáticos e se dá por meio de oscilador de cristal de 10 MHz, cuja precisão é da ordem de ± 0,1μs.

O primeiro passo consiste em lavar os corpos-de-prova e colocá-los em estufa por 24 h. Após esse tempo, deixa-se esfriar em temperatura ambiente e efetuam-se as medidas das arestas. Em seguida, definem-se os lados em que serão feitas as medidas do tempo que a onda percorrerá (t).

Para isso, um emissor (E) é posicionado em um dos lados do corpo-de-prova e o receptor (R) na face oposta e paralela. Os valores são lidos diretamente e correspondem ao tempo que a onda levou do emissor ao receptor. O cálculo da velocidade é realizado através da fórmula:

$$\mathbf{V = e/t}$$

em que:

V = velocidade no material (m/s);

e = espaço percorrido (m);

t = tempo (s).

As velocidades de propagação de onda ultra-sônica foram medidas nos corpos-de-prova antes de serem ensaiados, nos estados seco e saturado, paralela e perpendicular à foliação principal da rocha.

Índice de Anisotropia (IA)

O índice de anisotropia é uma informação adicional que indica a heterogeneidade do material. Quando um material é isótropo o valor de anisotropia é zero.

Aveline *et al.* (1964) utiliza os valores da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas para avaliar o grau de anisotropia da rocha pela seguinte relação:

$$IA_{(Vseco)} = [\ 1 - (Vseco_{(min)}/Vseco_{(max)})\ ]\ X\ 100$$

onde:

IA = índice de anisotropia (%);

$Vseco_{(min)}$ = velocidade mínima das ondas segundo uma direção (m/s);

$Vseco_{(max)}$ = velocidade máxima das ondas segundo uma direção perpendicular (m/s).

Neste caso foram utilizados os corpos-de-prova também em condições saturadas.

2.3.3. ANÁLISE DA ALTERABILIDADE

Define-se alteração de uma rocha como sendo sua desintegração e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que a transformam em outro produto natural, em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente. Alterabilidade é a aptidão do material rochoso para se alterar em função do tempo (AIRES BARROS, 1991).

Outros processos de alterações naturais de minerais são os derivados do metamorfismo, os quais ocorrem pelas mudanças de temperatura e pressão do ambiente natural das rochas, tal quais os envolvidos na formação dos gnaisses enderbíticos estudados.

A alterabilidade de um material é a sua taxa de alteração em determinado tempo. Os ensaios de alterabilidade se preocupam com o que pode acontecer, especialmente sob

influência antrópica direta ou indireta, após a aplicação dos materiais pétreos. É através de testes de alterabilidade que se tenta prever e/ou prevenirem a ocorrência de futuras patologias das rochas.

Geralmente, a facilidade de alteração está relacionada às condições de cristalização dos minerais. Aqueles que se cristalizaram a temperaturas mais elevadas, em geral, terão um intervalo de estabilidade menor e, portanto, serão mais facilmente alterados.

O grau de alterabilidade dos minerais é uma característica fundamental no estudo das rochas, principalmente para aproveitamento como rochas ornamentais.

- ✓ **Resistência ao Ataque Químico**

A realização deste ensaio tem como base a norma NBR 13818 ABNT, 1997 Anexo H, utilizada para placas cerâmicas, que, na ausência de uma norma específica para rochas, foi aqui adaptada. Essas adaptações se referem aos procedimentos utilizados para avaliação das alterações causadas pelos agentes químicos na superfície da rocha.

Consiste na aplicação de substâncias, em determinadas concentrações que simulam, em velocidade acelerada, alguns ambientes ou situações agressivos. Os resultados obtidos no ensaio de ataque químico são reflexos do arranjo mineral, da textura, do grau de alteração e da composição da rocha, entre outros fatores.

Foram utilizadas no ensaio, seis (6) placas polidas de cada litotipo, de 7 cm x 7 cm x 3 cm, tomando-se uma (1) como referência para comparação visual dos resultados e as outras cincos (5), numeradas de dois (2) a seis (6), para aplicação dos reagentes agressivos, em um determinado tempo.

A leitura do brilho, com o aparelho Glossmeter (aproximadamente seis leituras de forma aleatória), propiciou uma quantificação da qualidade do polimento. A perda de brilho na placa polida foi determinada em valores percentuais entre os valores de brilho antes e após o ensaio (quadro 2.2).

O ensaio se efetua da seguinte maneira: fixam-se, com massa de vedação, cilindros de PVC na placa a ser estudada, cuidando-se para que realmente os cilindros estejam bem fixados. Aplica-se um pouco de água e deixa-se por algumas horas, observando-se a ocorrência ou não de vazamento (figura 2.4).

Classe de Reagentes	Reagente	pH	Tempo de exposição (h)
Placa não atacada	1. – Sem reagente	-	-
Ácido de baixa concentração – ácido muriático.	2. Ácido Clorídrico - HCl (3%)	1,2	96
Álcalis de alta concentração – sabões em geral.	3. Hidróxido de Potássio - KOH (100g/l)	14	96
Produto para tratamento de água de piscina – água sanitária e produtos antimofo.	4. Hipoclorito de Sódio – NaClO (20mg/l)	8	24
Ácido de baixa concentração – suco de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes.	5. Ácido Cítrico - $C_6H_8O_7$ (100g/l)	1	24
Produtos químicos domésticos – detergentes e sabões.	6. Cloreto de Amônia - NH_4Cl (100g/l)	5	24

Quadro 2.2: Relação dos reagentes químicos, suas concentrações, valores de pH e tempo de exposição utilizado nos ensaios de ataque químico (NBR-13818 (ABNT, 1997 anexo H)

Em seguida aplicam-se as substâncias “agressivas” sobre as placas polidas, no interior dos cilindros, tampando-os para que se evite a evaporação, e aguarda-se o tempo estipulado para o ensaio. O tempo que cada agente ficará em contato com a placa varia de acordo com a substância e seu poder de ataque, conforme o quadro 2.2.

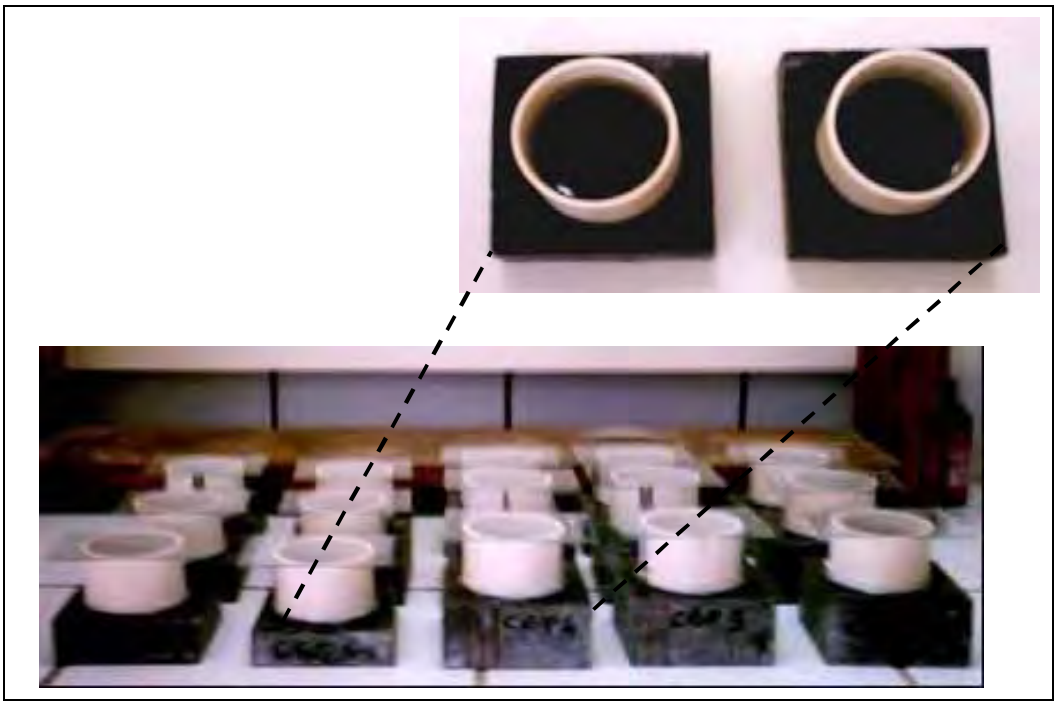


Figura 2.4: Aplicação dos agentes agressivos nas placas polidas dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Depois de decorrido os tempos previstos, retiram-se os reagentes, lavam-se as placas e fazem-se outras medidas de brilho e a comparação das placas submetidas ao ensaio com a placa número um (1), para verificar a perda de brilho, a cor e outras características superficiais com as anteriormente existentes. O resultado quantitativo corresponde à perda de brilho em porcentagem (%) e os resultados qualitativos são as observações a olho nu e sob lupa.

Para a comparação das observações à vista desarmada foi utilizado o efeito giz carvão (controle de efeito de carvão 10, giz 6 e risco 1), encontrado no programa Microsoft Photo Editor®, que realça as alterações, sejam em termos de mudanças de cor ou desplacamento dos minerais. É um procedimento experimental, aqui adotado, que serve para realçar modificações ocorridas nas placas após o ataque químico.

- ✓ **Alteração Acelerada por Exposição à Névoa Salina**

O ensaio de exposição à névoa salina simula ambientes marítimos, ricos em sais, potencialmente degradadores de materiais rochosos. A avaliação dos efeitos desta exposição é feita através da perda de massa e da verificação visual das modificações decorrentes (fissuras, manchamento, desagregação, etc.) por comparação com corpos-de-prova padrão que não tenham sido expostos.

O ensaio de intemperismo artificial por exposição à névoa salina baseou-se no procedimento adotado no Laboratório de Rochas Industriais e Ornamentais da Universidade Nova de Lisboa, adaptado da Norma de Ensaio 3.20 do LNEC, 1993.

Foram utilizados três amostras, uma de cada litotipo, com dimensões de 7 cm x 3 cm x 1,5 cm. As amostras foram serradas e levigadas, para se tornar a superfície sem polimento, no entanto, lisa. Em seguida foram lavadas em água corrente com uma escovinha de cerdas macias. As amostras foram colocadas em estufa a 70ºC ± 2, por 24h, para secar. Após sua retirada da estufa, foram deixadas para esfriar e colocadas em dessecado para que não adquirissem umidade.

Os corpos-de-prova foram pesados, em gramas, com precisão de 4 casas decimais. Em seguida, foram distribuídos em suportes na câmara, de modo a ficarem devidamente espaçados, que permite o livre acesso da névoa a todos eles.

A solução salina é preparada colocando-se inicialmente, 20 L de água destilada na câmara, para atingir o nível estabelecido pelo fabricante do equipamento. Dissolvem-se,

então, na água, 180 g de sal (cloreto de sódio) para cada litro, ou seja, foram utilizados 3600g de sal. Em seguida centrifuga-se a mistura de sal e água por cerca de 1 h.

O equipamento utilizado foi a Câmara Ascott (automática) (figura 2.5). A temperatura inicial da câmara foi de 40°C, a do ebulidor de 50°C. O temporizador foi programado para 12 h de aspersão de solução salina e 36 h sem aspersão de solução salina a uma velocidade de 2ml/min, totalizando um ciclo de 48 h, que foi repetido cinco vezes seguidos, resultando um total de 10 dias contínuos. Ao final de cada ciclo, os corpos-de-prova são imersos em água para eliminação dos sais depositados. Como o processo é lento, a água deve ser renovada periodicamente até a eliminação completa dos sais, em torno de 72 a 96 h. Em seguida os corpos-de-prova são secos, arrefecidos, pesados e inspecionados visualmente. Para os gnaisses enderbíticos, foram realizados sete (7) ciclos de 10 dias contínuos.



Figura 2.5: Câmara Ascott - Laboratório de Rochas Industriais e Ornamentais do Departamento de Ciências da Terra da Universidade Nova de Lisboa - Realização do ensaio de névoa salina dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Como a Câmara Ascott realiza o ensaio automaticamente, só foram necessárias observações diárias para garantir as condições iniciais de temperatura e salinidade do ensaio.

Os resultados finais são apresentados sob a forma do percentual de perda de massa (ΔM) calculado pela seguinte equação:

$$\Delta M = \frac{M_0 - Mn}{M_0} \times 100\ (\%)$$

em que:

Mn - massa final da amostra;

M_0 - é a massa inicial da amostra

- ✓ **Ensaio de Lixiviação Contínua com extrator Soxhlet**

O ensaio de lixiviação contínua é realizado com o extrator Soxhlet, que constitui um dispositivo utilizado em laboratório, com o objetivo de simular a lixiviação de rochas e dos minerais durante determinado período de tempo. O ambiente caracterizado corresponde a um clima hipertropical, ou seja, quente e úmido com chuvas abundantes na estação úmida e períodos secos com temperatura variando entre 20°C-25°C (AIRES BARROS, 1991).

A montagem do extrator Soxhlet (figura 2.6) é constituída essencialmente de um balão de destilação, uma coluna extratora, uma unidade de condensação e um sifão. O procedimento de ensaio está detalhadamente descrito em Aires Barros e Miranda (1979).

A metodologia aplicada neste ensaio seguiu os procedimentos utilizados por Simão (2003). O ensaio foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Ciências da Terra da Universidade Nova de Lisboa. O esquema de funcionamento do ensaio é simples e resume-se ao fato da água, inicialmente destilada, ser aquecida, evaporada e condensada, percolando pelos fragmentos da rocha, após precipitação (figura 2.7).

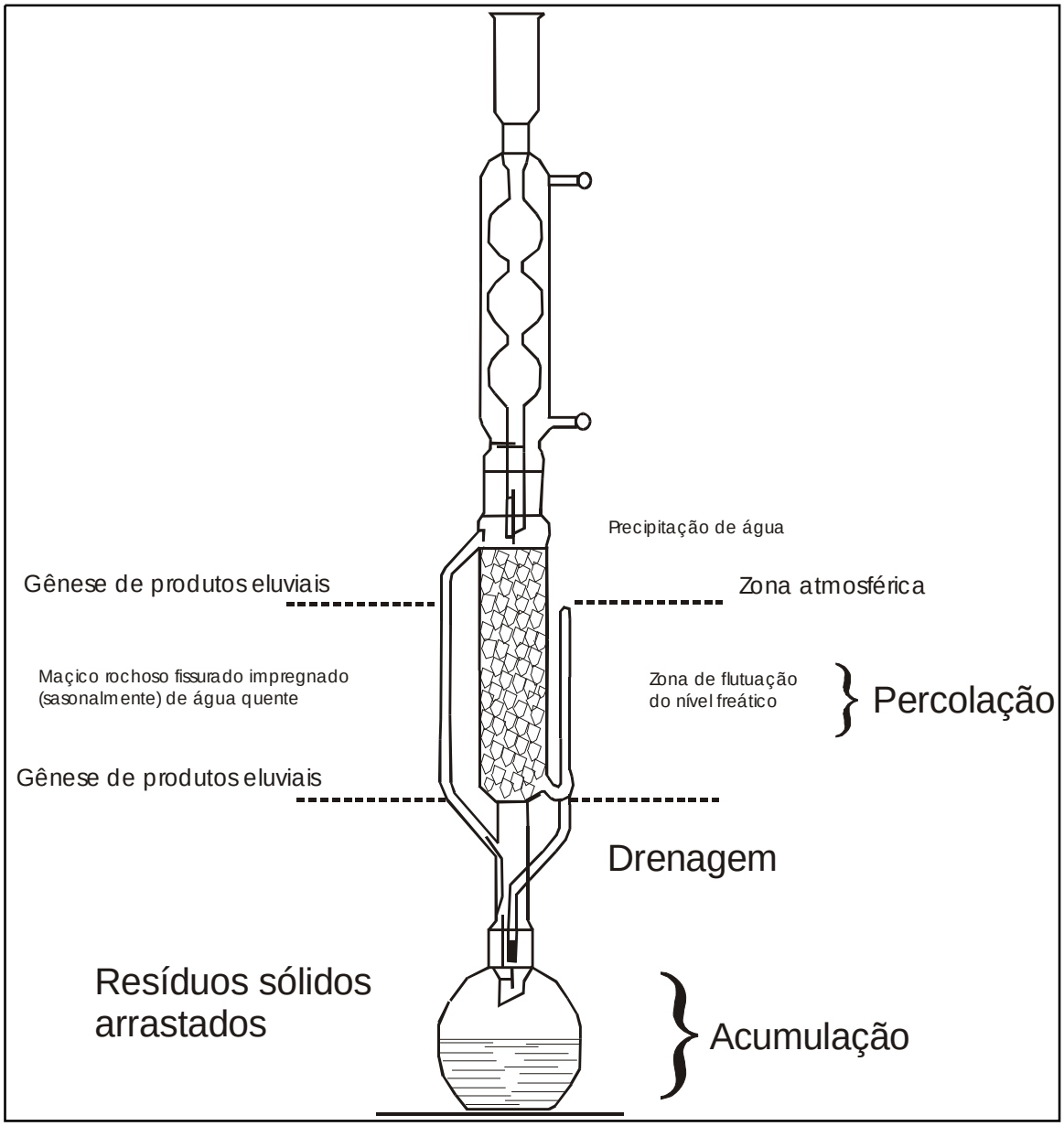


Figura 2.6: Esquema de funcionamento do extrator Soxhlet





Figura 2.7: Realização do ensaio de lixiviação continua dos gnaisses enderbíticos no Laboratório de Rochas Industriais e Ornamentais do Departamento de Ciências da Terra da Universidade Nova de Lisboa

São utilizados fragmentos irregulares de rocha com peso de 10g a 30g cada, com os quais foi preenchido o extrator, em um arranjo que permite, ao mesmo tempo, um gotejar e percolações fáceis. O equipamento é posto em funcionamento contínuo. O ensaio se inicia com a colocação de fragmentos da rocha de massa conhecida no dispositivo. Foram efetuados 10 ciclos de 500 h, totalizando 5000 h, e após cada ciclo, a água de circulação foi retirada, filtrada e substituída por um novo volume de água deionizada.

Ao final das 5000 h, os fragmentos rochosos foram novamente pesados, e sua massa comparados com a massa inicial, caracterizando-se, portanto a perda de massa.

Na tentativa de melhor entender as mudanças ocorridas nos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará, foram realizadas observações macroscópicas, análise química das águas dos ciclos de lixiviação, análises químicas das rochas frescas e alteradas e análise do resíduo das soluções.

- ✓ **Ensaio em Câmara com Exposição ao Dióxido de Enxofre (SO_2)**

A realização do ensaio em câmara com atmosfera saturada em SO_2 baseou-se no projeto de norma européia EN 1995, adotado no Laboratório de Mineralogia e Petrologia do Instituto Superior Técnico (LAMPIST) em Lisboa.

Na execução do ensaio, utilizou-se a Câmara de Ensaios Climáticos (FITOCLIMA 300 EDTU), capaz de manter a temperatura entre 20±5 ºC e 70±5 ºC e que permite o controle da umidade entre 30±5% e 95± 5%.

O ensaio por exposição ao SO_2, consiste em um determinado número de ciclos, com duração máxima de 12 h cada, nos quais a câmara é mantida aquecida por 6 h à temperatura de 60±5ºC e com umidade relativa de 30±5% e por outras 6 h à temperatura de 25±5ºC e com umidade relativa de 95±5%. Durante todo o ensaio o ambiente interno da câmara fica sujeito a uma atmosfera de 10 ppm de dióxido de enxofre (SO_2). O procedimento da pré-norma sugere que o ensaio seja feito para 100 ciclos, contudo deixa a critério de quem o realiza o número de ciclos, assim como seu período, a depender dos materiais rochosos e dos objetivos para o mesmo (maior ou menor agressividade de corrosão, maior ou menor reatividade da rocha, etc.). Neste caso específico foram realizados 75 ciclos de 7 h cada, perfazendo um total de aproximadamente 525 horas (22 dias), que foi o tempo disponibilizado para a utilização do laboratório em questão.

Para a realização deste ensaio, foram utilizadas três (3) placas quadradas apresentando uma das faces polidas e medindo aproximadamente 11 cm de lado e 2 cm de espessura para cada litotipo.

Inicialmente, as amostras foram lavadas com água deionizada e postas para secar em estufa a 70±5 ºC durante pelo menos 72 h até alcançarem peso constante. Em seguida foram realizadas as medidas de pesagem e fotoespectrocolorimetria das rochas em seu estado inicial,

obtendo-se a massa inicial dos corpos-de-prova (M_0) e os parâmetros colorimétricos da rocha sã.

O prosseguimento do ensaio se deu com a colocação dos corpos-de-prova na câmara e conseqüente programação das condições previstas na pré-norma.

Ao final dos 25º e 50º ciclos, para efeito de monitoramento do comportamento, as amostras foram retiradas da câmara, secas e pesadas e feitas novas medidas dos parâmetros colorimétricos. Em seguida, foram repostas na câmara até completarem os ciclos previstos.

Esse procedimento tem a finalidade de se verificar eventuais perdas de substâncias minerais e desagregação ou formação de novos minerais por reações químicas dos constituintes dos materiais rochosos em observação.

Após a finalização dos 75 ciclos, as amostras foram novamente secas, pesadas para a obtenção da massa final (M_n), e novas medidas colorimétricas efetuadas.

Os resultados finais são apresentados sob a forma do percentual de perda de massa (Δm) calculado pela seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{Mn - M_0}{M_0} \text{ X } 100 \text{ (\%)}$$

em que:

Mn - massa final da amostra;

Mo - é a massa inicial da amostra

- **Colorimetria**

É a ciência que estuda a medida das cores e que desenvolve métodos para a quantificação da cor, ou seja, para o desenvolvimento de valores numéricos da cor. A cor possui 3 características definidas: o tom; a saturação e a intensidade.

O princípio básico da maioria das medidas colorimétricas consiste na comparação, sob condições definidas, da cor produzida pela substância em quantidade desconhecida com a mesma cor produzida por uma quantidade conhecida do material a ser determinado.

A cor é um fenômeno óptico provocado pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, que transmitem, através de informação pré-processada no nervo ótico, impressões para o sistema nervoso.

A cor de um material é determinada pelas médias de freqüência dos pacotes de onda que as suas moléculas constituintes refletem. Um objeto terá determinada cor se não absorver justamente os raios correspondentes à freqüência daquela cor.

As modificações de cores são também utilizadas na visualização de alterações sofridas pelos materiais ao longo do tempo, tanto em condições ambientais normais como agressivas.

Nos materiais rochosos, a cor é uma das características físicas que mais despertam interesse quando de sua utilização como rochas ornamentais, tornando um fator de grande relevância a sua determinação na caracterização desses materiais.

Como as rochas são de um modo geral formadas por um ou mais minerais, as suas cores são, evidentemente, influenciadas por suas características intrínsecas.

Os elementos químicos que são mais efetivos na produção de cores em luz transmitida e refletida, quer estejam presentes como componentes integrais, quer como impurezas, são os metais de transição. Dentre esses metais destacam-se o titânio, o vanádio o cromo, o manganês, o ferro, o níquel e o zinco (FIGUEIREDO, 1999; TORQUATO, 2004). Destes elementos, por ser o mais abundante na crosta terrestre, o ferro constitui o fator dominante da cor dos minerais (KLEIN E HURBUT, 1993).

Por meio deste método, pretendeu-se avaliar a ação dos agentes utilizados nos ensaios de alterabilidade (exposição com dióxido de enxofre), sobre a coloração natural dos gnaisses enderbíticos.

Para tanto, foi utilizado o espectrocolorímetro do tipo MINOLTA, modelo CM 508 i, equipamento que possui um sistema de iluminação difusa, com um ângulo de observação de 8º sobre a normal às amostras estudadas (geometria g/8). A área de medida é de aproximadamente 8 mm (sendo este um valor adequado para as medidas colorimétricas tanto em rochas monocromáticas como policromáticas). Para as medidas efetuadas utilizaram-se o observador CIE 2º e o iluminante D65 (estes dois parâmetros representam a luz diurna, incluindo a radiação ultravioleta com temperatura de cor relacionada a 6504º K).

A determinação numérica da cor foi realizada com base nas coordenadas colorimétricas do sistema colorimétrico da *Commission International de Eclaraige* - CIE 1931, no espaço cromático uniforme CIELAB (1976) (figura 2.8).

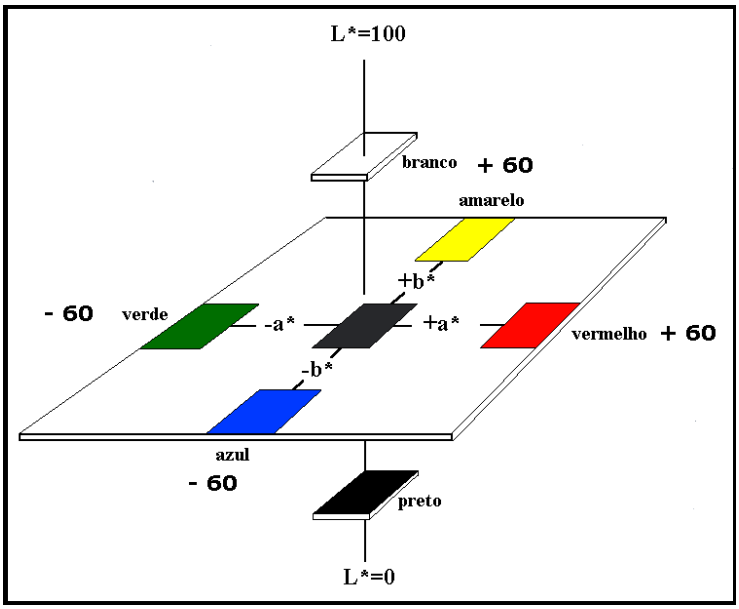


Figura 2.8: Coordenadas no sistema CIELAB L*, a*, b*. Fonte: Torquato 2004

Este sistema de cor é baseado em três dimensões: o *tom* que corresponde à tonalidade da cor (vermelha, azul e verde) e relaciona-se com a longitude da onda de luz; o *croma*, pureza ou saturação, que corresponde ao grau de intensidade da cor e a *claridade* ou luminosidade, que corresponde à cor e relaciona-se com a intensidade luminosa e a refletância da luz (ESBERT *et al.* 1997, IÑIGO, *et al*. 1997).

Neste sistema colorimétrico a cor é expressa a partir de um conjunto de coordenadas que se constituem nos seguintes parâmetros:

- L* - indica a localização da cor no eixo claro-escuro (preto para L* = 0 e branco para L* = 100);
- a* e b* - representam as variações que envolvem o tom e o croma e que podem ser consideradas como sendo de cor e cujos eixos se dispõem com formas ortogonais entre si, sendo que o eixo a* situa-se entre –60 (verde) e +60 (vermelha) e o b* entre –60 (azul) e +60 (amarelo).

A diferença total de cor neste sistema (ΔE*) é expressa pelo módulo do vetor que indica a diferença entre os dois vetores que representam as cores em comparação, sendo este valor definido com base na seguinte expressão:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

em que:

ΔL* = L*final – L* inicial;

Δa* = a* final – a* inicial;

Δb* = b* final – b* inicial

Neste trabalho, as coordenadas L*, a* e b* iniciais correspondem aos valores obtidos pela leitura colorimétrica das amostras de rochas nos seus estados naturais (leitura inicial antes do ensaio na câmara de SO_2) e as coordenadas L*, a* e b* finais foram determinadas nas amostras das rochas após os 75 ciclos na câmara de SO_2, conforme descrito no item anterior.

2.3.4. Análise Química Mineral

Visa à determinação da composição química mineral dos produtos de alteração nas rochas estudadas. Tais composições demonstram relevância sob dois aspectos, a saber: o primeiro está voltado para as reações minerais metamórficas que possibilitaram a aplicação de geotermobarômetros, e o segundo diz respeito às alterações supérgenas que atuam sobre os minerais primários.

- ✓ **Microssonda Eletrônica**

As análises químicas de minerais foram obtidas por microssonda eletrônica JEOL (JXA – 8600) do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microssonda – Universidade de São Paulo.

As condições instrumentais de análise na microssonda são as seguintes: Potencial de aceleração: 15Kv; Corrente de amostra: 10n ´; e Diâmetro do feixe eletrônico: 5µ.

Para o tratamento desses dados, bem como para os diagramas de classificação dos minerais, foi utilizado o programa MINPET® 2.02, Richard (1995), para ambiente Windows, o qual apresenta diversificadas metodologias para cálculo das fórmulas estruturais minerais.

- ✓ **Fluorescência de Raios X**

O espectrômetro de fluorescência de raios X é um instrumento que determina quantitativamente os elementos presentes em uma determinada amostra. Isto é possível através da aplicação de raios X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes raios X emitidos. A técnica de fluorescência de raios X é não-destrutiva para todos os tipos de amostras, incluindo sólidos, líquidos, pós, discos, etc. É, portanto, a técnica de utilizada para pesquisa e controle de qualidade em uma ampla área de atuação.

As análises químicas dos gnaisses enderbíticos foram realizadas no laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia – IGCE/UNESP, que utiliza espectrômetro seqüencial Philips PW2400, com porta-amostras de 102 posições. Foram analisadas seis (6) amostras, três (3) das rochas frescas e três (3) das rochas alteradas (após ao ataque das rochas submetidas ao ensaio de lixiviação com Soxhlet) para elementos maiores (SiO_2, Al_2O_2, TiO_2, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5).

- ✓ **Difração de Raios X**

É uma técnica que responde à cristalinidade das substâncias, que permite a identificação de materiais quanto às suas características cristalinas e a quantificação de elementos de constituição desde que em faixa adequada de concentração. É aplicável a substâncias orgânicas e principalmente minerais.

Os resíduos sólidos recolhidos das soluções aquosas, no final de cada ciclo de 500 horas de lixiviação contínua (extrator Soxhlet - figura 2.6), foram submetidos à análise de difração de raios X no Laboratório de Difração do Departamento de Petrologia e Metalogenia – IGCE/UNESP.

Para a obtenção das análises, utilizou-se um difratômetro Siemens D5000, com goniômetro de textura acoplado.

Foram analisadas trinta (30) amostras, dez (10) de cada tipo de gnaisse enderbítico estudado, com a utilização da radiação de cobalto, com velocidade de rotação do goniómetro de 0,05°/s e velocidade de deslocamento do papel de registro 0,05 cm/s, no intervalo de 2θ de 3° a 70º.

- ✓ **Absorção Atômica**

A água recolhida ao final de cada ciclo de 500 h do ensaio de lixiviação contínua com extrator Soxhlet foi submetida à análise química de elementos maiores por absorção atômica no Departamento de Ciência da Terra, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa.

Foram analisadas trinta (30) amostras, dez (10) de cada tipo de gnaisse enderbítico estudado, utilizando-se o aparelho Perkin Elmer Analyst 300, nas condições descritas em Simão (2003).

INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa foram realizados os tratamentos dos dados obtidos em campo e em laboratório, e a integração e interpretação dos mesmos, que resultou no texto de tese.

As citações e referências bibliográficas foram formatadas de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 10520 e 6023 ABNT 2002, sugeridas pela biblioteca do campus de Rio Claro.

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOLÓGICO

Neste capítulo serão discutidos os aspectos geológicos regionais, sobretudo aqueles que envolvam o enquadramento das três regiões foco do estudo.

O Estado do Ceará exibe uma diversidade de ambientes geológicos propícios à explotação de rochas ornamentais, cujo embasamento cristalino cobre aproximadamente 75% (110.000 km²) da superfície estadual. Destacam-se os "granitos" de modo geral, mármores, quartzitos, calcários, conglomerados e arenitos conglomeráticos, rochas estas que em sua maioria, apresentam um grande potencial para o setor de rochas ornamentais. Por outro lado, são necessárias a intensificação dos programas de reconhecimento geológico da região, com a utilização de novos recursos atualizados de cartografia geológica, a execução de análises diversas (incluindo a de caracterização tecnológica) que permitam avaliar o potencial dessas áreas e determinação dos principais domínios litológicos com potencial exploratório.

3.1. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Nordeste brasileiro vem sendo alvo de inúmeros trabalhos que têm como objetivo a definição de um arcabouço geotectônico da Província Borborema.

A Província Borborema, cujo conceito foi introduzido por Almeida *et al*. (1977), refere-se à porção oriental da região nordeste da Plataforma Sul-americana. É atualmente definida como sendo uma complexa região dobrada em mosaico, onde ocorreram efetivos e importantes eventos tectônicos, termais e magmáticos, de idade neoproterozóica, assinalando o Ciclo Brasiliano. A área de abrangência da província excede os 450.000 km². Seu arranjo atual consiste numa série de sucessivos pediplanos Cenozóicos.

A primeira tentativa de uma divisão estratigráfica das rochas cristalinas do Nordeste se deve a Crandall (1910). Moraes (1924) faz referência especial às ocorrências da Série Ceará nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba.

Contribuições mais significativas surgiram a partir da década de 60 com Ferreira (1964, *in*: BRITO NEVES 1975) que denomina o Grupo Caicó, e Kegel (1965) que subdivide o Complexo Cristalino em diferentes Formações, que sofreram deformações através de

processos orogenéticos e constituíram as unidades estruturais com os blocos orogenéticos: de Acaraú, Santa-Quitéria, Banabuiú, Itapajé, Assaré-Limoeiro e Coreaú.

Ebert (1969) e Campos *et al*. (1976), baseando-se em dados crono-estratigráficos, designaram a seguinte seqüência para a Série Ceará:

Pré-Cambriano Superior: Grupo Seridó;
Grupo Caicó.
Pré-Cambriano Inferior: Grupo São Vicente.

A Série Ceará, designada de Grupo Ceará pelo Projeto Rio Jaguaribe (CAMPOS *et al.*, 1976), é definida como uma seqüência ectinítica, parametamórfica, com quartzitos na base, a que se sobrepõem xistos, filitos e gnaisses. Níveis de rochas carbonáticas situam-se ora no topo da seqüência, ora dentro dos meta-pelitos, próximo do contato com o quartzito basal. O Grupo Ceará distribui-se por extensas faixas de afloramentos, principalmente no bloco entre a denominada "Zona de Orós" (MORAES, 1924) e a Falha de Arneiróz-Senador Pompeu.

Monié *et al.* (1997) consideram na Província Borborema um embasamento páleo-proterozóico e coberturas proterozóicas que experimentaram uma complexa história tectono-metamórfica durante a Orogenia Brasiliana. Propuseram para a Província Borborema, ao norte da Zona de Cisalhamento de Patos, a divisão em quatro domínios principais separados por grandes zonas de cisalhamento dextrais de direções preferenciais E-W a NE-SW. Os domínios foram denominados Domínio Médio Coreaú, ao norte, Domínio Ceará Central, Domínio de Cinturões Xistosos a sudeste e Domínio Patos, ao sul.

Arthaud *et al.* (1998) propõem modificações na subdivisão do Pré-Cambriano do Estado do Ceará, reagrupando os domínios já estabelecidos anteriormente em cinco segmentos baseados em critérios tectono-metamórficos. São eles os domínios: Piancó-Alto Brígida, Orós-Jaguaribe, Ceará Central, Granjeiro e Noroeste do Ceará (figura 3.1).

Neste contexto, a faixa granulítica de Granja (Área 1 – Verde Santa Cruz) está inserida no Domínio Noroeste do Ceará e as faixas granulíticas de Itapipoca (Área 2 – Verde Netuno) e Chorozinho (Área 3 – Verde Choró) no Domínio Ceará Central (figura 3.1).

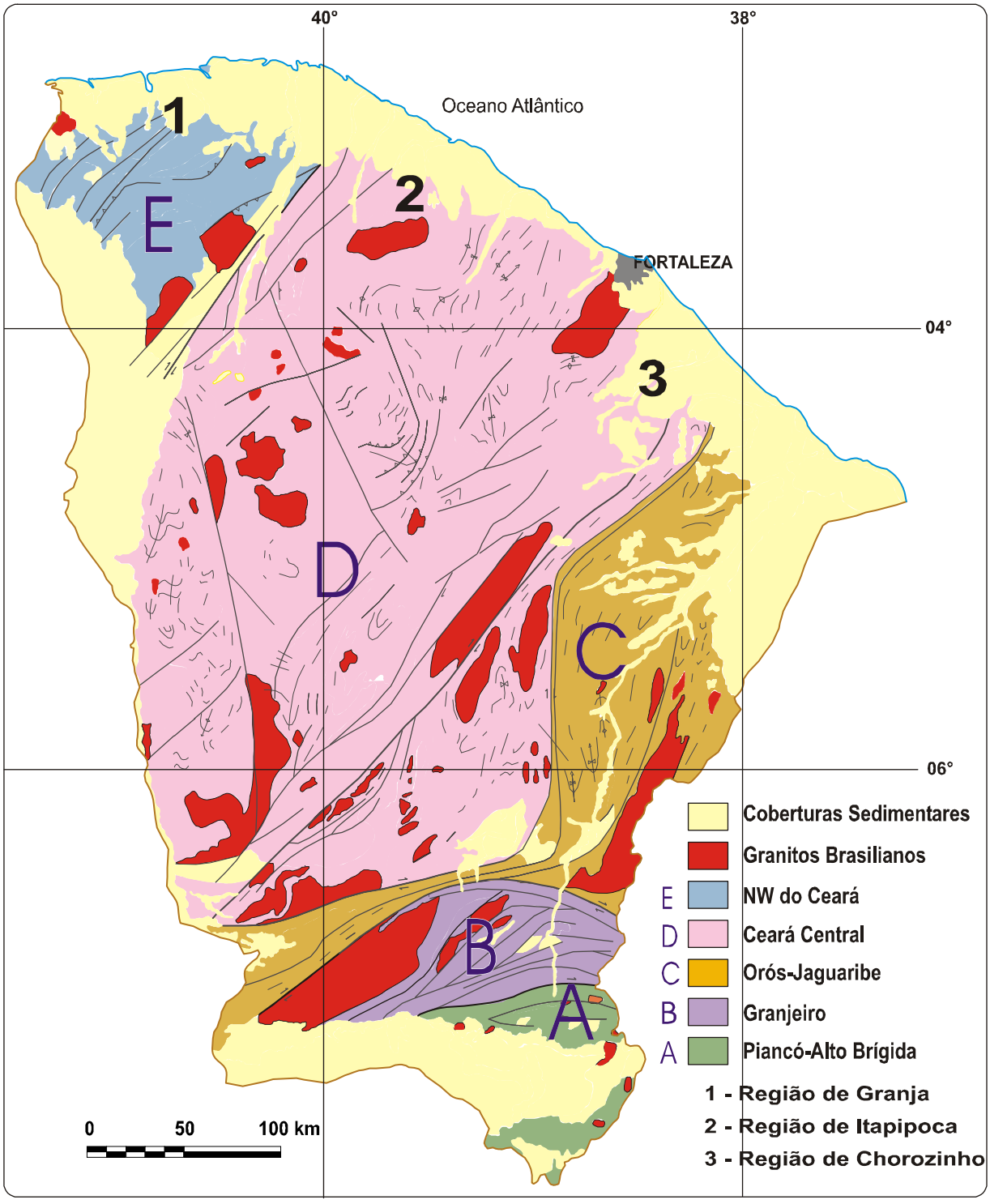


Figura 3.1: Principais Domínios dos Terrenos Pré-Cambrianos do Estado do Ceará (Fonte: ARTHAUD *et al.*, 1998) e as áreas de estudo: 1 - Região de Granja (Verde Santa Cruz); 2 - Itapipoca (Verde Netuno) e 3 – Chorozinho (Verde Choró)

1.1.GEOLOGIA DA REGIÃO DE ITAPIPOCA – VERDE NETUNO

A região de Itapipoca situa-se no Domínio Ceará Central (DCC), o que representa a mais extensa unidade litoestrutural da região central da Província Borborema, com 80.000 km^2, delimitado a NW pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), e a SE pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP). A SW-W é encoberto pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba (VAN SCHMUS *et al.*, 1995; FETTER *et al.*, 2003).

Os litotipos encontrados na área de estudo incluem biotita gnaisses com hornblenda, granulitos (enderbitos e charnockitos/charnoenderbitos), granodioritos, monzogranitos, granodioritos com granadas, diques (sienogranitos) e coberturas colúvio-aluvionares.

Unidades Estratigráficas

A área em estudo está representada pelas seguintes unidades estratigráficas, da base para o topo:

1. **Pré-Cambriano Superior –** essa unidade ocorre em toda a área de estudo e está representada pelos gnaisses dominantemente biotíticos, e menos freqüentemente anfibolíticos. Toda essa seqüência é cortada por uma zona de cisalhamento, ao longo da qual houve uma orientação dos feldspatos presentes nos charnockitos e granitóides.

2. **Terciário/Quaternário –** está representada pelos sedimentos colúvio-aluvionares, formando tabuleiros dispersos, com suaves ondulações geradas por dissecação lenta, por meio dos sistemas de drenagens. São constituídos por um material areno-argiloso, grosseiro, esbranquiçado, de pouca espessura, sem estratificação, em que o quartzo é o mineral dominante. Recobre os sedimentos do Grupo Barreiras e as rochas do embasamento cristalino.

3. **Quaternário –** é representado por sedimentos aluvionares, e areias incosolidadas.

O conhecimento das ocorrências de rochas granulíticas encontradas na região de Itapipoca é relativamente recente e são poucos os trabalhos que tratam do tema. Deve-se a

Gorayeb e Abreu (1998) o registro da ocorrência de rochas granulíticas no centro-norte do Estado do Ceará.

O mapa geológico da área de pesquisa mostra as principais unidades litológicas que compõem o município de Itapipoca (NASCIMENTO, 2006) (figura 3.2).

Os corpos granulíticos estão localizados a aproximadamente 13 km a noroeste da cidade de Itapipoca, na localidade denominada Macaco, o que originou o nome "Granulito Macaco". Na área de estudo, são observados dois grandes maciços granulíticos de forma elipsoidal. O primeiro está situado no setor sudoeste da área de pesquisa. O segundo e principal corpo, denominado Serrote do Macaco, projeta-se por 5 km na direção NNE-SSW, numa área de aproximadamente 12 km², circundado por terrenos gnáissico-granitóides e estruturado segundo NNE-SSW. É representado, predominantemente por charno-enderbitos e enderbitos. São leucocráticos, de granulação grossa e de cor verde-escura, variando para os tons cinza a azulado.

Estruturalmente, a área de pesquisa mostra processos que variam de dúcteis a rúpteis. Devido ao fato de as coberturas colúvio-aluvionares abrangerem grande parte da área mapeada, tornou-se difícil a identificação destas estruturas.

Em geral, os litotipos encontrados apresentam foliação principal (S_n) com direção preferencial NW-SE, mergulhando para SW. Nos biotita gnaisse com hornblenda, o bandamento gnáissico (S_n) mostra dobras intrafoliares com vergência para NE. As lineações minerais encontradas ocorrem nos planos das foliações gnáissicas e mostram caimento para SE (NASCIMENTO, 2006).

A fase rúptil é representada pelas fraturas presentes, que sugerem condições de P e T reduzidas, que provoca uma menor competência das rochas. As medidas referentes a essas fraturas indicam uma direção preferencial de fraturamento para NW-SE, com a presença de 2 (duas) famílias marcantes de direções N60ºW e N80ºW (NASCIMENTO, 2006).

.

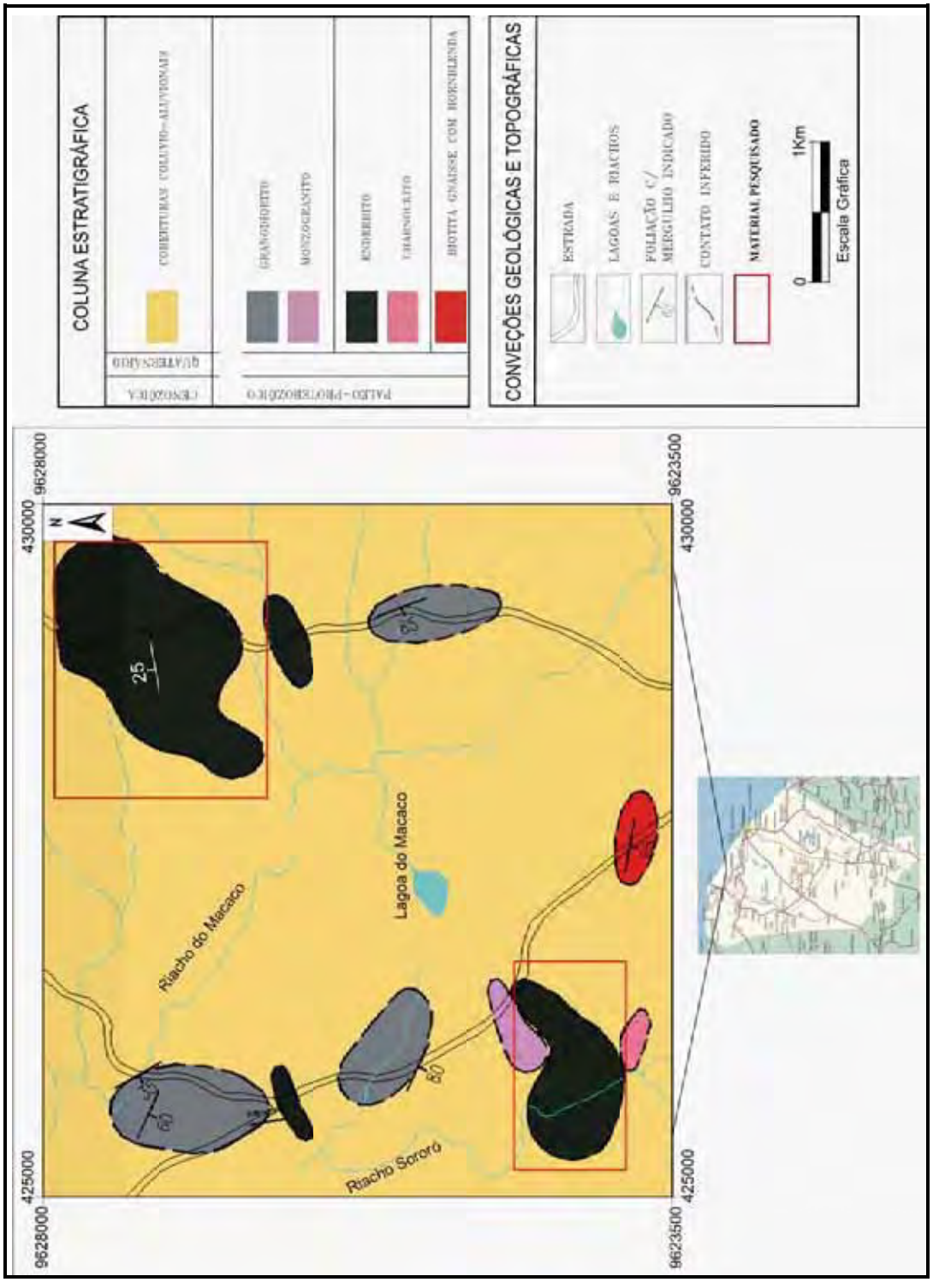
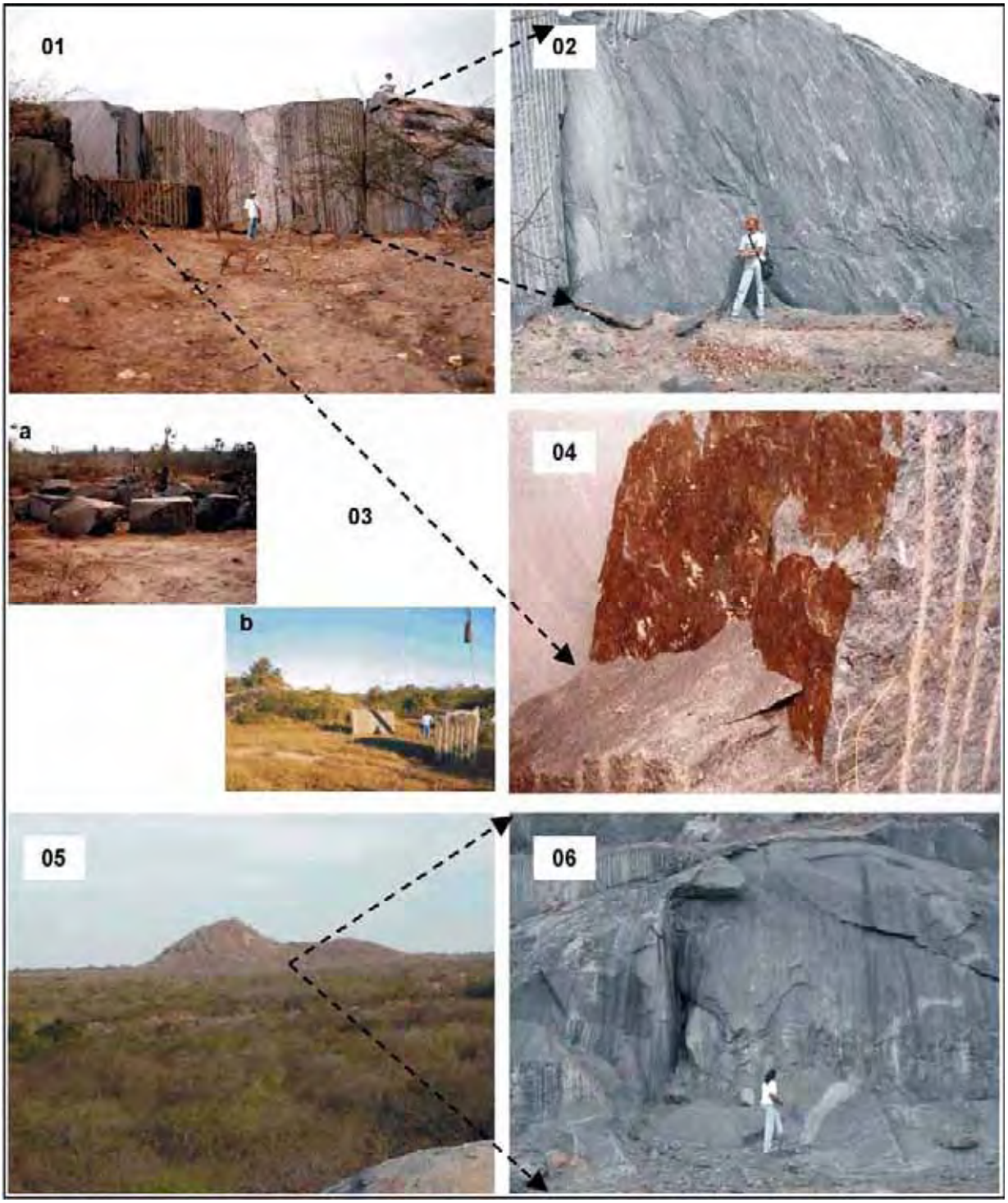


Figura 3.2: Mapa geológico do município de Itapipoca (modificado de NASCIMENTO, 2006). Em destaque (vermelho) os corpos enderbíticos estudados

Aspectos gerais das ocorrências dos gnaisses enderbíticos (Verde Netuno)

A escolha do método de explotação é função dentre outros aspectos, da morfologia dos afloramentos. São os maciços e matacões que predominam na área de pesquisa. Na região de Itapipoca já houve tentativas de implantação de empreendimentos mineiros para explotação dos gnaisses enderbíticos, tanto de matacões como de maciços (Prancha I – figura 01). Entretanto, estão paralisadas, provavelmente, devido à lavra predatória que ocorre sem a realização de uma pesquisa de detalhe, com a retirada de blocos fora das medidas padrões, devido a problemas de fraturamento dos maciços. O fraturamento causa problemas durante o esquadrejamento para a retirada destes materiais (Prancha I – figuras 02 e 04) o que ocasiona alto custo e desperdício dos materiais (Prancha I – figura 03a e b).

Na área, ocorrem dois corpos rochosos favoráveis à extração de blocos, um está localizado na fazenda Santa Rosa (Prancha I – figuras 01, 02, 03 e 04) e o outro na porção nordeste da área (Prancha I – figuras 05 e 06). Esse maciço tem forma elipsoidal, com aproximadamente 1 km de extensão e 0,6 km de largura, com cota máxima de 141 m. Está também em processo de explotação avançado (Prancha I – figura 06), mas atualmente desativada.



PRANCHA I: Morfologia das áreas de estudo na região de Itapipoca (Verde Netuno). (01) Frente de lavra desativada na fazenda Santa Rosa; (02) Parede lateral da pedreira, observa-se o plano principal de fraturamento; (03) Desperdício dos materiais; 3a – bota fora com blocos com dimensões fora das medidas padrões; 3b – blocos abandonados, mesmo estando dentro dos padrões; (04) perda do bloco por problemas com fraturamentos; (05) Visão do maciço enderbítico localizado na porção nordeste da área; (06) frente do maciço já explorada e atualmente desativada

1.1.GEOLOGIA DA REGIÃO DE GRANJA – VERDE SANTA CRUZ

Os gnaisses, migmatítos e granulitos da região de Granja foram reunidos por Nascimento *et al.* (1981) em uma unidade litoestratigrafica denominada Complexo de Granja.

Enquadrada no Complexo de Granja, a faixa granulítica (figura 3.3) exibe dois conjuntos de litotipos com associações mineralógicas características quanto à origem pré-metamórfica, gnaisse-khondalítico (silimanita-granada gnaisse) - paraderivado e charnockíto/enderbítico - ortoderivado. O primeiro é constituído de quartzo - mesopertita - plagioclásio - granada - silimanita - rutilo - ilmenita ± cianita ± grafita; e o segundo pode ser subdividido em três tipos, quais sejam: gnaisses *charnockiticos com feldspato potássico* - plagioclásio - quartzo - hiperstênio - ilmenita; *gnaisses enderbíticos contendo plagioclásio* - hiperstênio - diopsídio - quartzo ± biotita ± hornblenda ± granada; e *granulitos máficos* formados por plagioclásio - hiperstênio - diopsídio ± granada ± hornblenda (NOGUEIRA NETO, 1996 e 2000).

O litotipo denominado de Verde Santa Cruz, estudado neste trabalho, corresponde às variações dos gnaisses enderbíticos citados acima.

Santos (1993), nos arredores da cidade de Granja reconheceu cinco fases deformacionais diferentes (D_{n-2}, D_{n-1}, D_n, D_{n+1} e D_{n+2}). A fase D_{n-2} exibe uma xistosidade constituída por biotita e anfibólios, em geral obliterada por D_n/D_{n+1}. A fase D_{n-1} é responsável pelo bandamento gnáissico (S_{n-1}), cuja direção preferencial NE-SW tem mergulhos com valores variáveis para SE. As lineações de D_{n-2} e D_{n-1} foram reorientadas por D_n/D_{n+1} e mostram caimentos suaves para NE ou SW. O estilo das dobras geradas em D_{n-2}/D_{n-1} é isoclinal, com freqüente transposição de flancos. D_n/D_{n+1} apresentam S_n/S_{n+1} sob forte influência das megazonas de cisalhamento e, sobre o plano de S_{n+1}, desenvolvem-se lineações de estiramento, também com caimento para NE ou SW. A ultima fase D_{n+2}, de caráter rúptil, aufere aos litotipos do Complexo de Granja feições como clivagem de fratura e cataclasitos, evoluindo até pseudotaquilitos nos gnaisses junto à zona de cisalhamento de Granja.

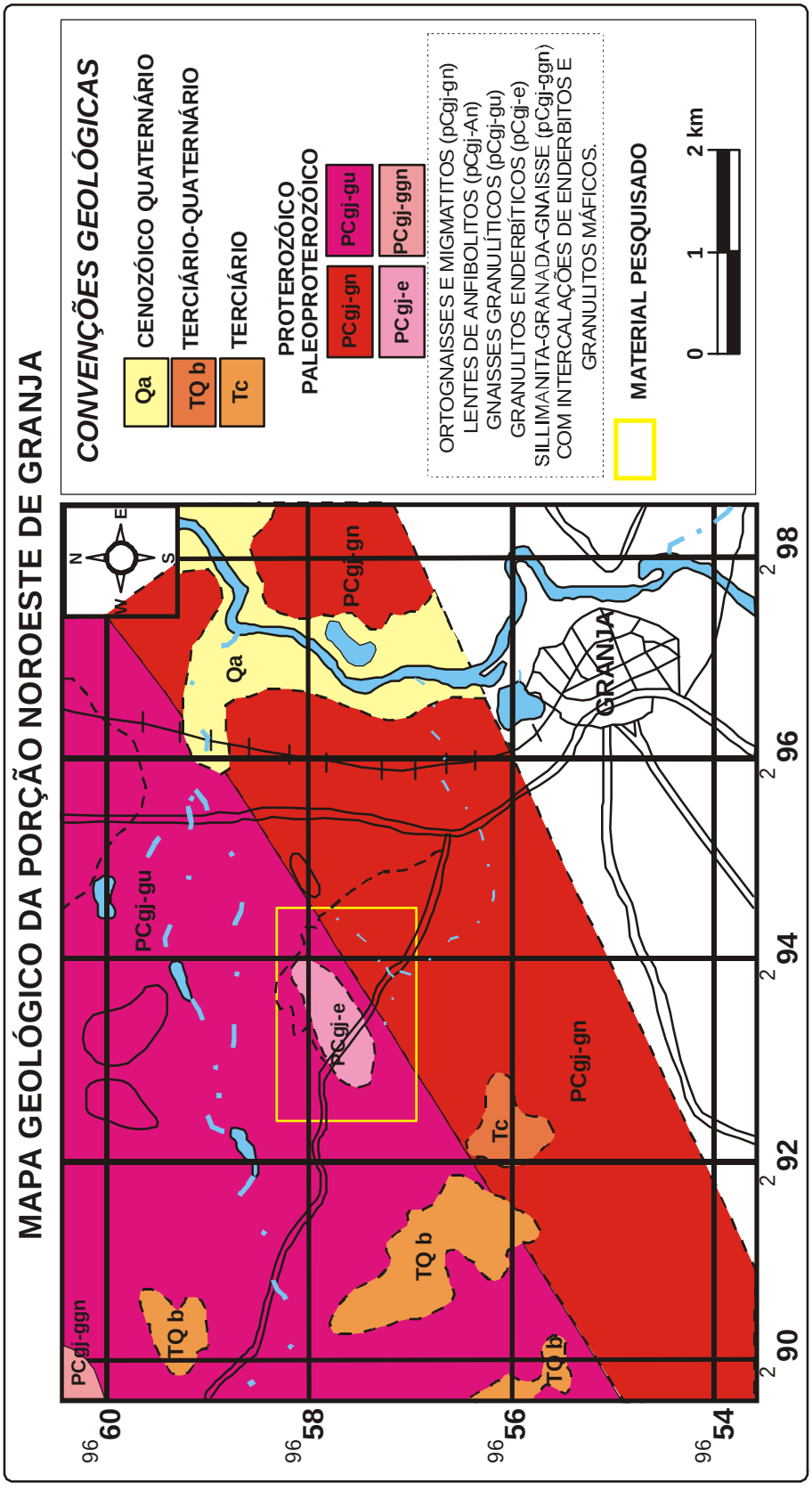


Figura 3.3: Mapa geológico da porção norte-noroeste do município de Granja (modificado de NOGUEIRA NETO, 2000). Em destaque (amarelo) o corpo enderbítico estudado

No entanto, Caby (1991) considera que, nos granulitos de Granja, a metaestabilidade das fases de elevada temperatura evoluíram para condições frágeis, sugerindo estágio evolutivo único, finalizado com soerguimento crustal durante o Ciclo Brasiliano, de forma similar à evolução descrita para os granulitos Pan-Africanos do Benin.

As associações minerais metamórficas, que constituem os diferentes conjuntos litológicos discriminados acima, foram estudadas sob o ponto de vista termobarométrico, pelo método "Thermobarometry with estimation of equilibration state - TWEEQU", e indicam condições de pico metamórfico em fácies granulito de pressão intermediária a elevada, cujas temperaturas variam entre 750 e 840ºC, e pressões de 7 a 10 kbar para os litotipos de alto grau do Complexo de Granja. Feições texturais, principalmente desenvolvidas nos gnaisses enderbíticos, exibindo pequenos grânulos de granadas em molduras nos plagioclásios e ortopiroxênios/clinopiroxênios, similares às descritas por Harley (1989 e 1992), sugerem trajetória de resfriamento isobárico (IBC) pós-pico metamórfico para essas rochas. Por outro lado, são também observadas texturas com formação de simplectitos de ortopiroxênio e plagioclásios a expensas de granadas que sugerem trajetória em descompressão isotérmica (ITD). Nesse sentido, a trajetória ITD poderia inicialmente estar associada aos mecanismos tectônicos de rápido soerguimento (tectônica tangencial/transpressiva), seguidos de arrefecimento (IBC) em níveis crustais mais rasos (NOGUEIRA NETO, 2000).

Unidades Estratigráficas

A área é constituída basicamente por terrenos Proterozóico - Paleoproterozóico e coberturas sedimentares.

4. **Proterozóico/Paleoproterozóico –** esta unidade está representada pelos Complexos Gnáissico-Migmatíticos, que ocorrem na parte sudeste da área. A Faixa Granulítica que ocorre na parte central da área é limitada a sul pela Zona de Cisalhamento de Granja e é composta pelos gnaisses khondalíticos, gnaisses enderbiticos e granulitos máficos. Cabe ressaltar que em algumas porções do Complexo de Granja os enderbitos guardam relações pré-metamórficas, de intrusão nos gnaisses kondalíticos.

5. **Terciário/Quaternário –** esta unidade representada pelas coberturas sedimentares que estão situadas a norte e oeste da área e são caracterizadas como planícies em forma de tabuleiros intemperizados, sob a forma de laterização.

Aspectos gerais das ocorrências dos gnaisses enderbíticos (Verde Santa Cruz)

Na região de Granja ainda não há exploração dos materiais rochosos para utilização como rocha ornamental. Ocorrem apenas afloramentos propícios a futura explotação, dos quais foram retiradas as amostras para a caracterização tecnológica (figura 3.4).



Figura 3.4: Aspecto morfológico da área de estudo do Verde Santa Cruz, região de Granja. O material estudado foi obtido artesanalmente a partir de pequenos matacões

O corpo rochoso tem a forma elipsoidal, semelhante ao da região de Itapipoca, e apresenta cerca de 1 km de comprimento por ± 0,5 km de largura. Está exposto na forma de matacões de médio a pequeno porte, onde, para se trabalhar em cava seria necessária a limpeza da parte superficial.

1.1.GEOLOGIA DA REGIÃO DE CHOROZINHO – VERDE CHORÓ

A região que engloba o município de Chorozinho (NE do Ceará) exibe uma seqüência de rochas metamórficas de alto grau, formadas por sillimanita-granada gnaisses, granada gnaisses, gnaisses enderbíticos e gonditos. O conjunto apresenta foliação principal, segundo NE-SW, com mergulhos entre 50º e 60º para SE, e por vezes, essa mesma foliação está disposta de forma plano axial a dobras isoclinais em escalas diversas (centimétricas a decamétricas). Em termos de feições rúpteis, são reconhecidas duas principais direções de fraturas regionais, N85ºE/vertical e N64ºE/vertical, e, com menor freqüência, são também registradas duas outras famílias, N72ºE e N06ºE, ambas verticais (figura 3.5a). Atitudes de fraturas medidas ao longo de dois perfis em setores onde afloram os gnaisses enderbíticos denominados Verde Choró apresentaram comportamento similar ao descrito acima (figuras 3.5b e c). O primeiro perfil foi realizado no corpo rochoso que aflora na porção nordeste (área I) da cidade de Chorozinho e o segundo perfil na área III, que fica na porção sudoeste da cidade e a leste do Rio Choró. As áreas foram selecionadas por apresentarem melhor acesso e exposição dos afloramentos. Na área III, ocorre um número maior de famílias de fraturas (N85E, N65E, N45E e N05E). Dessa forma, a maior concentração de fraturas coincide com a direção ENE-WSW, o que segue o padrão de fraturamento regional (COSTA, 2000, 2003).

Localmente, os litotipos sillimanita-granada gnaisses, granada gnaisses, enderbitos e gonditos que compõem o Pré-Cambriano foram individualizados, com base em dados estruturais, metamórficos, e de suas relações de contato, em três unidades distintas: i – Unidade Granulito, ii – Unidade Gondito e iii - Unidade gnáissica (figura 3.6).

Quanto ao grau metamórfico, os litotipos granulíticos foram submetidos a temperaturas entre 770ºC a 800ºC e pressões da ordem de 6 a 7 kbar (ALMEIDA e NOGUEIRA NETO, 1997; MORAES, 2000).

Os principais tipos rochosos que ocorrem na área de pesquisa são os **granada-gnaisses,** que possuem associação mineral constituída por plagioclásio – feldspato potássico – quartzo – biotita - granada ± silimanita. Apresentam texturas que variam de granoblásticas a granolepidoblásticas, nas quais se desenvolvem bandas quartzo-feldspáticas, que envolvem granadas pré-cinemáticas, também envoltas pela foliação formada por biotitas (± silimanita).

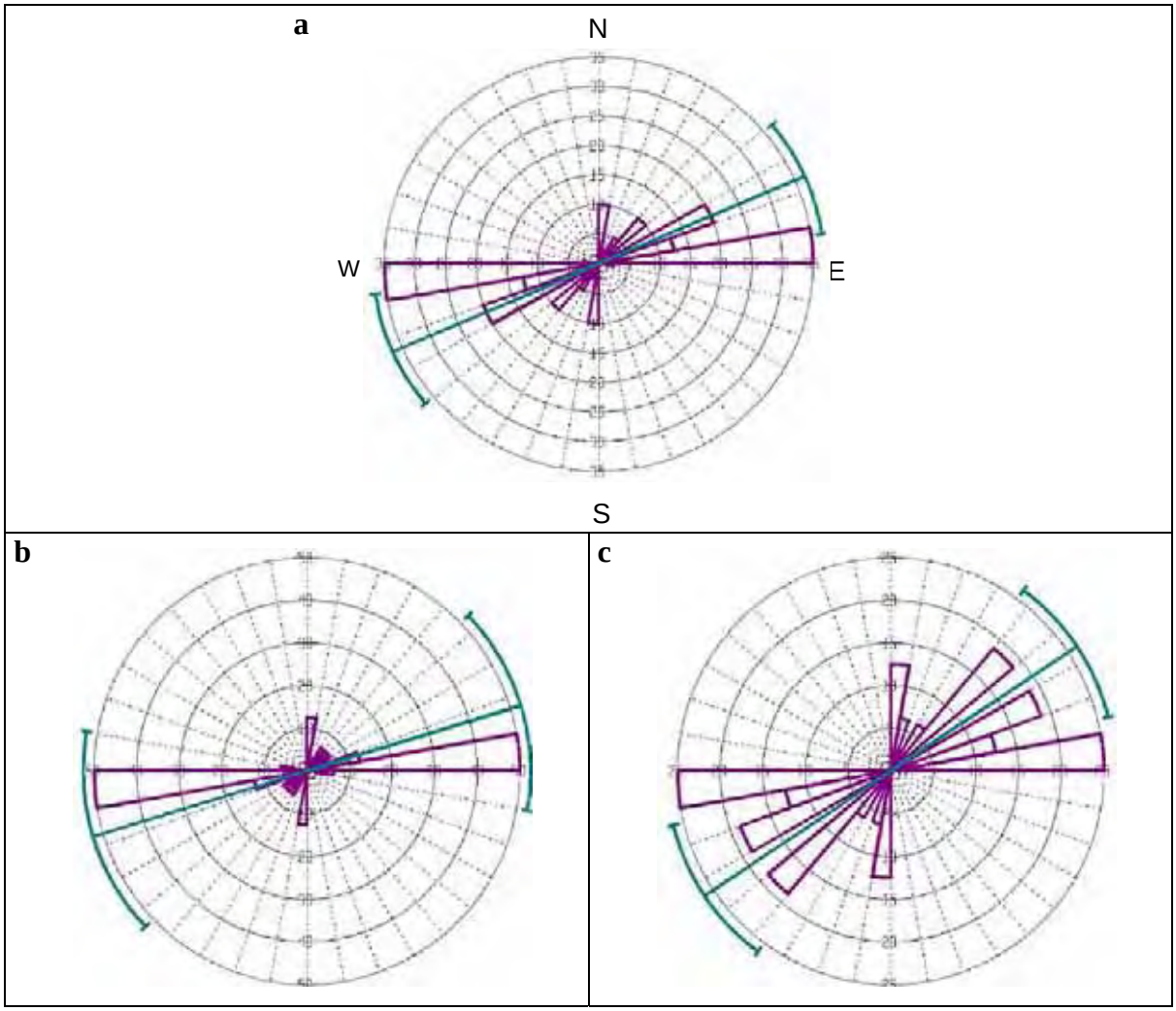


Figura 3.5: a) Diagrama de roseta com as duas principais direções de fraturas: N85ºE e N64ºE. b) Atitudes de fraturas medidas na área I, ao longo do Perfil 01 de direção N25°W onde predominam as direções de fraturas N85E e N05E; c) Atitudes de fraturas medidas área III ao longo do Perfil 02 de direção N50°E com predomínio das fraturas N85E

Os **gonditos**, segundo Moraes *et al*. (1974), ocorrem sob a forma de blocos rolados e matacões alinhados “in situ”. A ocorrência desse litotipo sugere a existência de várias lentes paralelas, intercaladas com as rochas gnáissica-migmatíticas regionais. Essas rochas são caracterizadas pela presença constante de grafita em lamelas, resultantes talvez da lixiviação da granada. São compostas por granadas, quartzo e concreções impuras de óxido de manganês.

Os **gnaisses enderbíticos** exibem textura granoblástica inequigranular e registram associação com clinopiroxênio–ortopiroxênio–plagioclásio–hornblenda–granada–quartzo.

Simplectitos de plagioclásios/piroxênios e coroas de reação em torno de granadas envolvidas por plagioclásios e piroxênios, são feições encontradas freqüentemente (COSTA, 2003). Estas últimas rochas foram selecionadas para realização deste trabalho.

Unidades Estratigráficas

A área estudada, além de constituída pelas Unidades Pré-Cambrianas anteriormente discriminadas, é predominantemente recoberta por sedimentos Cenozóicos. Em termos litoestratigráficos, podem ser individualizadas as unidades abaixo:

6. **Paleoproterozóico –** representado pelo Complexo Gnáissico e subdividida em Unidade Granulito; Unidade Gnaisse: silimanita - granada gnaisses; granada - biotita gnaisses migmatizados, enderbitos e charno - enderbitos; e Unidade Gondito: Gonditos.

7. **Terciário/Quaternário –** é representada pelas Coberturas colúvio-eluviais (TQc): dadas por sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes lateritizados na base; Formação Barreiras (TQb): dadas por sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulinítica, com cimento argilo-ferruginosos e às vezes silicoso.

8. **Quaternário –** representado por depósitos flúvio-aluvionares e de mangues com areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.

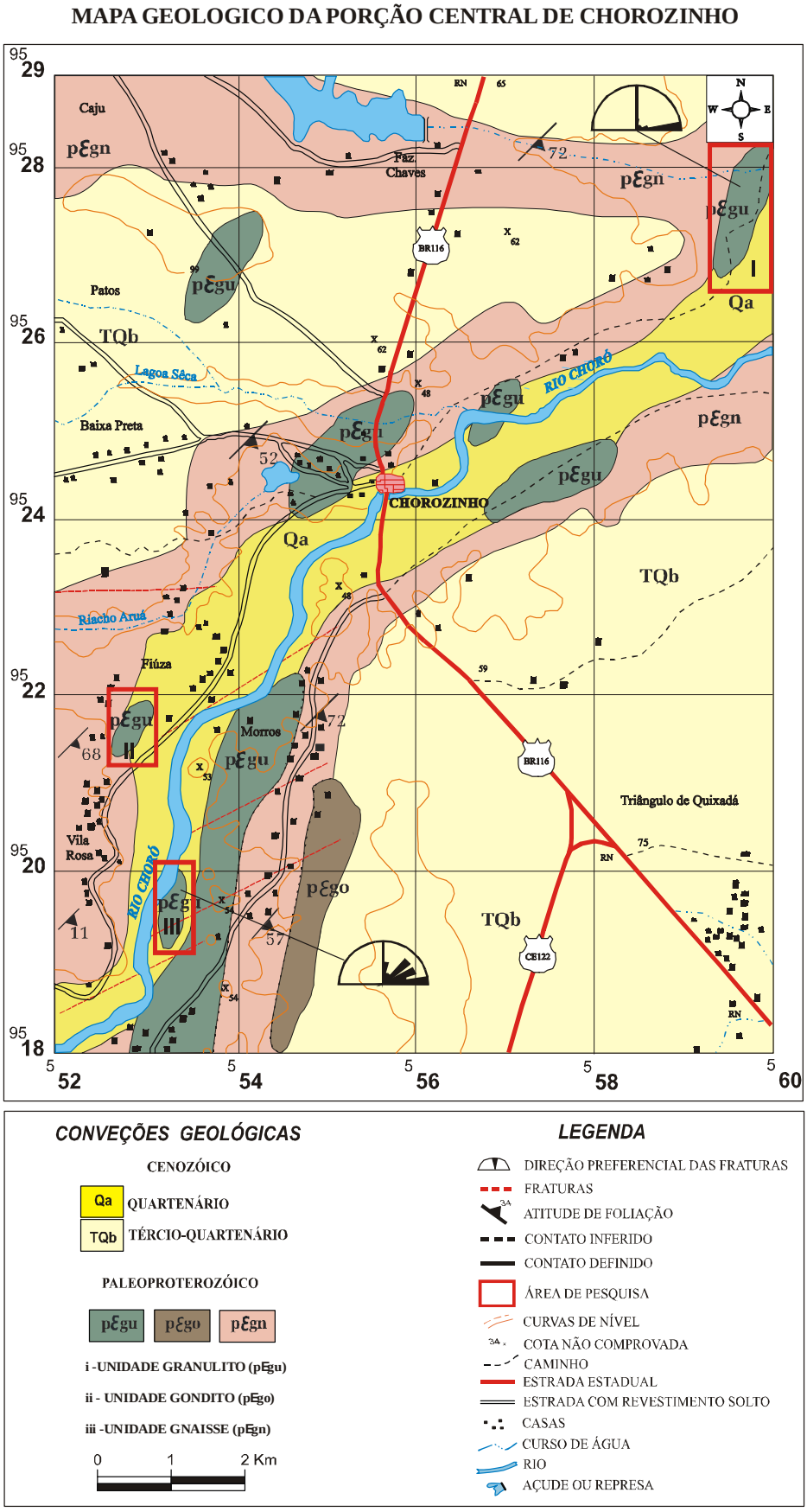


Figura 3.6: Mapa Geológico da região central de Chorozinho (Modificado de MORAES, 2000 e COSTA, 2003). Em destaque (vermelho) corpos enderbíticos estudados

Aspectos gerais das ocorrências dos gnaisses enderbíticos (Verde Choró)

Assim como na região de Granja, a região de Chorozinho não possui exploração dos gnaisses enderbíticos com a finalidade de comercialização de materiais para o setor de rochas ornamentais.

Os corpos estão dispostos na forma de maciços, com tamanhos que variam entre 50 e 500 m de extensão e alturas entre 5 e 15 metros. Em alguns locais ocorrem arrasados e matacões de médio a grande porte, dos quais foram retiradas, também sob a forma artesanal, as amostras para a caracterização tecnológica (figura 3.7).

Apresentam características qualitativas e quantitativas positivas para explotação e utilização como rochas ornamentais, mas requerem pesquisa em detalhe para seu melhor aproveitamento.

Para as regiões de Granja e Chorozinho, o levantamento geológico e a caracterização tecnológica dos materiais podem evitar o que ocorreu na área de exploração de Itapipoca, atualmente desativada sem motivo aparente, onde foi observado um grande desperdício de materiais por problemas de fraturamento, o que resultou no abandono de blocos.



Figura 3.7: Aspecto morfológico da área do Verde Choró, região de Chorozinho. Retirada das amostras para caracterização tecnológica dos materiais

CAPÍTULO 4

ANÁLISE PETROGRÁFICA

A mineralogia de uma rocha controla de forma marcante as suas propriedades físico-mecânicas e a sua susceptibilidade a alterações, dentre outros aspectos. Portanto, quanto mais diversificados os métodos usados na investigação mineralógica, melhores serão as interpretações dos resultados de caracterização, o que facilita a solução de problemas que por ventura venham a surgir antes, durante ou após a aplicação da rocha.

O estudo detalhado das características petrográficas se faz necessário frente ao grande número de problemas que surgem com a utilização dos materiais pétreos ornamentais e de revestimento.

Outro aspecto relevante diz respeito ao conhecimento da composição mineralógica de uma rocha, que possibilita o estabelecimento de relações com as suas características físico-mecânicas.

Os materiais utilizados nesta pesquisa, conforme anteriormente ressaltado, correspondem aos gnaisses enderbíticos aqui denominados: Verde Netuno – região de Itapipoca; Verde Santa Cruz – da região de Granja; e o Verde Choró – da região de Chorozinho, que, todavia, ainda não estão sendo comercializados.

4.1. CONCEITOS

As rochas estudadas neste trabalho são rochas metamórficas de alto grau, denominadas genericamente (“lato sensu”) granulitos, mais precisamente de gnaisses enderbíticos, que, na nomenclatura comercial dada às rochas ornamentais, fazem parte do grupo dos “granitos”.

Segundo Mehnert (1971), o termo granulito corresponde a “uma rocha metamórfica de granulação que varia de fina a média, composta, essencialmente, de feldspatos, com ou sem quartzo, em que os minerais ferromagnesianos são, predominantemente, anidros. A sua textura é, principalmente, granoblástica e a estrutura varia de gnáissica a maciça. Alguns granulitos contêm grãos ou agregados lenticulares de quartzo. Granulito é uma rocha do fácies granulito".

Granulito pode ser definido, portanto, como uma rocha metamórfica de qualquer composição e que, sabidamente, foi metamorfizada no fácies granulito do metamorfismo

regional (altas temperaturas e pressões desde médias até altas, quando transiciona para o fácies eclogito), e que mantem indícios texturais e mineralógicos deste metamorfismo de alto grau.

Enderbito é o termo aplicado para rocha ígnea, equivalente ao hiperstênio tonalito. É um charnockito rico em plagioclásio, apresentando composição granítica (STRECKEISEN, 1974).

O termo gnaisse enderbítico designa uma rocha estruturada como gnaisse e com as características mineralógicas e composicionais de um enderbito.

4.2. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

Os gnaisses enderbíticos das áreas pesquisadas foram analisados sob o ponto de vista das suas composições mineralógicas e de seus aspectos texturais. Com relação à textura, foram estabelecidos os tipos de contatos entre os grãos, o grau de alteração e o grau de microfissuramento, objetivando fornecer parâmetros de correlação com o seu comportamento físico-mecânico.

A composição mineralógica modal dos três litotipos estudados encontra-se representada no gráfico da figura 4.1.

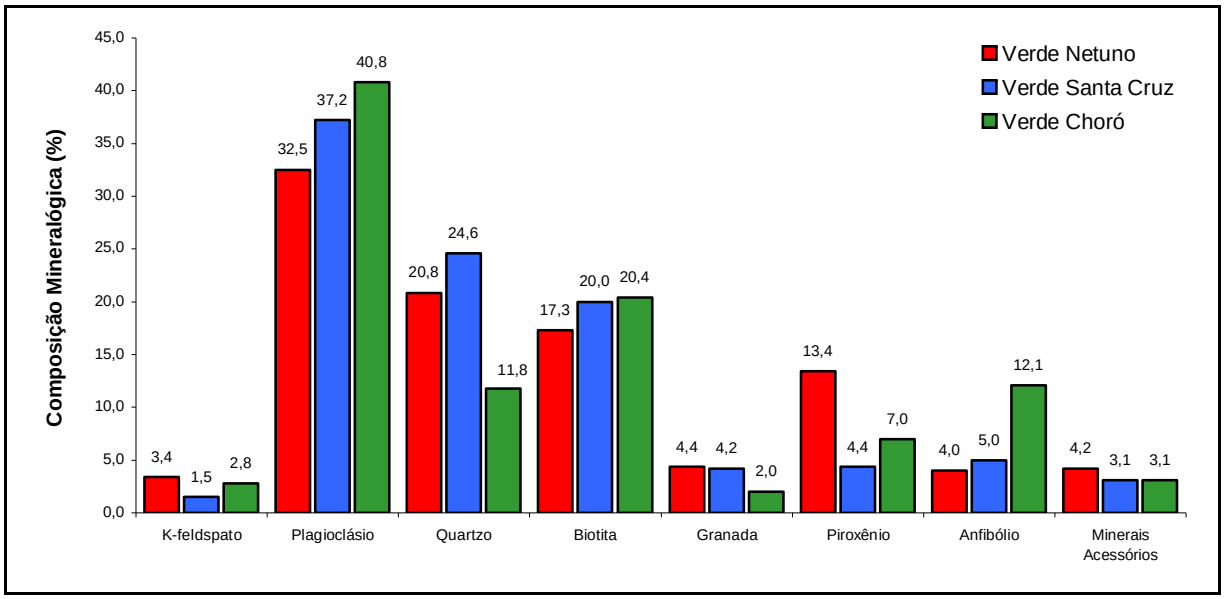


Figura 4.1: Proporção mineralógica dos constituintes dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Com base na composição modal as rochas estudadas na presente pesquisa são classificadas no diagrama QAP para rochas charnockíticas (STRECKEISEN, 1974), como rochas ortoderivadas denominadas de hiperstênio tonalito, termo específico do enderbito (campo 5 do diagrama) (figura 4.2).

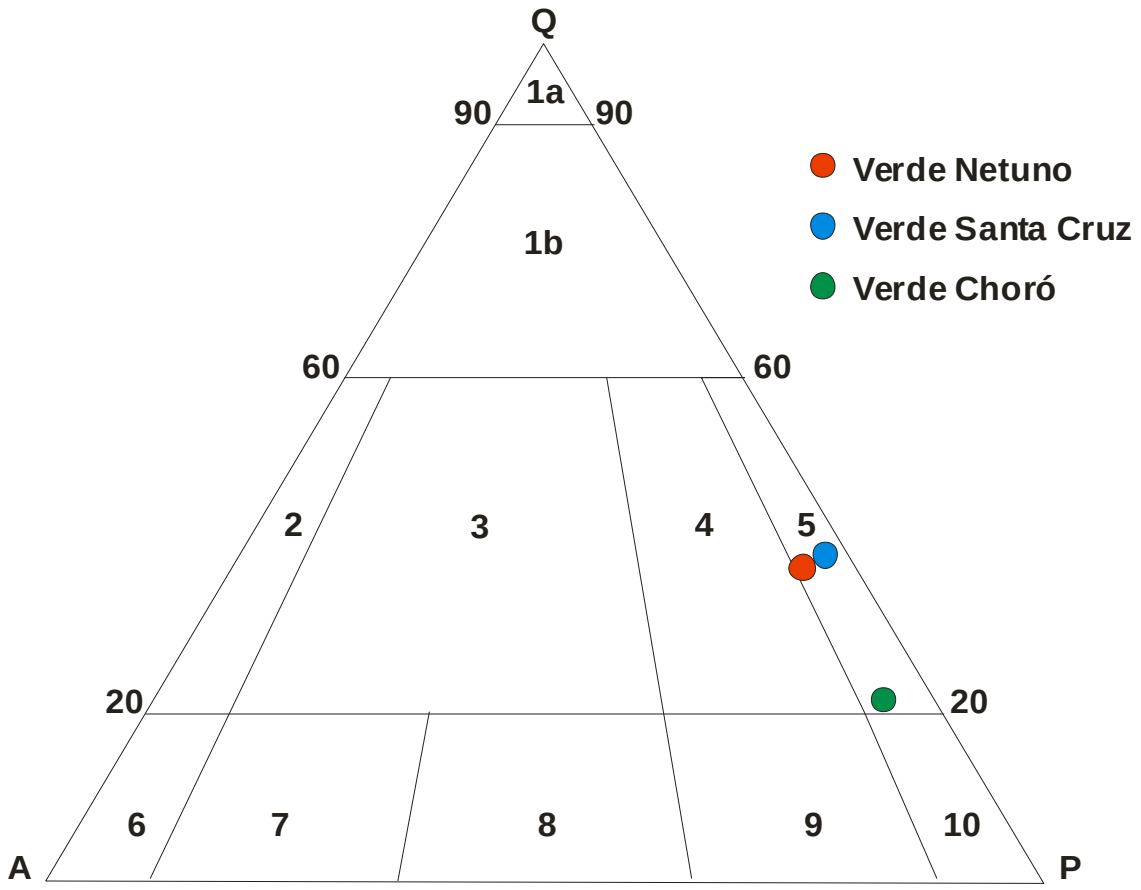


Figura 4.2: Diagrama QAP para gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará com a classificação para rochas charnockíticas (STRECKEISEN, 1974)

As principais características petrográficas determinadas na análise macro e microscópicas encontram-se resumidas na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Síntese petrográfica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará.

AMOSTRA / PARÂMETROS		Verde Netuno	Verde Santa Cruz	Verde Choró
Cor no estado seco		Grafite a esverdeada	Cinza a esverdeada	Grafite
Cor no estado úmido		Esverdeada	Cinza escuro	Verde escuro
Estruturas		Marcada por minerais planares	Levemente bandada	Levemente bandada
Textura		Granoblástica inequigranular	Granoblástica inequigranular	Granoblástica inequigranular
Granulação		Média (>3-7mm)	Média-fina (1-3mm)	Média-fina a média (1-7mm)
Natureza da rocha		Ortoderivada	Ortoderivada	Ortoderivada
Classificação da rocha		Gnaisse enderbítico	Gnaisse enderbítico	Gnaisse enderbítico
Minerais acessórios		zircão, apatita e opacos (4,2%)	zircão, apatita e opacos (3,1%)	zircão, apatita, titanita e opacos (3,1%)
IME-Índice de Minerais Escuros (Bi+Gr+Px+Anf+Min Acess)		43,3%	36,70%	44,60%
Composição Modal (FK+Pl+Qz)		56,7%	63,30	55,4%
% Feldspato Potássico (Kfl)		**3,4**	**1,5**	**2,8**
Contato côncavo-serrilhado (%)		70	80	70
Contato plano-lobular (%)		30	20	30
Grau de alteração (classes)		1	1	1
% Plagioclásio (Pl)		**32,5**	**37,2**	**40,8**
Contato côncavo-serrilhado (%)		60	60	10
Contato plano-lobular (%)		40	40	90
Grau de alteração (classes)		1	1	1-2
% Quartzo (Qz)		**20,8**	**24,6**	**11,8**
Contato côncavo-serrilhado (%)		90	50	40
Contato plano-lobular (%)		10	50	60
% Biotita (Bi)		**17,3**	**20,0**	**20,4**
Contato plano (%)		40	-	30
Contato plano-serrilhado (%)		40	10	10
Contato côncavo-serrilhado (%)		20	-	82
Contato plano-lobular (%)		-	90	60
Grau de alteração (classes)		3	2	1
% Granada (Gr)		**4,4**	**4,2**	**2,0**
Contato côncavo-serrilhado (%)		100	100	100
Grau de alteração (classes)		3	2-3	3
% Piroxênios (Px)		**13,4**	**4,4**	**7,0**
Contato irregular-serrilhado (%)		-	10	-
Contato plano-serrilhado (%)		30	-	-
Contato côncavo-serrilhado (%)		20	50	80
Contato plano-lobular (%)		50	40	20
Grau de alteração (classes)		2-3	2-3	1
% Anfibólios (Anf)		**4,0**	**5,0**	**12,1**
Contato irregular-serrilhado (%)		80	-	-
Contato plano-serrilhado (%)		20	-	-
Contato côncavo-serrilhado (%)		-	80	70
Contato plano-lobular (%)		-	20	30
Grau de alteração (classes)		2-3	2-3	1
Microfissuras/mm²	**Intergrão**	0,14	0,00	0,07
	Intragrão	2,05	2,26	3,60

4.2.1. VERDE NETUNO – GNAISSE ENDERBÍTICO DA REGIÃO DE ITAPIPOCA

A rocha apresenta-se bastante tectonizada (Prancha II - figura 01), mostrando processos de recristalização com recuperação em subgrãos, de quartzo, biotita, e feldspatos com deslocamento de maclas, extinção ondulante e fraturas. Em placa polida possui coloração de esverdeada a grafite (Prancha II - figura 02), granulação média com grãos variando de 3 a 7 mm, textura do tipo granoblástica inequigranular e foliação marcada pelos minerais planares. A associação mineral presente está representada por plagioclásio (32,5%); feldspato potássico (3,4%); quartzo (20,8%); biotita (17,3%); piroxênios (13,4%); anfibólio (4%); granada (4,4%), e tem como minerais acessórios apatita, minerais do grupo do epídoto, carbonatos, zircão e opacos (4,2%).

No plagioclásio (oligoclásio-andesina) se destacam os contatos côncavo-serrilhado e plano-lobular com maclas, do tipo lei da albita e, por vezes, algumas formas pertíticas. Também são encontrados megacristais de plagioclásios maclados. As microfissuras são evidentes e comumente acompanhadas por uma "massa de recristalização" intersticial, composta pelas alterações mais freqüentes, que resultam em sericita (ocorrendo principalmente onde há uma maior recristalização) (Prancha II - fotomicrografias 05 e 06).

O feldspato potássico encontrado é o ortoclásio, que ocorre em contato com o plagioclásio e/ou nas coroas de reação que envolvem granada, biotita e anfibólio. Quanto aos contatos, predomina o tipo côncavo-serrilhado, o que indica um bom entrelaçamento dos grãos.

O quartzo ocorre como agregados intersticiais, exibindo foliação resultante dos processos tectônicos, com extinção ondulante, bandas de deformação, estiramento de cristais e recristalização. Os contatos entre os grãos são de aproximadamente 90% do tipo côncavo-serrilhado, o que denota um bom entrelaçamento mineral (Prancha II - fotomicrografias 05 e 06).

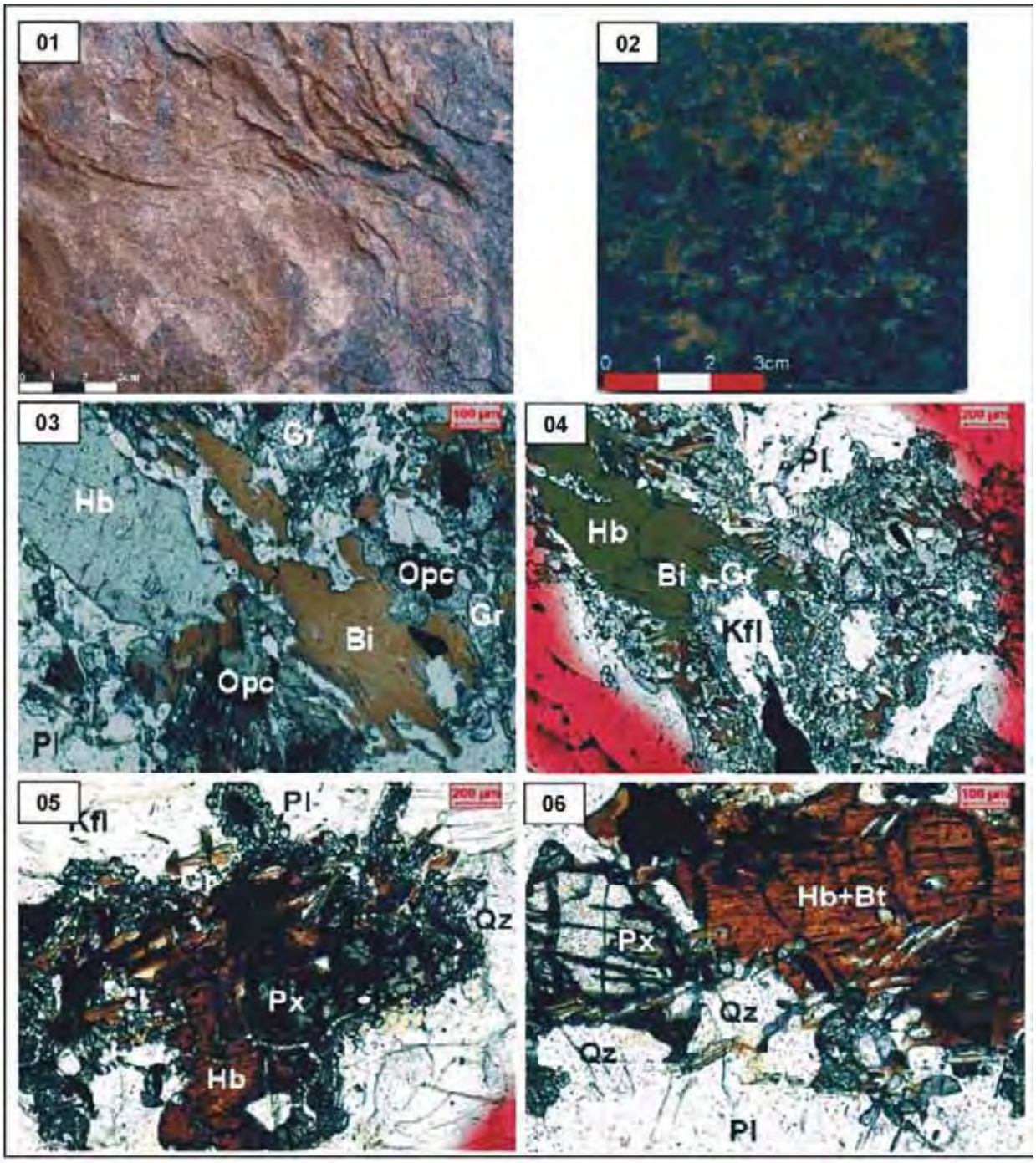
A biotita apresenta-se como agregados lamelares pardo-amarronzados, juntamente com o quartzo e feldspato, determinando a foliação tectônica, em íntima associação a relíctos de anfibólios e/ou como lamelas individuais em processos intermediários de cloritização (biotitas esverdeadas) (Prancha II - fotomicrografias 03 e 04).

Os piroxênios (clino e ortopiroxênios), por vez estão fraturados perpendicularmente aos planos principais de clivagem, que em sua maioria estão preenchidas por opacos e/ou biotita (Prancha II - fotomicrografia 06). Ocorrem geralmente em contato com o anfibólio, o plagioclásio e a granada.

O anfibólio (hornblenda) ocorre de forma semelhante aos piroxênios, com os planos de clivagem preenchidos predominantemente por biotitas. Sua cor varia de esverdeada a amarronzada (Prancha II - fotomicrografias 04 e 06). Em, sua maioria, estão formando coroas de reação que envolvem biotita, granada e feldspato. Apresentam aproximadamente 80% de seus contatos do tipo irregular-serrilhado.

A granada ocorre, em sua maioria, nas reações de desestabilização dos piroxênios e plagioclásios. Quando presente na forma de cristais, apresenta-se bastante fraturada.

O granulito Verde Netuno apresenta, de um modo geral, grau de alteração de fraco a médio. Nele predominam os contatos do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular. Foram observados microfissuramentos do tipo intergrãos na ordem de 0,14 microfissuras/mm². O tipo intragrão ocorre principalmente nos cristais de plagioclásio, quartzo, piroxênio e anfibólio, que se encontram, em sua maioria, fechados ou preenchidos por materiais sericítico, biotítico e quartzoso, resultando na ordem de 2,05 microfissuras/mm².



PRANCHA II: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Netuno. (01) Aspecto macroscópico; (02) Placa polida; (03) Biotitas (Bi) de cor amarronzada, delineando a foliação - observação com luz natural; (04) Hornblenda (Hb) associada à biotita (Bi) à granada (Gr) e ao feldspato (Kfl) - observação com luz natural; (05) Coroa de reação de granada (Gr) envolvendo piroxênio (Px), hornblenda (Hb) e biotita (Bi) – observação com luz natural; (06) Relação de contato do piroxênio (Px), do quartzo (Qz), do plagioclásio (Pl) e da hornblenda (Hb) com clivagem preenchida por biotita (Bi) - observação com luz natural

4.2.2. VERDE SANTA CRUZ – GNAISSE ENDERBÍTICO DA REGIÃO DE GRANJA

Os gnaisses enderbíticos da Região de Granja também apresentam relações pretéritas de intrusão com os gnaisses paraderivados. O contato entre os mesmos está fortemente obliterado por efeito da deformação, o que aufere aos gnaisses enderbíticos disposição geométrica em corpos lenticulares, com dimensões de aproximadamente 1 km de comprimento por 0,4km de largura. Macroscopicamente, apresentam granulação média-fina com grãos que variam de 1 a 3 mm e cor que varia de verde escuro a cinza (Prancha III - foto 01). A textura dos enderbitos é granoblástica inequigranular. Estrutura bandada não é rara. Quando presente, mostra uma fina alternância, com limites pouco marcados, entre faixas compostas por ortopiroxênio/clinopiroxênio + granada ± biotita ± hornblenda e quartzo-feldspáticas (Prancha III - fotomicrografias 02, 03 e 04) (NOGUEIRA NETO, 2000) e duas foliações pouco marcadas, com um ângulo de aproximadamente 135º entre si. A associação mineral presente está representada por plagioclásio (37,2%); feldspato potássico (1,5%); quartzo (24,6%); biotita (20,0%); piroxênio (4,4%); anfibólio (5,0%); granada (4,2%). Dentre os minerais acessórios estão o zircão, a apatita e os opacos, que correspondem a 3,1% da composição da rocha.

Os plagioclásios (oligoclásio-andesina) são os minerais mais abundantes. Comumente formam, com o quartzo, bandas félsicas nos enderbitos de foliação mais bem marcada, enquanto nos enderbitos de foliação pouco marcada formam mosaicos com o predomínio de contatos côncavo-serrilhado. Apesar das diferenças estruturais da rocha, o plagioclásio apresenta An_{30-35}, não diferindo na composição.

O feldspato potássico é encontrado apenas em pequenas lamelas, com intercrescimento anti-pertítico com o plagioclásio. Apenas foram quantificados 1,5% de feldspato-K e 80% destes apresentavam contatos do tipo côncavo-serrilhado.

Quanto ao quartzo constituinte das bandas, muitas vezes se dispõem em *ribbons* de orientação concordante ou incipientemente, oblíqua à foliação. Em meio ao mosaico apresenta, por vezes, agregados recristalizados emoldurando grãos maiores do próprio quartzo e/ou plagioclásio.

A biotita apresenta-se na forma prismática exibe pleocroísmo de cor marrom a avermelhada, o que indica elevado teor de Ti em sua composição. Predominam os contatos do tipo plano-lobular. Ocorre associada aos opacos e em conjunto aos anfibólios e piroxênios, formando uma foliação pouco pronunciada (Prancha III - fotomicrografias 03 e 04).

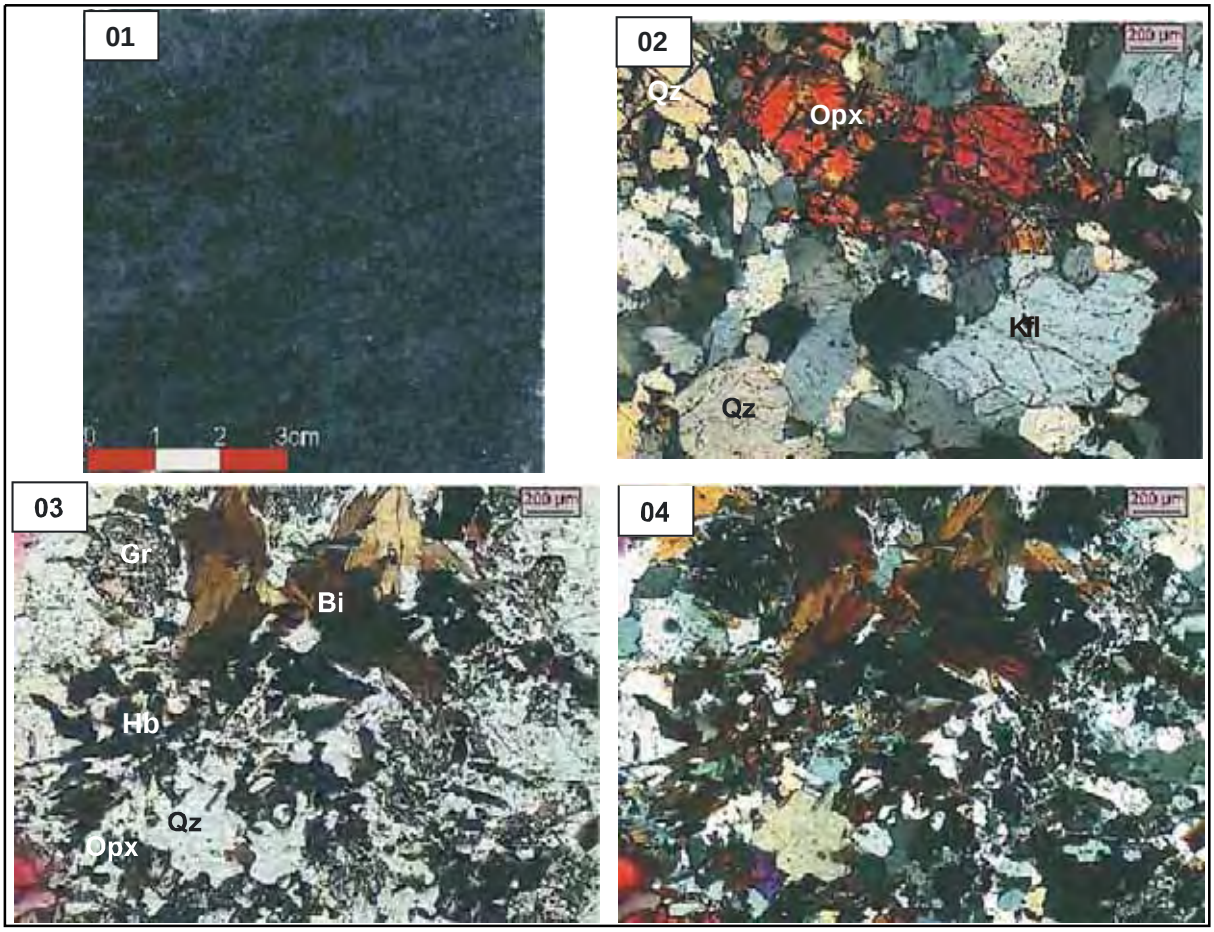
Os piroxênios (orto e clinopiroxênios) são encontrados individualmente e compondo a textura planar discreta da rocha. Apresentam-se em contatos com granada, anfibólio e/ou biotita, predominando os contatos dos tipos côncavo-serrilhado e plano-lobular. Apresentam concentrações ferruginosas em seus planos de clivagem. Encontram-se bastante microfissurados, com um grau de alteração de médio a forte, por vez alterando para hornblenda (Prancha III - fotomicrografias 02).

O anfibólio (hornblenda), usualmente em contato com o piroxênio, se desenvolve em meio às fraturas, clivagens e/ou nas bordas daquele mineral, predominando os contatos do tipo côncavo-serrilhado. Por vezes, encontram-se alterados para biotita, com um grau de alteração de médio a forte.

A granada, em sua maioria, exibe textura de desestabilização. Nessa textura, simplectitos e lamelas constituídas por ortopiroxênio e plagioclásio parecem surgir às expensas das granadas. Por vezes, apresentam-se bordejando parcialmente o plagioclásio e os piroxênios, exibindo o consumo quase total da granada.

Conforme Nogueira Neto (2000), feições como simpléctitos e lamelas constituídas de ortopiroxênio e plagioclásio, originadas a expensas de granada, e bordas de ortopiroxênio em clinopiroxênio, nos gnaisses enderbíticos e granulitos máficos da região de Granja, demonstram trajetória metamórfica por descompressão isotérmica (ITD), Outrossim, texturas formadas por molduras de granada em plagioclásio e ortopiroxênio/clinopiroxênio, nas mesmas rochas, indicam resfriamento isobárico (IBC). Dessa forma, a trajetória ITD pode representar um estágio inicial, associado aos mecanismos tectônicos de soerguimento rápido (tectônica tangencial/transpressional), seguida de arrefecimento (IBC) em níveis crustais menos profundos (tectônica transcorrente).

Em geral, o gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz apresenta grau de alteração médio. Os contatos predominantes são dos tipos côncavo-serrilhado e plano-lobular. Não foi observado microfissuramento do tipo intergrãos e o do tipo intragrão ocorre principalmente nos cristais de plagioclásio, mineral mais abundante na rocha. Normalmente essas microfissuras se encontram preenchidas por material sericítico e as dos piroxênios estão preenchidas por biotita, que atingem níveis elevados, resultando na ordem de 2,26 microfissuras/mm².



PRANCHA III: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Santa Cruz. (01) Aspecto macroscópico (placa polida); (02) O piroxênio é encontrado individualmente e compondo a textura planar discreta da rocha; (03) Simplectitos e lamelas constituídas de ortopiroxênio (Opx) e plagioclásio (Pl), originadas a expensas de granada (Gr), e bordas de ortopiroxênio (Opx) em clinopiroxênio (Cpx) - observação com luz natural; (04) Mesma feição da fotomicrografia 03 - observação Nicol Cruzado (NC)

4.2.3. VERDE CHORÓ – GNAISSE ENDERBÍTICO DA REGIÃO DE CHOROZINHO

Ocorrem sob a forma de maciços que variam entre 50 e 500 metros de extensão, com de 5 a 15 metros de altura. Em alguns locais ocorrem arrasados, apresentando predominantemente forma elipsoidal. Correspondem a granulitos de composição intermediária, guardando relações de intrusões pretéritas com rochas paraderivadas (silimanita-granada-gnaisses). Macroscopicamente, apresenta estrutura de isotrópica a levemente foliada. Esta, por vezes, apresenta-se recortada por uma segunda foliação, cor de verde escura a grafite e tem granulação de média-fina a média, ou seja, os grãos variam de 1 a 7mm (Prancha IV - figura 01). Ao microscópio, exibem textura granoblástica inequigranular, com associação mineral plagioclásio (40,8%); feldspato potássico (2,8%); quartzo (11,8%); biotita (20,4%); piroxênio (7,0%); anfibólio (12,1%); granada (2,0%) (Prancha IV - fotomicrografias 02). Os minerais acessórios presentes são zircão, titanita, apatita e opacos (3,1%).

Os plagioclásios (oligoclásio-andesina) são os minerais mais abundantes na rocha. Em alguns cristais observam-se inclusões vermiculares de quartzo junto às bordas, em outros plagioclásios o quartzo é encontrado sob a forma de gotas mais ao centro. Apresenta subgrãos exibindo geminação segundo a lei Albita-Carlsbad (Prancha IV - fotomicrografias 03, 04 e 05).

O feldspato potássico, por vezes, forma intercrescimento pertítico e mirmequitas. Ocorrem freqüentemente microfissuramentos com preenchimento por mica branca. São observados ainda processos que envolvem recristalização com contatos em subgrãos, bem como deformações em geminações.

O quartzo está disperso por toda a seção sob a forma intersticial, ou em discretas bandas e na forma de mosaicos granoblásticos. São pouco fraturados e registram extinção ondulante marcante (Prancha IV - fotomicrografias 05 e 07).

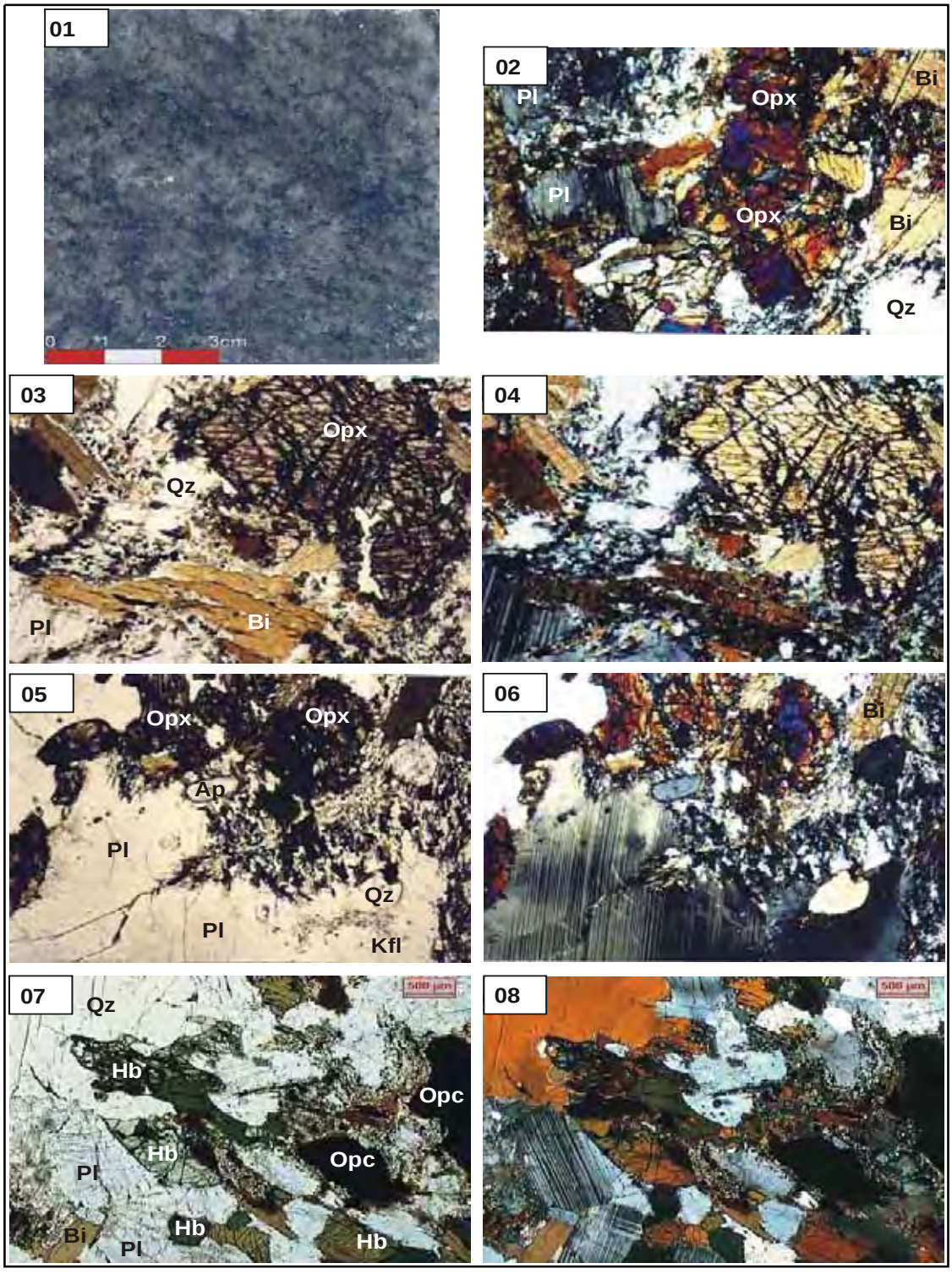
Os piroxênios geralmente possuem bordas de alteração, originando anfibólios (hornblendas). Os ortopiroxênio (hiperstênio) apresentam-se distribuídos na forma de grãos bem desenvolvidos e bastante fraturados, envolvendo reações que sugerem dar origem à biotita, uma vez que estas podem ser visualizadas ao centro do ortopiroxênio, e por sua vez, este último em relações de contato nas bordas das biotitas, como que desequilibrando as mesmas (Prancha IV - fotomicrografias 02, 03 e 05). Os clinopiroxênio representados pelo diopsídio apresentam cores de interferência e birrefringência mais acentuadas do que os ortopiroxênios e ocorrem como cristais tabulares.

A biotita apresenta-se em grãos de hábito lamelar, com inclusões de apatita e zircão. Em sua maioria, as biotitas mostram cor e pleocroísmo característicos de cristais ricos em titânio (vermelho – marrom) e possuem pouca orientação. Como mencionado anteriormente, a disposição de suas relações de contato com o ortopiroxênio sugere uma fase de metamorfismo progressivo, com surgimento das biotitas em reações que envolvem ortopiroxênio.

Os anfibólios (hornblenda) ocorrem em contato com as biotitas e os plagioclásio, e apresentam cor que varia de verde a amarronzada e pleocroísmo em tons de marrom (Prancha IV - fotomicrografias 07). Por algumas vezes, aparecem dispostos entre as fraturas e/ou clivagens do orto e clinopiroxênio, o que sugere sua geração a partir destes.

As granadas apresentam-se bastante fraturadas, são dispersas e ocorrem em reações de desestabilização, envolvendo biotita, anfibólio, piroxênio e plagioclásio.

Em sua totalidade, o gnaisse enderbítico Verde Choró apresenta grau de alteração fraco a médio. Nele predominam os contatos do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular. Os microfissuramentos do tipo intergrão são pouco pronunciados, com freqüência de 0,07 microfissuras/mm². As fissuras do tipo intragrão ocorrem principalmente nos cristais de quartzo, plagioclásio, piroxênio, anfibólio e granada e normalmente se encontram soldadas por material sericítico, biotita e, mais raramente, por quartzo. Quantificadas todas as fissuras independentes do tamanho e tipo, resultaram na ordem de 3,6 microfissuras/mm².



PRANCHA IV: Aspectos Petrográficos do Gnaisse Enderbítico Verde Choró. (01) Aspecto macroscópico (placa polida); (02) Enderbito exibindo textura granoblástica inequigranular. Ao centro ortopiroxênio (Opx) circundado por plagioclásio (Pl) e biotita (Bi) - observação Nicol Cruzado (A=5X); (03) Associação mineral de ortopiroxênio (Opx), plagioclásio (Pl), biotita (Bi), quartzo (Qz) e feldspato (Kfl) com luz natural (A=5X); (04) observação com Nicol Cruzado (A=5X); (05) Reações de desestabilização da granada envolvendo biotita, anfibólio, piroxênio e plagioclásio e feldspato - com luz natural A=5X; (06) observação com Nicol Cruzado (A=5X); (07) Hornblenda de cor verde amarronzada compondo a foliação - com luz natural; (08) observação com Nicol Cruzado

CAPÍTULO 5

QUÍMICA MINERAL

As análises químicas minerais foram obtidas por microssonda eletrônica, visando a um melhor entendimento acerca das reações metamórficas presentes e dos processos de alteração.

Os minerais analisados nos três litotipos corresponderam a 25 pontos em biotita, 27 pontos em granada, 26 pontos em anfibólio, 35 pontos em piroxênio, 48 pontos em feldspato/plagioclásio e 8 pontos em óxido/opaco.

Os cálculos das fórmulas estruturais obedeceram aos seguintes parâmetros: biotitas – base de 22 oxigênios (DEER *et al*., 1972); granadas – base de 8 cátions, 12 oxigênios e proporções Fe^{+2} e Fe^{+3} (KNOWLES, 1987), com membros finais das granadas conforme Rickwood (1968); anfibólios – com 15 cátions e 23 oxigênios (ROBINSON *et al.*, 1981); piroxênios – com 4 cátions e 6 oxigênios (CAWTHORN e COLLERSON, 1974) classificação de Morimoto (1988); feldspatos – base de 32 oxigênios (DEER *et al*.,1966); plagioclásios – com 32 oxigênios (DEER *et al.*, 1966); ilmenita e rutilo, respectivamente com 9 e 10 oxigênios.

BIOTITA

As biotitas, nos três (3) gnaisses enderbíticos estudados, ocorrem dispersas e, em geral, apresentam orientação. Em sua maioria, estão em contato com os anfibólios e, eventualmente, com os piroxênios. Possuem cor marrom avermelhada, típica de biotitas titaníferas, cujos teores em TiO_2 variam entre 2,7 e 5,6%.

Em relação aos teores de FeO e MgO, são bastante distintas, podendo ser classificadas como ferríferas as do Verde Netuno (17,64-23,44 e 7,92-11,95) e as do Verde Santa Cruz (19,90-21,71 e 9,07-10,52) e como magnesianas as do Verde Choró (12,9-15,67 e 13,83-15,81).

As razões Fe/[(Fe+Mg)], conforme demonstra o diagrama de Al^{IV} vs. Fe/[(Fe+Mg)] da solução sólida flogopita-anita-eastonita-siderofilita (DEER *et al.*, 1972), variam entre 0,29 e 0,60, definindo um *trend* dado pelas biotitas componentes do Verde Choró mais próximas à extremidade da flogopita-eastanita, as do Verde Netuno com tendência à extremidade da anita

e as do Verde Santa Cruz ocupando posição intermediária entre flogopita e anita. Para o Verde Choró, também pode ser observada uma correlação negativa entre Al^{IV} vs. Fe/[(Fe+Mg)] (figura 5.1).

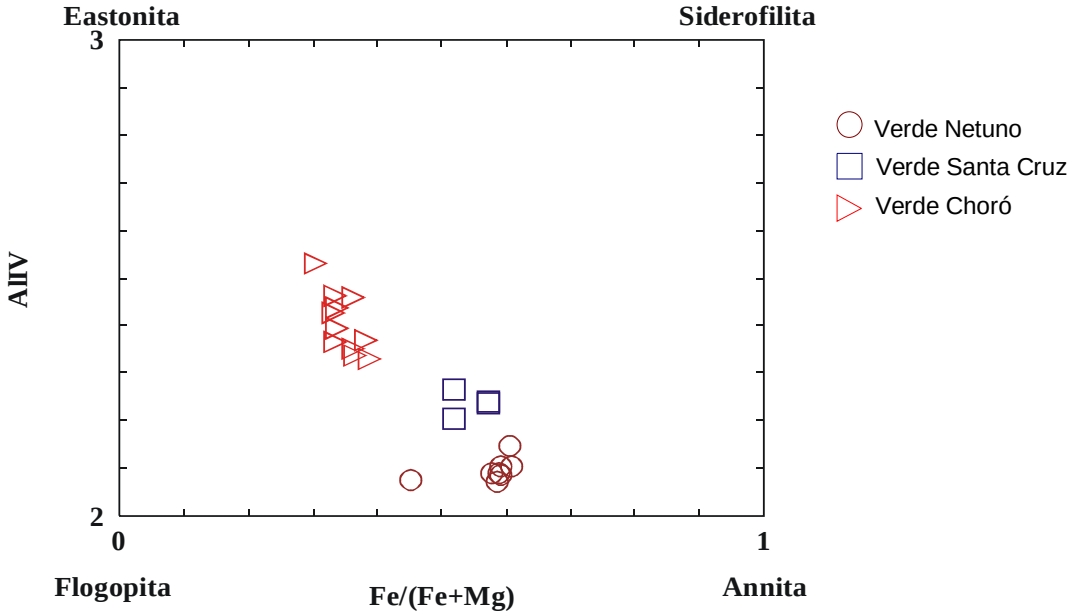


Figura 5.1: Classificação para as biotitas dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará de acordo com Deer *et al.*, (1972)

As fórmulas químicas das biotitas do Verde Netuno, do Santa Cruz e do Choró, representadas, respectivamente, por: $Si_{(5,851\ –\ 6,308)}$ $Al^{IV}_{(1,698\ –\ 2,149)}$ $Al^{VI}_{(0,377\ –\ 0,547)}$ $Ti_{(0,382\ –\ 0,603)}$ $Fe^{+2}_{(2,395\ –\ 3,191)}$ $Mg_{(1,905\ –\ 2,891)}$ $Ca_{(0,000\ –\ 0,965)}$ $Na_{(0,009\ –\ 0,202)}$ $K_{(1,110\ –\ 1,911)}$ O_{20} $(OH)_4$; $Si_{(5,734\ –\ 5,795)}$ $Al^{IV}_{(2,205–\ 2,266)}$ $Al^{VI}_{(0,324\ –\ 0,542)}$ $Ti_{(0,568\ –\ 0,694)}$ $Fe^{+2}_{(2,696\ –\ 2,988)}$ $Mg_{(2,238\ –\ 2,508)}$ $Ca_{(0,000\ –\ 0,010)}$ $Na_{(0,000\ –\ 0,005)}$ $K_{(1,881\ –\ 2,041)}$ O_{20} $(OH)_4$ e $Si_{(5,281\ –\ 5,470)}$ $Al^{IV}_{(2,329\ –\ 2,530)}$ $Al^{VI}_{(0,000\ –\ 0,030)}$ $Ti_{(0,077\ –\ 0,460)}$ $Fe^{+2}_{(1,582–\ 1,908)}$ $Mg_{(3,009\ –\ 3,610)}$ $Ca_{(0,000\ –\ 0,023)}$ $Na_{(0,003\ –\ 0,018)}$ $K_{(1,669\ –\ 1,789)}$ O_{20} $(OH)_4$ (Apêndice A - Tabela 5.1).

A coexistência da biotita com outros minerais, para fins de avaliação do efeito de compatibilidade petrogenética, pode ser observada pelo diagrama FeO-MgO-Al_2O_3 (NOCKOLDS, 1974), que delimita quatro campos distintos para a coexistência da biotita (figura 5.2).

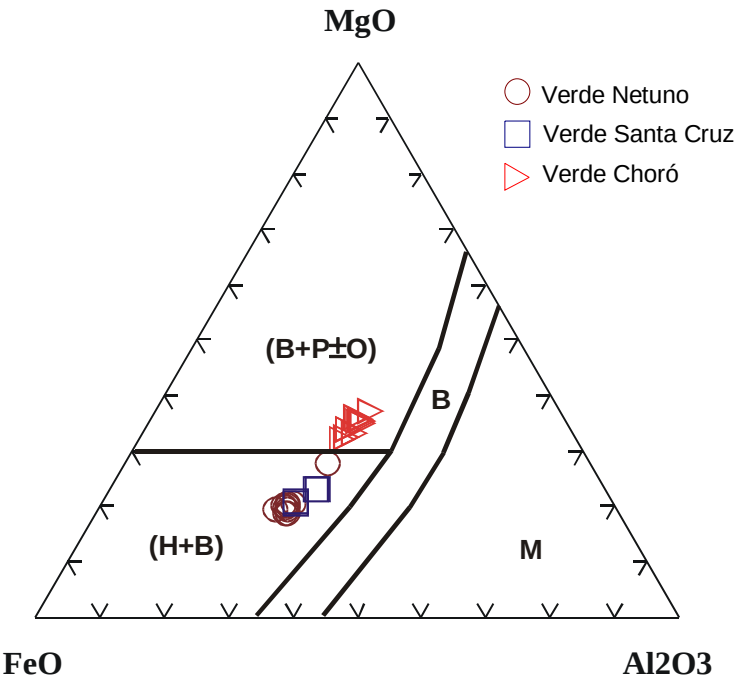


Figura 5.2: Classificação das biotitas dos gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará, de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al_2O_3 (NOCKOLDS, 1974). Símbolos: M - muscovita; B - biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina; e H+B – hornblenda e biotita

Para os litotipos analisados, as biotitas do Verde Netuno e do Santa Cruz estão situadas no campo de coexistência com as hornblendas. Isso condiz com as reações verificadas em lâminas, em que as biotitas ocorrem preenchendo os planos de clivagem e intimamente associadas a relíctos de anfibólios. Já as do Verde Choró estão situadas no campo de coexistência com os piroxênios e olivinas. A disposição de suas relações de contato com o ortopiroxênio sugere uma fase de metamorfismo progressivo, com surgimento das biotitas em reações que envolvem ortopiroxênio.

GRANADA

As granadas denotam reações de desestabilização e freqüentemente se apresentam fraturadas. Os componentes dos termos finais da solução sólida nas granadas tanto do Verde Netuno, quanto do Santa Cruz e do Verde Choró apresentam predominância em almandina (figura 5.3 A e B) e, de uma maneira geral para o conjunto estudado, correspondem

respectivamente a: almandina $_{(65,145\ -\ 67,383)}$ - grossulária $_{(16,025\ -\ 18,744)}$ – piropo $_{(6,398\ -\ 9,078)}$ – espessartita $_{(3,328\ -\ 4,145)}$; e almandina $_{(62,566\ -\ 62,999)}$ - grossulária $_{(15,200\ -\ 15,293)}$ – piropo $_{(12,540\ -\ 14,742)}$ – espessartita $_{(2,286\ -\ 4,310)}$ e almandina $_{(58,803\ -\ 65,351)}$ - grossulária $_{(9,732\ -\ 23,515)}$ – piropo $_{(10,018\ -\ 27,310)}$ – espessartita $_{(2,029\ -\ 5,379)}$.

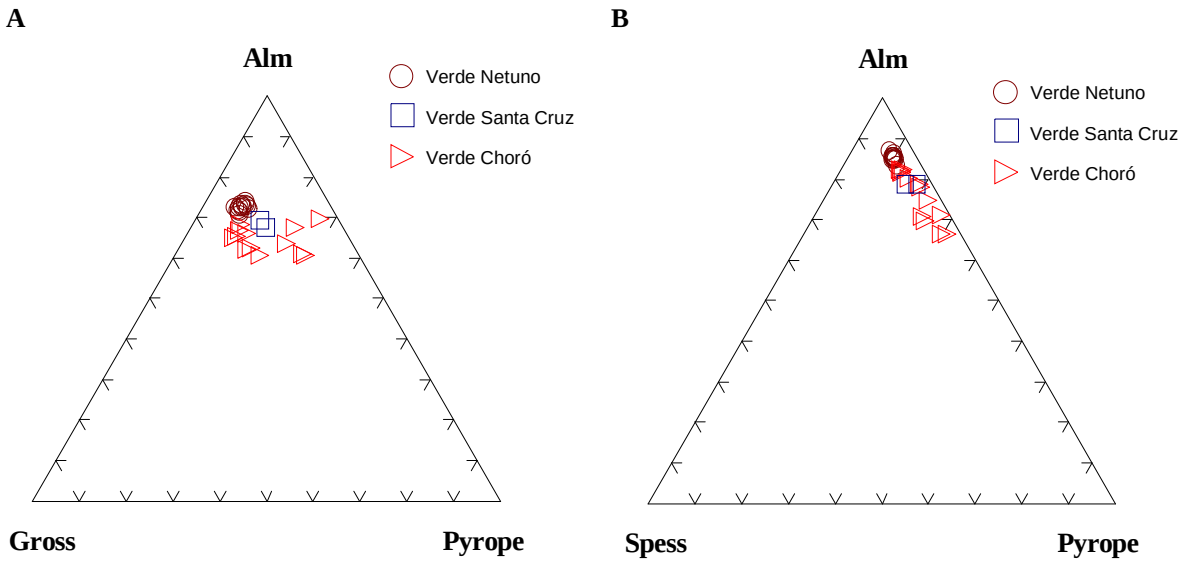


Figura 5.3: (A) Proporções dos membros finais de almandina-piropo-grossulária e (B) almandina-piropo-espessartita para os gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará, de acordo com Knowles, (1987)

As proporções em piropo são pouco significativas, pois refletem uma tendência mais magnesiana que cálcica, principalmente das granadas do Verde Choró.

As relações entre as frações molares de $X_{Fe(0,651\ -\ 0,677)}$ - $X_{Mg(0,064\ -\ 0,091)}$ e $X_{Ca(0,209\ -\ 0,234)}$ - $X_{Mg(0,064\ -\ 0,091)}$; de $X_{Fe(0,626\ -\ 0,630)}$ - $X_{Mg(0,125\ -\ 0,147)}$ e $X_{Ca(0,201\ -\ 0,204)}$ - $X_{Mg(0,125\ -\ 0,147)}$; e de $X_{Fe(0,589\ -\ 0,658)}$ - $X_{Mg(0,082\ -\ 0,273)}$ e $X_{Ca(0,097\ -\ 0,235)}$ - $X_{Mg(0,082\ -\ 0,273)}$, respectivamente do Verde Netuno, do Santa Cruz e do Choró, mostram correlação linear negativa consistente (figura 5.4 A e B), ou seja, as relações entre $[X_{Fe}]$ e $[X_{Mg}]$ são inversamente proporcionais, e a fração molar de $[X_{Ca}]$ para o primeiro grupo de dados parece constante com o aumento dos valores de $[X_{Mg}]$. As frações molares de $X_{Ca(0,209\ -\ 0,234)}$ – $X_{Fe(0,651\ -\ 0,677)}$; de $X_{Ca(0,201\ -\ 0,204)}$ – $X_{Fe(0,626\ -\ 0,630)}$; e de $X_{Ca(0,097\ -\ 0,235)}$ – $X_{Fe(0,589\ -\ 0,658)}$ apresentam aparente correlação positiva (figura 5.4C). Todos os conjuntos dessas correlações refletem as substituições isomórficas das posições metálicas (octaédricas), o que indica uma tendência um pouco mais cálcio-magnesiana para as granadas do Verde Choró, e algo mais ferro-cálcica do Verde Netuno.

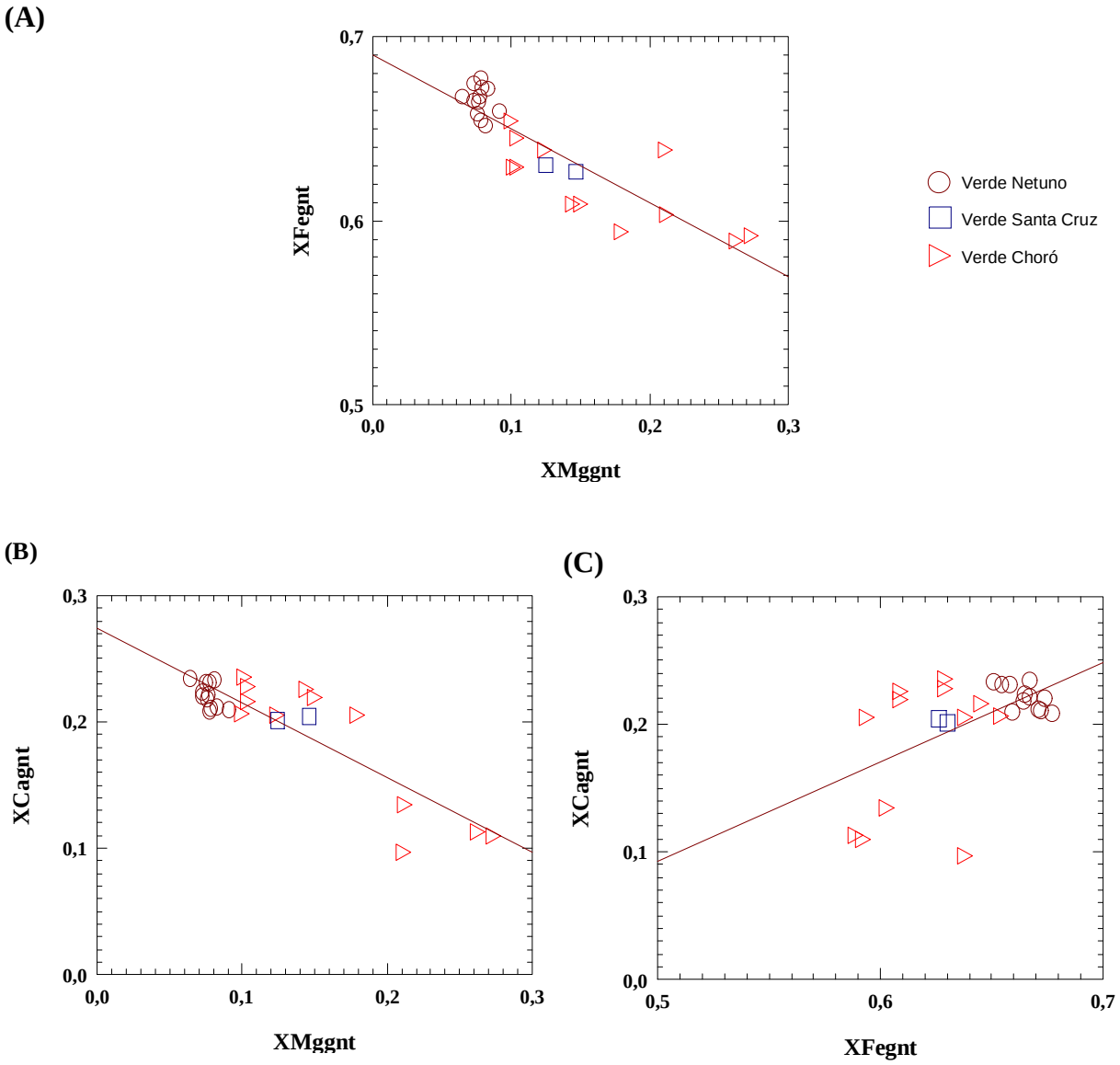


Figura 5.4: Diagramas das frações molares. A) X_{Fe}-X_{Mg}; B) X_{Ca}-X_{Mg} e C) X_{Ca}-X_{Fe}, para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Observa-se que, embora os valores das frações molares (X_{Fe}, X_{Mg}, X_{Ca}) relativos aos litotipos estudados sejam diferenciados, por serem de maciços diferentes, seguem tendências similares nas diversas relações abordadas. As fórmulas estruturais das granadas, estabelecidas para os gnaisses enderbíticos Verde Netuno, Santa Cruz e Choró, têm, respectivamente os seguintes parâmetros: $Si_{(3,002 - 3,030)}$ $Al^{VI}_{(1,971 - 2,036)}$ $Ti_{(0,000 - 0,005)}$ $Fe^{+2}_{(1,861 - 1,948)}$ $Mg_{(0,184 - 0,263)}$ $Mn_{(0,098 - 0,118)}$ $Ca_{(0,600 - 0,672)}$ $Na_{(0,000)}$ O_{12}; $Si_{(2,949 - 2,973)}$ $Al^{VI}_{(0,027 - 0,051)}$ $Ti_{(0,000 - 0,005)}$ $Fe^{+2}_{(1,886 - 1,888)}$ $Mg_{(0,375 - 0,445)}$ $Mn_{(0,069 - 0,129)}$ $Ca_{(0,603 - 0,616)}$ $Na_{(0,00)}$ O_{12}; e $Si_{(2,906 - 3,077)}$ $Al^{VI}_{(1,918 - 1,994)}$

$Ti_{(0,000 - 0,011)}$ $Fe^{+2}_{(1,752 - 1,965)}$ $Mg_{(0,244 - 0,808)}$ $Mn_{(0,062 - 0,160)}$ $Ca_{(0,289 - 0,721)}$ $Na_{(0,000 - 0,019)}$ O_{12} (Apêndice A - Tabela 5.2).

ANFIBÓLIO

Os anfibólios analisados foram classificados conforme as relações BCa+BNa vs BNa de Hawthorne (1981) e situaram-se no campo dos anfibólios cálcicos, com BCa+BNa próximo ou igual a 2,0 (figura 5.5A). Considerando ainda essa classificação, pelas relações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, (ANa + AK) > 0,50, Ti < 0,50 e $Fe^{+3} < Al^{VI}$, as amostras estão posicionadas, em sua maioria, como hornblenda pargasítica ferrosa e/ou hornblenda edenítica principalmente as do Verde Choró (figura 5.5B).

Conforme Raase (1974), o conteúdo de Ti no sítio "C" da estrutura (posição metálica) em hornblendas do fácies granulito varia de 0,18 a 0,32. Esses valores são compatíveis com os encontrados nas hornblendas dos gnaisses enderbíticos estudados, o que sugere que as mesmas foram geradas neste fácies.

As relações estruturais do anfibólio presente nessas rochas são:

- Verde Netuno $[T]Si_{(6,321 - 6,408)}$ $[T]Al_{(1,592 - 1,679)}$ $[C]Al_{(0,403 - 0,468)}$ $[C]Fe^{+3}_{(0,229 - 0,342)}$ $[C]Ti_{(0,190 - 0,218)}$ $[C]Mg_{(1,579 - 1,672)}$ $[C]Fe^{+2}_{(2,422 - 2,513)}$ $[C]Mn_{(0,004 - 0,010)}$ $[B]Fe^{+2}_{(0,076 - 0,099)}$ $[B]Mn_{(0,004 - 0,010)}$ $[B]Ca_{(1,771 - 1,818)}$ $[B]Na_{(0,097 - 0,120)}$ $[A]Na_{(0,316 - 0,416)}$ $[A]K_{(0,304 - 0,337)}$ O_{22} $(OH)_2$;
- Verde Santa Cruz $[T]Si_{(6,322 - 6,446)}$ $[T]Al_{(1,552 - 1,678)}$ $[C]Al_{(0,319 - 0,422)}$ $[C]Fe^{+3}_{(0,069 - 0,325)}$ $[C]Ti_{(0,215 - 0,323)}$ $[C]Mg_{(1,817 - 1,898)}$ $[C]Fe^{+2}_{(2,126 - 2,377)}$ $[C]Mn_{(0,006 - 0,011)}$ $[B]Fe^{+}_{(0,027 - 0,080)}$ $[B]Mn_{(0,006 - 0,011)}$ $[B]Ca_{(1,812 - 1,923)}$ $[B]Na_{(0,041 - 0,100)}$ $[A]Na_{(0,247 - 0,331)}$ $[A]K_{(0,290 - 0,308)}$ O_{22} $(OH)_2$;
- Verde Choró $[T]Si_{(6,369 - 6,658)}$ $[T]Al_{(1,342 - 1,631)}$ $[C]Al_{(0,318 - 0,420)}$ $[C]Fe^{+3}_{(0,215 - 0,400)}$ $[C]Ti_{(0,086 - 0,207)}$ $[C]Mg_{(2,648 - 3,096)}$ $[C]Fe^{+2}_{(1,085 - 1,519)}$ $[C]Mn_{(0,007 - 0,010)}$ $[B]Fe^{+2}_{(0,038 - 0,066)}$ $[B]Mn_{(0,007 - 0,011)}$ $[B]Ca_{(1,837 - 1,899)}$ $[B]Na_{(0,054 - 0,087)}$ $[A]Na_{(0,263 - 0,370)}$ $[A]K_{(0,174 - 0,266)}$ O_{22} $(OH)_2$.

Para os anfibólios alterados que caíram no campo do Fe-Mg-Mn temos $[T]Si_{(7,478 - 7,518)}$ $[T]Al_{(0,232 - 0,380)}$ $[C]Al_{(0,183 - 0,304)}$ $[C]Fe^{+3}_{(1,664 - 1,830)}$ $[C]Ti_{(0,023 - 0,053)}$ $[C]Mg_{(1,280 - 1,672)}$ $[C]Fe^{+2}_{(1,300 - 1,615)}$ $[C]Mn_{(0,032 - 0,046)}$ $[B]Fe^{+2}_{(0,700 - 0,715)}$ $[B]Mn_{(0,035 - 0,052)}$ $[B]Ca_{(0,470 - 0,476)}$ $[B]Na_{(0,060 - 0,079)}$ $[A]Na_{(0,066 - 0,088)}$ $[A]K_{(0,077 - 0,101)}$ O_{22} $(OH)_2$ (Apêndice A - Tabela 5.3).

Os índices T, C, B e A, representam respectivamente as posições tetraédricas, metálicas com cinco átomos, metálicas com dois átomos e metálicas (alcalina) com excedente de Na e K.

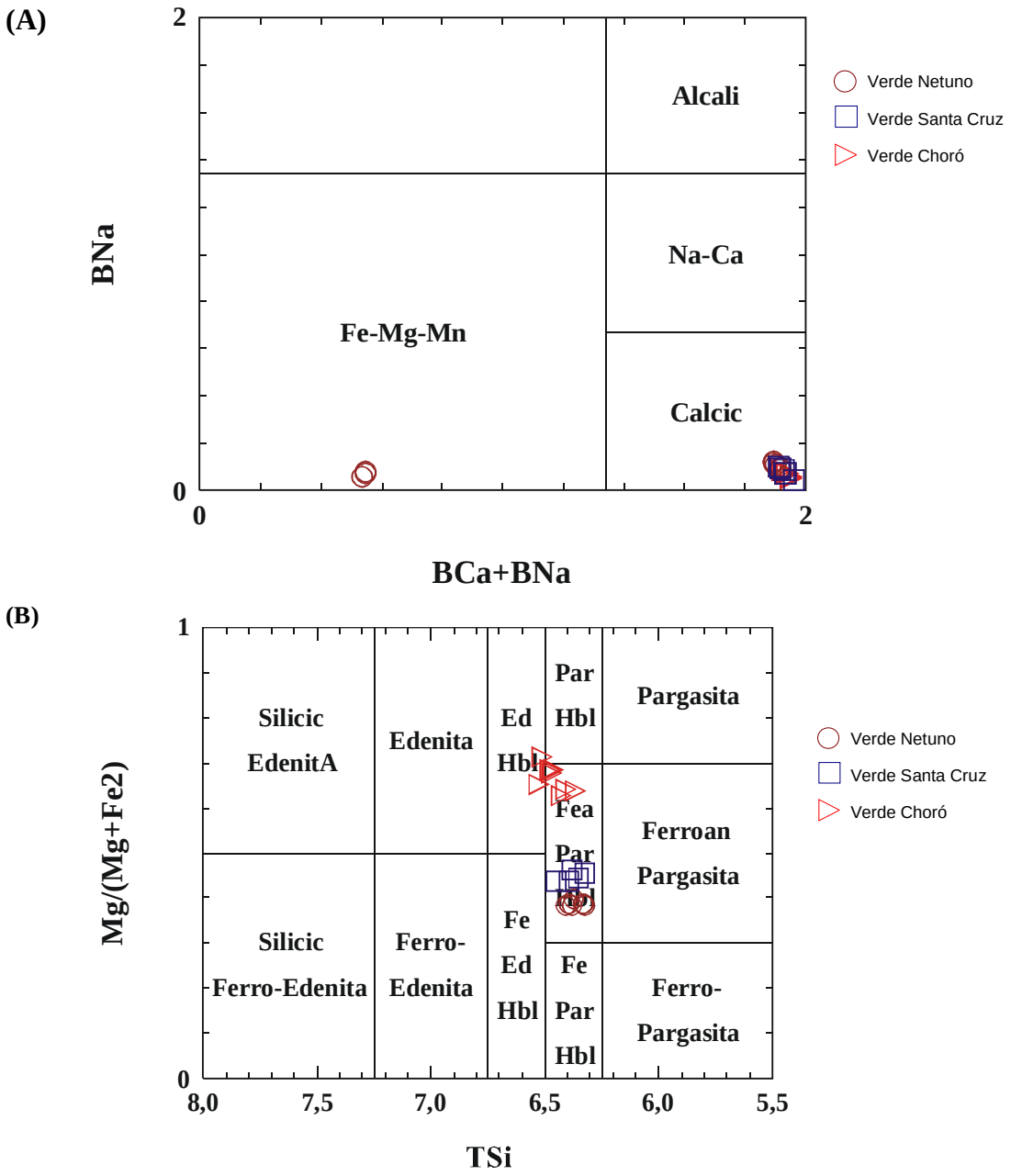


Figura 5.5: Classificação de anfibólios para os gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará. A) Relações BCa+BNa vs BNa de Hawthorne (1981); B) Relação TSi X Mg/(Mg+Fe+²), (ANa + AK) ≥ 0,50 e Ti < 0,50 e Fe+³ ≤ Al^{VI}

PIROXÊNIO

Os piroxênios analisados são orto e clinopiroxênios e estão relacionados, por contato, com alguns anfibólios. Entretanto, geralmente ocorrem sob a forma de grãos individuais e, em menor escala, como lamelas de intercrescimento entre ambos. A classificação aqui apresentada segue Morimoto (1988), enquanto os cálculos das fórmulas químicas se fazem conforme a metodologia de Cawthorn & Collerson (1974), normalizados para 6 oxigênios e 4 cátions.

Os ortopiroxênios do Verdes Netuno, do Santa Cruz e do Verde Choró estão posicionados no campo da enstatita e da ferrosilita, com variações de $En_{30,19-47,54}$ e $Fs_{65,81-67,87}$; $Fs_{40,69-41,86}$; $En_{40,7-41,86}$ (Fe-hiperstênio); e $En_{38,30-60,56}$ (hiperstênio) respectivamente, o que denota caráter magnesiano. Os clinopiroxênios do Verde Netuno e do Verde Choró ocupam o campo do diopsídio-augita, com variação $Wo_{35,24-47,97}$ e $Wo_{43,65-46,80}$ (salita-augita) respectivamente, exibindo caráter cálcio - magnesiano (figura 5.6).

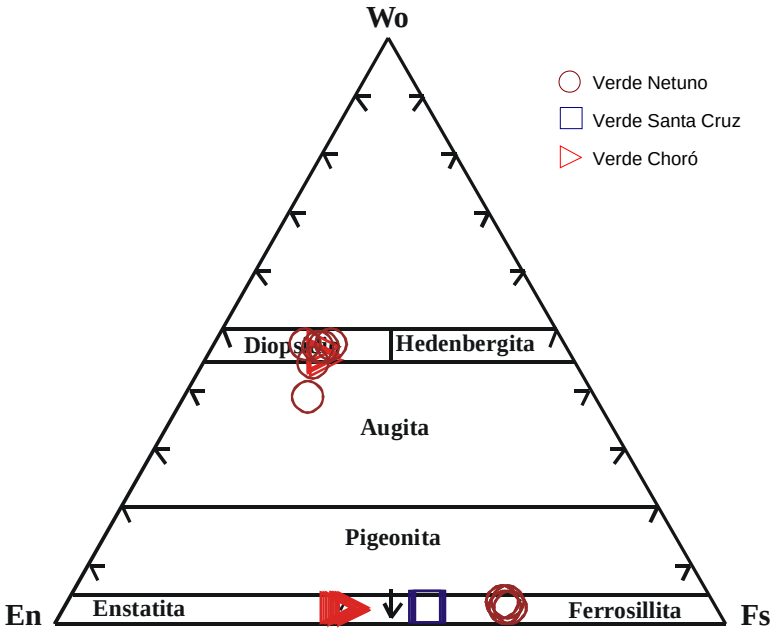


Figura 5.6: Classificação dos orto e dos clinopiroxênios dos gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará os clinos estão situados no campo da salita-augita, enquanto os ortopiroxênios correspondem ao hiperstênio (Wo – wolastonita; En – enstatita e Fs – fosterita)

As relações estruturais dos ortopiroxênios são representadas, respectivamente, para o Verde Netuno, para o Santa Cruz e para o Choró por: $[T]Si_{(1,982 - 2,018)}$ $[T]Al_{(0,000 - 0,017)}$ $[M1]Al_{(0,000 - 0,022)}$ $[M1]Ti_{(0,000 - 0,004)}$ $[M1]Fe^{+2}$ $_{(0,345 - 0,390)}$ $[M1]Cr_{(0,000 - 0,001)}$ $[M1]Mg_{(0,592 - 0,627)}$ $[M2]Fe^{+2}_{(0,906 - 0,944)}$ $[M2]Mn_{(0,018 - 0,023)}$ $[M2]Ca_{(0,034 - 0,056)}$ $[M2]Na_{(0,000 - 0,010)}$ $[M2]K_{(0,000 - 0,001)}$ O_6; $[T]Si_{(1,972 - 1,999)}$ $[T]Al_{(0,001 - 0,028)}$ $[M1]Al_{(0,006 - 0,029)}$ $[M1]Ti_{(0,000 - 0,004)}$ $[M1]Fe^{+2}_{(0,138 - 0,167)}$ $[M1]Cr_{(0,000 - 0,001)}$ $[M1]Mg_{(0,806 - 0,833)}$ $[M2]Fe^{+2}_{(0,947 - 0,951)}$ $[M2]Mn_{(0,017 - 0,025)}$ $[M2]Ca_{(0,026 - 0,033)}$ $[M2]Na_{(0,000)}$ $[M2]K_{(0,000 - 0,001)}$ O_6; e $[T]Si_{(1,947 - 1,974)}$ $[T]Al_{(0,026 - 0,052)}$ $[M1]Al_{(0,000 - 0,022)}$ $[M1]Ti_{(0,000 - 0,005)}$ $[M1]Fe^{+2}_{(0,000)}$ $[M1]Cr_{(0,000 - 0,002)}$ $[M1]Mg_{(0,974 - 0,998)}$ $[M2]Fe^{+2}_{(0,749 - 0,830)}$ $[M2]Mn_{(0,016 - 0,021)}$ $[M2]Ca_{(0,016 - 0,027)}$ $[M2]Na_{(0,000 - 0,003)}$ $[M2]K_{(0,000 - 0,001)}$ O_6.

As fórmulas estruturais dos clinopiroxênios do Verde Netuno e Verde Choró estão representadas respectivamente: $[T]Si_{(1,870 - 2018)}$ $[T]Al$ $_{(0,000 - 0,122)}$ $[M1]Al_{(0,000 - 0,022)}$ $[M1]Ti_{(0,000 - 0,014)}$ $[M1]Fe^{+2}_{(0,000 - 0,390)}$ $[M1]Cr_{(0,000 - 0,011)}$ $[M1]Mg_{(0,592 - 0,807)}$ $[M2]Fe^{+2}_{(0,036 - 0,944)}$ $[M2]Mn_{(0,003 - 0,023)}$ $[M2]Ca_{(0,034 - 0,941)}$ $[M2]Na_{(0,000 - 0,054)}$ $[M2]K_{(0,000 - 0,004)}$ O_6; $[T]Si_{(1,928 - 1,952)}$ $[T]Al$ $_{(0,048 - 0,072)}$ $[M1]Al_{(0,020 - 0,036)}$ $[M1]Ti_{(0,003 - 0,007)}$ $[M1]Fe^{+2}_{(0,208 - 0,221)}$ $[M1]Cr_{(0,003 - 0,004)}$ $[M1]Mg_{(0,741 - 0,758)}$ $[M2]Fe^{+2}_{(0,054 - 0,107)}$ $[M2]Mn_{(0,005 - 0,008)}$ $[M2]Ca_{(0,838 - 0,898)}$ $[M2]Na_{(0,040 - 0,049)}$ $[M2]K_{(0,000)}$ O_6 (Apêndice A - Tabela 5.4).

FELDSPATO

Considerando as proporções entre albita-anortita, para os plagioclásios, e albita-ortoclásio, nos feldspatos alcalinos, as análises exibem para o Verde Netuno, para o Santa Cruz e para o Choró, respectivamente: $Ab_{(66,7 - 77,4)}$ $An_{(20,9 - 30,8)}$ e $Ab_{(14,5 - 18,8)}$ $Or_{(80,9 - 85,4)}$; $Ab_{(64,5 - 71,2)}$ $An_{(25,0 - 32,4)}$; e $Ab_{(64,3 - 67,5)}$ $An_{(29,3 - 34,0)}$ e $Ab_{(7,1 - 8,1)}$ $Or_{(91,8 - 92,9)}$ (figura 5.7).

Os plagioclásios estão situados no campo do oligoclásio - andesina, enquanto os feldspatos alcalinos no campo teórico da sanidina e do ortoclásio. Correspondem, assim, respectivamente, às relações estruturais: $Si_{(10,777 - 10,894)}$ $Al_{(4,832 - 5,231)}$ $Ca_{(0,826 - 1,205)}$ $Na_{(2,595 - 3,062)}$ $K_{(0,067 - 0,105)}$ O_{32} e $Si_{(11,750 - 11,947)}$ $Al_{(4,038 - 4,320)}$ $Ca_{(0,003 - 0,011)}$ $Na_{(0,567 - 0,738)}$ $K_{(3,172 - 3,342)}$ O_{32}; $Si_{(10,715 - 10,998)}$ $Al_{(5,028 - 5,281)}$ $Ca_{(1,124 - 1,317)}$ $Na_{(2,421 - 2,680)}$ $K_{(0,044 - 0,230)}$ O_{32} e $Si_{(11,970 - 12,003)}$ $Al_{(3,978 - 4,020)}$ $Ca_{(0,001 - 0,003)}$ $Na_{(0,273 - 0,318)}$ $K_{(3,578 - 3,606)}$ O_{32} para o Verde Netuno e para o Choró, e $Si_{(10,853 - 11,100)}$ $Al_{(4,960 - 5,171)}$ $Ca_{(1,0,13 - 1,183)}$ $Na_{(2,324 - 2,991)}$ $K_{(0,110 - 0,186)}$ O_{32} para os plagioclásios do Verde Santa Cruz (Apêndice A - Tabela 5.5).

A concentração da composição do plagioclásio praticamente em um único ponto no campo do oligoclásio-andesina indica que não houve desequilíbrio nas reações metamórficas envolvidas.

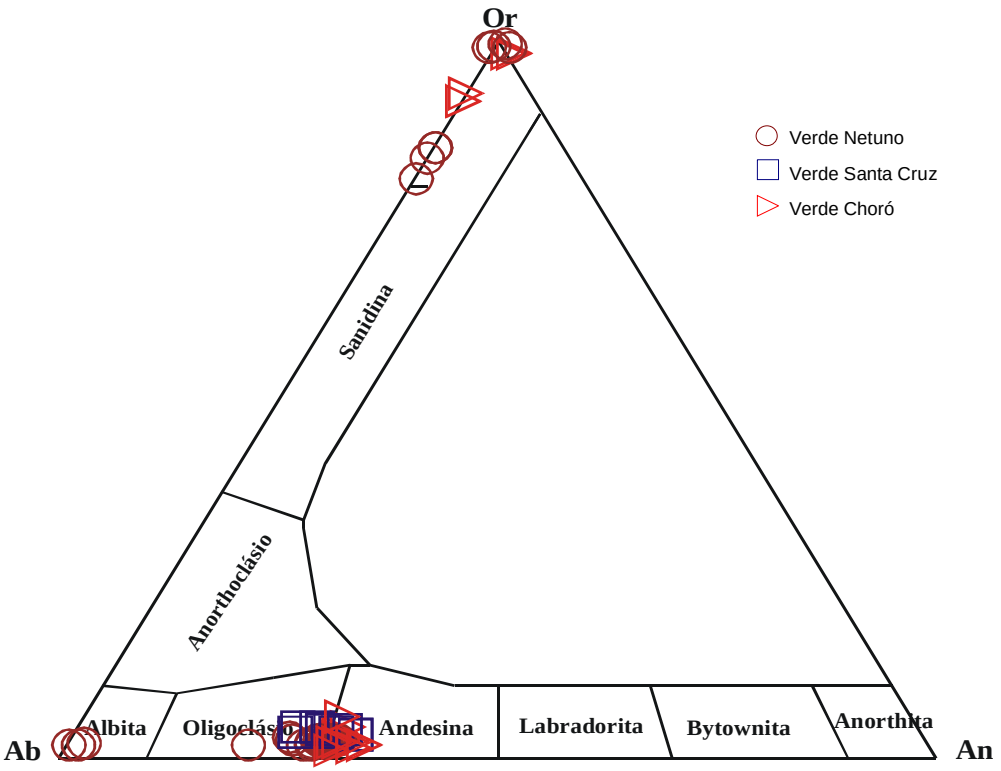


Figura 5.7: Classificação dos feldspatos (Ab-Or-An) dos gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará

ÓXIDO

Foram analisados apenas oito cristais de óxidos. Desses, sete são de ilmenita, que por diversas vezes ocorrem intercrescidos nos gnaisses enderbíticos Verde Netuno e Santa Cruz, e apresentam as respectivas formulações: $Fe^{+2}_{(3,461\ -\ 3,536)}\ Ti_{(3,195\ -\ 3,234)}\ O_9$ e $Fe^{+2}_{(2,722\ -\ 3,017)}\ Ti_{(2,833-\ 3,168)}\ O_9$. Outro é de óxido de ferro, em que o Fe representa o ferro total, cujo resultado corresponde a $Fe_{(9,793)}\ Cr_{(0,104)}\ Al_{(0,028)}\ O_{10}$ (Apêndice A - Tabela 5.6).

CAPÍTULO 6

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo focaliza-se basicamente os desempenhos físico e físico-mecânico dos gnaisses enderbíticos das regiões de Itapipoca, Granja e Chorozinho, objetivando avaliar seus comportamentos quando aplicados em obras civis, em que estarão sujeitos a solicitações e condições ambientais diferentes das encontradas em seu ambientes de formação.

Entende-se aqui por propriedades tecnológicas a determinação dos índices físicos (massa especifica aparente, porosidade aparente e absorção de água), da resistência à compressão uniaxial simples, da resistência à flexão, do desgaste por abrasão, da dilatação térmica linear, da velocidade de ondas ultra-sônicas e dos índices de anisotropia. A caracterização dos gnaisses enderbíticos quanto a essas propriedades foi realizada seguindo os procedimentos de normas nacionais e internacionais.

De acordo com as normas da NBR 12767 e 12763 (ABNT 1992), respectivamente para resistências à compressão uniaxial e resistência à flexão, caso os materiais pétreos apresentem estruturação, os ensaios devem ser realizados segundo direções paralela e perpendicular às estruturações. Adicionalmente, podem ser realizados em condições seca e saturada.

Na realização dos ensaios para os gnaisses enderbíticos estudados, essas determinações foram atendidas, com exceção do Verde Netuno, pois não foi possível a realização dos ensaios nas direções paralela e perpendicular à estruturação do mesmo. Isso se deveu à presença de uma foliação oblíqua aos planos de corte. Suas exposições ocorrem sob a forma de pequenos (dezenas de metros) afloramentos, em meio a terrenos bastante arrasados.

Os resultados obtidos para os gnaisses enderbíticos foram comparados aos parâmetros sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) e aos da ASTM C-615 (1992) e, no geral, esses gnaisses apresentaram propriedades tecnológicas que se enquadra nestes parâmetros.

6.1 ÍNDICES FÍSICOS (MASSA ESPECÍFICA APARENTE, POROSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO D'ÁGUA) – NBR 12766 (ABNT 1992)

Para o estudo das rochas ornamentais é de fundamental importância o conhecimento das suas propriedades físicas, pois elas influenciam diretamente o comportamento físico-mecânico.

Para a determinação dos índices físicos, foram calculados os valores de **massa específica aparente,** que é o volume total do sólido, incluídos os poros impermeáveis, mas não capilares; **porosidade aparente,** que é a quantidade relativa dos poros de um material e seu volume total; e a **absorção de água,** que se obtém determinando-se o acréscimo de massa numa amostra seca em estufa por 24 horas e em seguida submersa por mais 24 horas em água. A relação entre o aumento da massa após submersão e a massa da amostra seca é denominada absorção de água e é influenciada diretamente pela porosidade e pela permeabilidade do material.

Na tabela 6.1 encontram-se os resultados obtidos para os índices físicos dos três litotipos analisados, assim como a comparação com os parâmetros sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) e os da ASTM C-615 (1992).

Tabela 6.1 – Resultados dos ensaios de índices físicos para os litotipos estudados e valores limítrofes estabelecido por Frazão e Farjallat (1995) e ASTM C-615 (1992)

Parâmetros / Propriedades	Valores de Referencias propostos		Materiais Estudados		
	Frazão e Farjallat (1995)	**ASTM C 615 (1992)**	**Verde Netuno**	**Verde Santa Cruz**	**Verde Choró**
Massa Esp Aparente seca (kg/m³)	**>2550**	**>2560**	2800	2694	2727
Massa Esp Aparente saturada (kg/m³)	**n.e.**	**n.e.**	2806	2696	2730
Porosidade Aparente (%)	**<1,0**	**n.e.**	0,55	0,23	0,14
Absorção d'água (%)	**<0,4**	**<0,4**	0,20	0,09	0,05

n.e.: não especificado

Quanto aos índices físicos, os materiais apresentam massa específica alta (**>2550**), baixa porosidade (**<1,0**) e baixo índice de absorção de água (**<0,4**), principalmente o Verde Choró que apresenta cerca de 10% dos valores sugeridos.

A análise geral dos resultados demonstra que os índices físicos estão acima dos sugeridos pela ASTM (1992) e Frazão e Farjallat (1995), o que determina, portanto, que esses materiais são susceptíveis a serem usados em ambientes interiores e exteriores.

Os dados de massa específica, tanto em condições secas como em saturadas, apresentam valores muito próximos entre si, o que está condizente com os baixos valores da porosidade. Quando esses dados são comparados com o teor de minerais escuros (IME) de 43,3%; 36,70% e 44,6%, para o Verde Netuno, o Santa Cruz e o Choró, respectivamente, verifica-se uma boa correlação entre ambos para cada tipo estudado (figura 6.1).

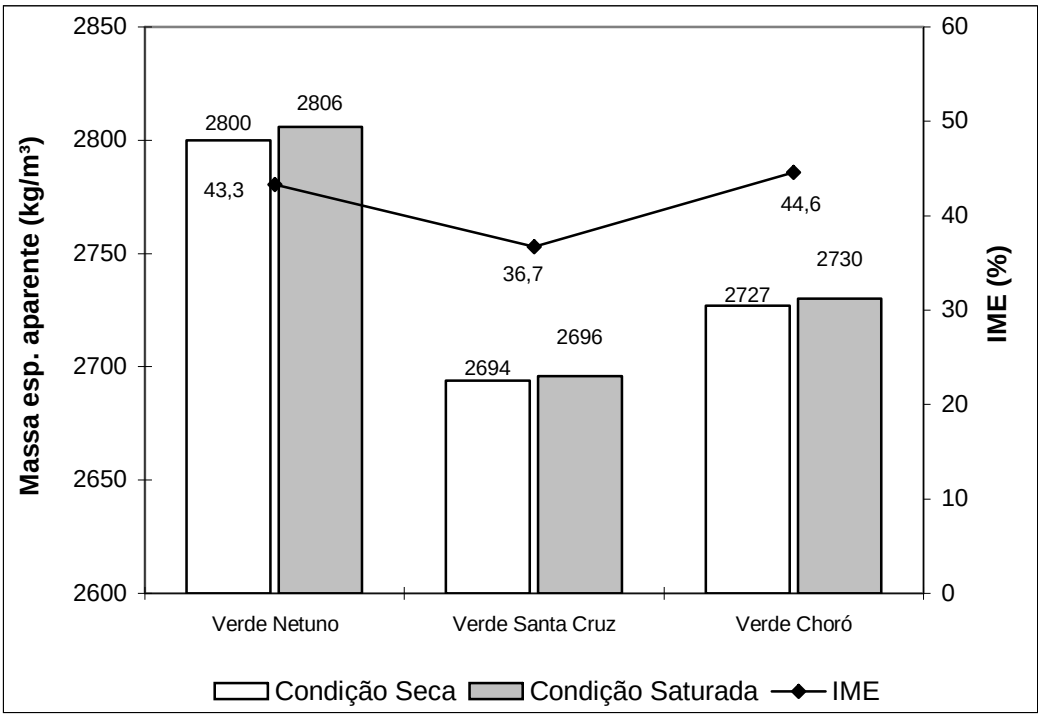


Figura 6.1: Relação entre os valores médios de massa específica aparente seca e saturada e índice de minerais escuros para os gnaisses enderbíticos estudados da porção norte do Estado do Ceará

Os valores de porosidade e absorção de água (figura 6.2) nos litotipos estudados são bastante distintos entre si. Eles se apresentam em escala decrescente, partindo do Verde Netuno, via Verde Santa Cruz, para o Verde Choró. Tal comportamento resulta da diferença

na granulação, que varia de média para o primeiro e média-fina para os dois últimos, corroborado também pelo aspecto estrutural (foliação), que vai desde bem marcado no Verde Netuno a incipiente no Verde Santa Cruz (figura 6.2).

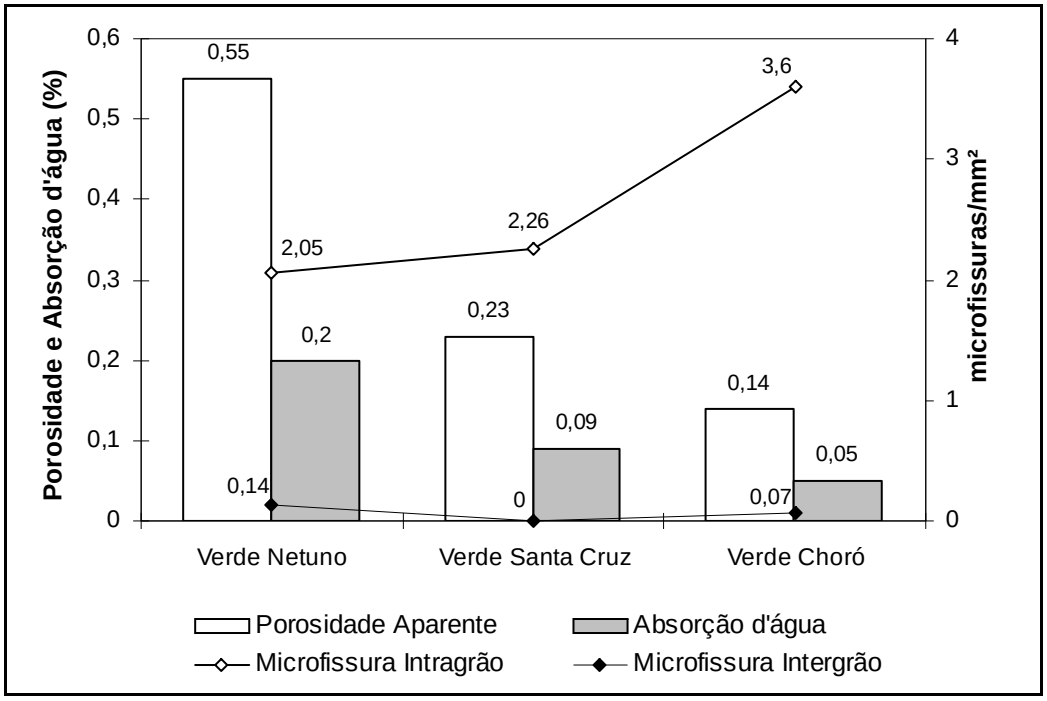


Figura 6.2: Correlação da porosidade aparente e da absorção de água com o número de microfissuras dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Quando se correlacionam os valores obtidos para os índices físicos e o número de microfissuras, observa-se que são inversamente proporcionais, o que caracteriza que, apesar de os materiais apresentarem grau de microfissuramento intragrãos elevado (respectivamente, de 2,05; 2,26 e 3,6 microfissuras/mm² para o Verde Netuno, o Santa Cruz e o Choró), o mesma não influenciam nessas propriedades. Isso porque a maioria dessas microfissuras são fechadas e/ou preenchidas. O mesmo ocorre para as microfissuras intergrão. Da mesma maneira, não há uma correlação com os tipos de contatos, já que, para os três litotipos, predominam os dos tipos côncavo-serrilhado e plano-lobular. Concluímos, então, que para os gnaisses enderbíticos Verde Netuno, Santa Cruz e Choró a porosidade e absorção de água são controladas, basicamente, pela granulação e pela textura dessas rochas.

6.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES – NBR 12767 (ABNT, 1992c)

O ensaio de compressão uniaxial consiste na determinação da resistência dos materiais a uma tensão de ruptura quando este é submetido a uma carga.

A resistência à compressão é influenciada pela composição mineralógica, pela granulação, pela textura, pela estrutura, pela presença ou não de microfissuras na rocha, pelo estado de alteração e pela porosidade do material. Além desses fatores, é de fundamental importância a direção do esforço de compressão em relação à estrutura da rocha (FIGUEIREDO 1997).

A composição mineralógica, por exemplo, influencia na resistência dos materiais pétreos, de modo que, nas rochas monominerálicas (exemplo: arenitos, quartzitos e mármores), a resistência é representada pela resistência da composição mineral principal. Quando a rocha é formada por vários minerais com propriedades físicas distintas, o que é o caso da maioria das rochas, elas apresentam diferentes valores de resistência. O tamanho dos grãos também interfere, uma vez que quanto menor a granulação absoluta maior será a resistência. Os minerais que apresentam clivagem bem marcada, tendem ao cisalhamento mais fácilmente do que minerais com clivagem menos marcada ou sem clivagem como o quartzo (TORQUATO 2004).

Quanto à textura, rochas equigranulares são mais resistentes à compressão uniaxial que rochas inequigranulares ou porfiríticas. A resistência decresce com o aumento da granulação relativa da rocha e o arranjo, ou seja, quanto mais grossa a granulação, menor a resistência à compressão uniaxial.

A estrutura é um dos parâmetros decisivos na resistência à compressão, portanto, quando as rochas possuem estruturas planares, a resistência na direção perpendicular à da estrutura é em geral maior que na direção paralela ou na inclinada e, neste caso, a possibilidade de ocorrerem cisalhamentos ao longo dos planos aumenta consideravelmente.

A presença de microfissuras exerce uma influência direta na resistência mecânica de uma rocha. Desse modo, quanto maior for o número de microfissuras presentes no material rochoso menor será a sua resistência mecânica.

Quanto mais homogêneo o material maior a resistência à compressão.

Rochas alteradas tendem a oferecer menor resistência aos esforços compressivos do que rochas sãs, já que o estado de alteração de uma rocha também influencia diretamente na sua resistência.

A porosidade é uma propriedade das rochas que está inversamente relacionada com a resistência à compressão simples, isto é, quanto maior for o valor da porosidade menor será a resistência que a rocha oferece aos esforços a que for submetida.

Os resultados do ensaio de compressão uniaxial simples estão discriminados na tabela 6.2, assim como os valores estatísticos (médias e desvios padrões), os valores do coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R), as velocidades de ondas ultra-sônicas e o índice de anisotropia, que são valores também obtidos a partir dos resultados do ensaio de compressão uniaxial simples.

Os valores médios determinados para os gnaisses enderbíticos variam de superiores a muito próximos com relação aos limites estabelecidos pela ASTM (C615) e sempre muito superiores aos sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), respectivamente, de 131 MPa e 100 MPa.

Tabela 6.2: Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial e dos dados estatísticos para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Parâmetros		**Verde Netuno**		**Verde Santa Cruz**				**Verde Choró**			
Frazão e Farjallat (1995)	**ASTM C 615 (1992)**	**seco (MPa)**	**saturado (MPa)**	**seco (MPa)**		**saturado (MPa)**		**seco (MPa)**		**saturado (MPa)**	
		Oblíqua		⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
>100	>131	153	144	182	197	147	184	162	171	134	147
		205	164	190	198	155	198	188	171	143	116
		150	155	194	203	167	212	148	177	123	129
		180	178								
		187	160								
Média		**175**	**160**	**189**	**200**	**156**	**198**	**166**	**173**	**134**	**131**
Desvio Padrão		**23,4**	**12,6**	**6,2**	**3,3**	**9,6**	**14,1**	**20,0**	**3,5**	**9,9**	**15,7**
R (%)		**91**		**⊥ = 83**		**// = 99**		**⊥ = 80**		**// = 76**	
Media da Veloc. de ondas Ultra-sônicas (Vp) (m/s)		**5830**	**6093**	**6545**	**6548**	**6532**	**6535**	**6405**	**6656**	**6564**	**6840**
Índice de Anisotropía (%)		**-**	**-**	**1,3**		**1,2**		**8,9**		**8,6**	

R-Coeficiente de enfraquecimento hidráulico; ⊥ Direção perpendicular à foliação; // Direção paralela à foliação

As maiores médias de resistências à compressão uniaxial são exibidas pelos gnaisses enderbíticos Verde Santa Cruz (156 MPa a 199 MPa), seguido pelo Verde Netuno (160 MPa a

175 MPa). Com relação ao gnaisse enderbítico Verde Choró, os valores médios de resistência na condição seca (166 MPa a 173 MPa) são ligeiramente mais baixos que os outros dois gnaisses e, na condição saturada (131 MPa a 134 MPa), encontram-se, muito próximos aos limites da ASTM, porém acima dos valores limites sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) (figura 6.3).

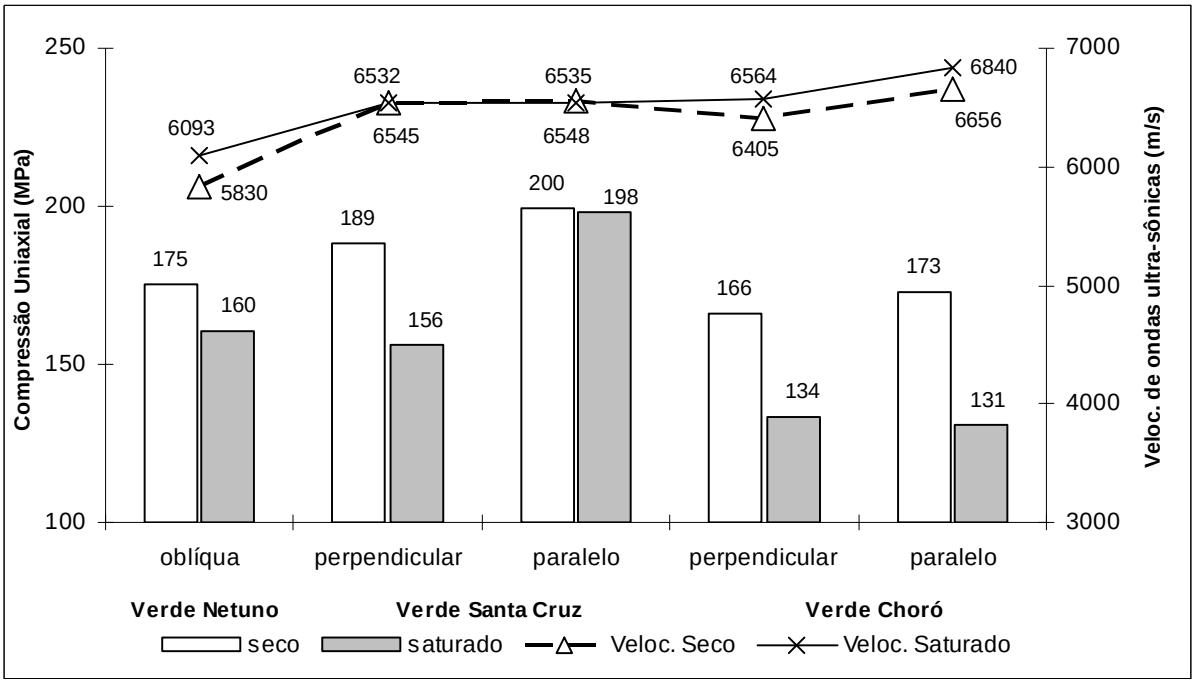


Figura 6.3: Relação dos valores médios da resistência à compressão nas condições seca e saturada, nas direções oblíqua, perpendicular e paralela versus a velocidade de ondas ultra-sônicas dos gnaisses enderbíticos estudados

Os resultados da resistência à compressão nas condições seca e saturada do gnaisse enderbítico Verde Netuno estão representados na figura 6.4, correlacionados com a velocidade de ondas ultra-sônicas.

Esse gnaisse apresenta valores médios, no estado seco de 175 MPa, 8,5% maior que no estado saturado (160 MPa), com um coeficiente de enfraquecimento hidráulico alto (R=91,49) o que indica que a influência da água só representa 8,51% o que o enquadra como muito resistente na classificação sugerida pelo ISRM (1977e).

Os valores da velocidade de ondas ultra-sônicas (Vp) são condizentes com o desempenho do material rochoso, apresentando, para o ensaio no estado seco (figura 6.4), o maior e o menor valor de Vp condizentes com os de resistência à compressão uniaxial

(Vp_{seco}=5926 m/s e σ_{seco}=205 MPa; Vp_{seco}=5546 m/s e σ_{seco}=150 MPa). No entanto para o corpo de prova 3 há uma inversão na resistência à compressão, sendo este mais resistente na condição saturada. Verifica-se que a Vp nas amostras secas é menor do que em amostras saturadas, pois o módulo de compressão é muito maior no meio saturado, enquanto que o módulo de cisalhamento é constante. Essa discrepância pode ser associada às microfissuras, pois em meios microfissurados há um aumento dessa velocidade quando a rocha está saturada em água, embora haja, nesse caso, duas forças contrárias à sua variação. As forças de tensão superficial tendem a fechar as fissuras, no entanto, se houver a ocorrência de minerais expansivos, eles tendem, logicamente, a abri-las (TORQUATO, 2004). A discrepância poderia ainda estar relacionada à porosidade, mas o aumento da velocidade das ondas longitudinais é mais fraco, pois existem, também, duas forças que tendem a se anular.

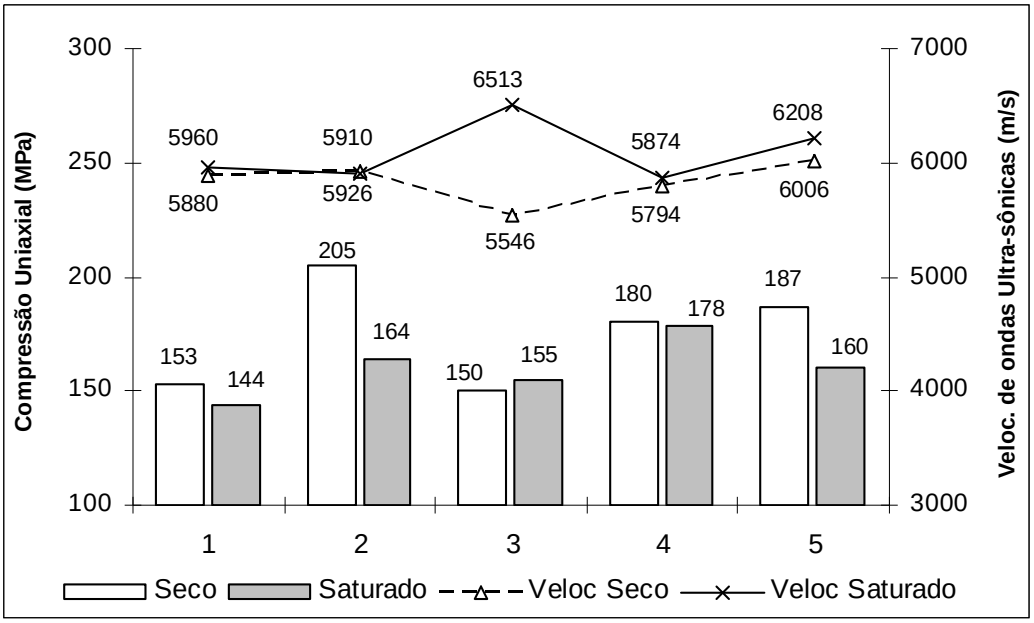


Figura 6.4: Relação dos resultados da resistência à compressão nas condições seca e saturada versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Netuno

Nas figuras 6.5 A e B estão representados os valores obtidos no ensaio de compressão uniaxial em condições seca e saturada, nos sentidos perpendicular e paralelo à foliação e as respectivas medidas das Vp do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz.

Os valores de resistência à compressão do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz apresentam uma inversão nas direções perpendicular (156 MPa saturado e 189 MPa seco) e paralela (198 MPa saturado e 200 MPa seco), o que se justifica por esse gnaisse apresentar

uma segunda foliação pouco marcada. Demonstra, ainda, baixo grau de anisotropia (seco = 1,3% e saturado = 1,2%) e um coeficiente de enfraquecimento hidráulico alto (83%; 99% para os sentidos perpendicular e paralelo respectivamente), o que indica que a influência da água é muito pequena. Está classificado como muito resistente dentro da classificação sugerida pelo ISRM (1977e).

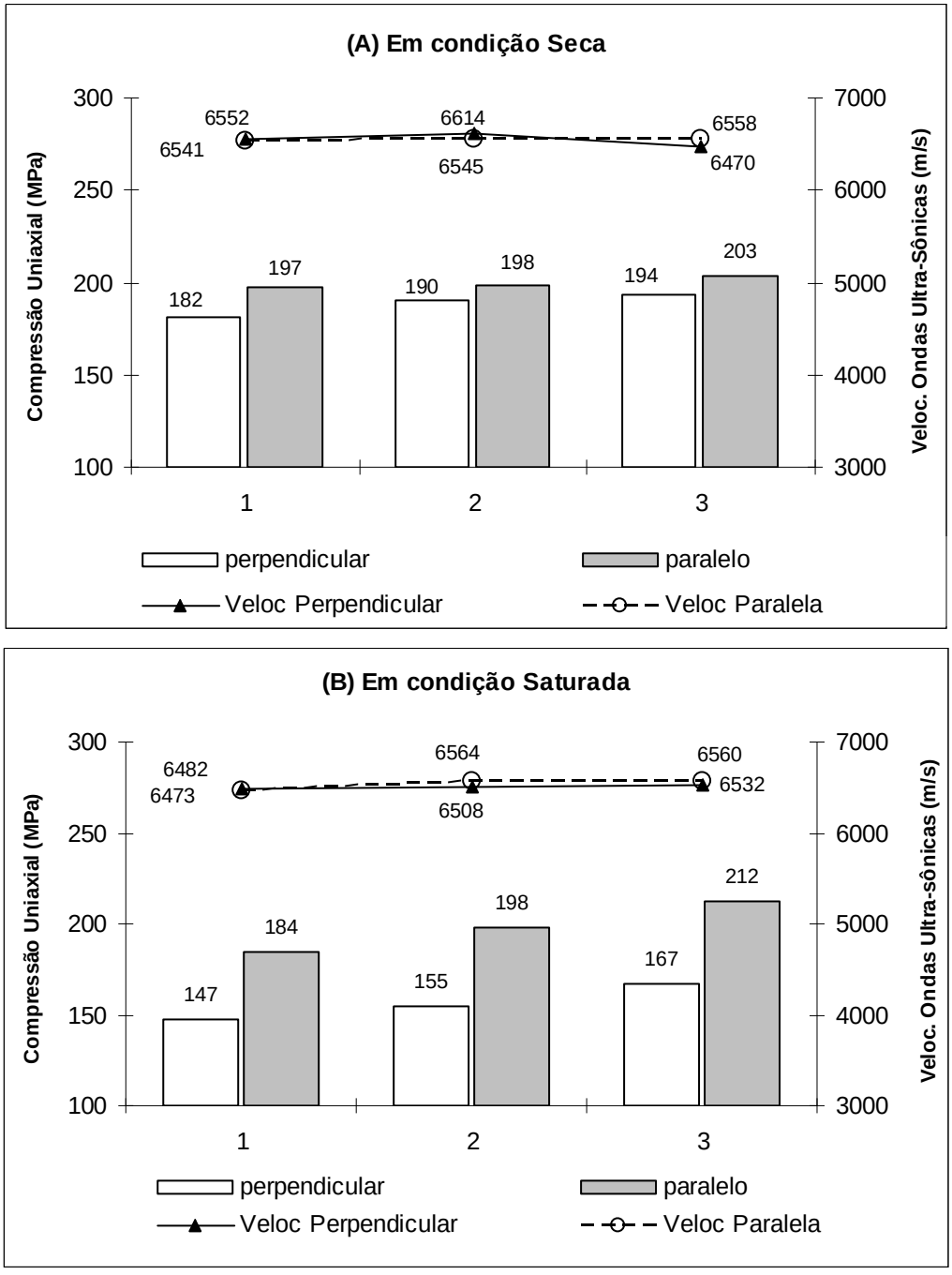


Figura 6.5: Relação dos resultados da resistência à compressão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz. A) em condição seca; B) em condição saturada

As velocidades de ondas ultra-sônicas para as amostras secas são um pouco maiores no sentido perpendicular que no sentido paralelo. E em condição saturada ocorre o oposto, visto que a velocidade de propagação das ondas é maior na água (1500 m/s) do que no ar (340 m/s).

Observa-se que o Verde Santa Cruz apresenta os maiores valores de resistência à compressão. Isso se deve a sua granulação mais fina e à maior porcentagem de quartzo (24,6) que apresenta. Alem de apresentar valores menores de porosidade (0,23%) e de absorção de água (0,09) e maior massa específica aparente (2694 kg/m³) que o Verde Netuno.

O Verde Choró, dentre os três litotipos, é o que apresenta os valores mais baixos de resistência à compressão (figura 6.6 A e B).

Provavelmente por apresentar a maior concentração de minerais escuros (44,6%), o que diminui sua resistência, por serem, em sua maioria, minerais com um ou mais planos de clivagem bem marcados. Além disso, esse gnaisse apresenta a menor quantidade de quartzo (11,8%) e exibe também o maior índice de microfissuras intragrão (3,6 microf/mm²). Seu coeficiente de enfraquecimento hidráulico é relativamente mais baixo (80%; 76% para os sentidos perpendicular e paralelo respectivamente), o que indica que a influência da água é mais representativa quando comparado aos outros. O material é classificado como muito resistente dentro da classificação sugerida pelo ISRM (1977e).

Apresenta elevado grau de anisotropia (seco = 8,9% e saturado = 8,6%), o que condiz com os valores da velocidade de ondas ultra-sônicas (6405 a 6839 m/s).

Para o comportamento inverso nos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão uniaxial simples quando da aplicação dos esforços paralelo e perpendicular à foliação, são feitas as seguintes considerações:

Capítulo 0 É comum, em litologias deformadas em condições dúcteis, o desenvolvimento de uma ou mais famílias de planos de orientação das rochas. Esses planos, de origem tectônica (secundários), podem ou não ser paralelos à estratificação original da rocha que, em certos casos, pode ser totalmente apagada quando do desenvolvimento destas novas feições. Esses planos recebem, de maneira genérica, a denominação de foliações (ARTHAUD, 1992);

Capítulo 1 Nos Verdes Santa Cruz e Choró, foi possível observar uma segunda foliação, que faz um ângulo de aproximadamente 130º com a principal. Em geral, devido ao coeficiente de atrito interno, esse ângulo cai para 30°.

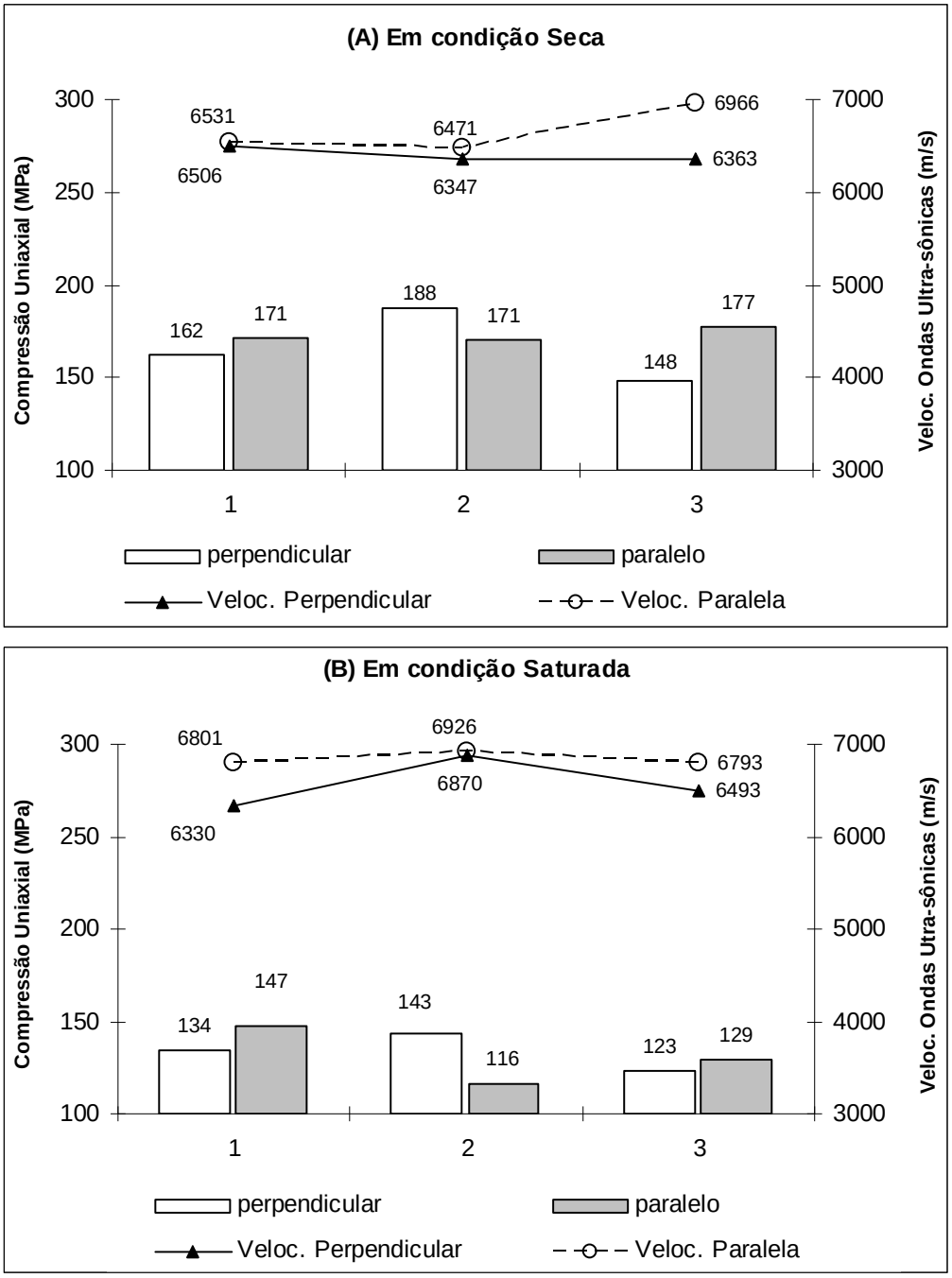


Figura 6.6: Relação dos resultados da resistência à compressão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Choró. A) no estado seco; B) no estado saturado

Consideremos a figura 6.7, que representa um corpo de prova submetido a um ensaio de compressão uniaxial ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$). Seja um plano de ruptura formando um ângulo θ com a direção da pressão σ_1.

A pressão σ_1 pode ser decomposta num esforço normal σ, perpendicular ao plano de

fratura, e num esforço cisalhante τ, paralelo ao plano de fratura. A ruptura terá a maior possibilidade de acontecer com um valor de θ, tal que τ seja o maior possível.

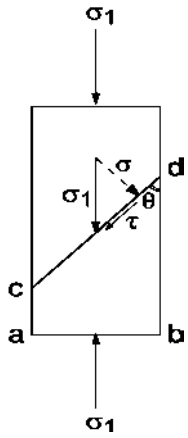


Figura 6.7: Simulação do ensaio de compressão uniaxial com os possíveis principais planos de ruptura da rocha

O maior valor possível de τ corresponde a sen 2θ = 1 e, portanto, θ = 45°. Nesse caso, todas as famílias de planos que formam um ângulo de 45° são planos de rupturas preferenciais. Esses planos admitem um cone de abertura 90° e de eixo σ_1 como envoltória.

Consideremos, agora, um ensaio biaxial ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$ ou $\sigma_3 < \sigma_1 = \sigma_2 \neq 0$).

O cálculo mostra que:

$$\sigma = 1/2\ (\sigma_1 + \sigma 3) - 1/2\ (\sigma_1 - \sigma_3)\ \cos 2\theta$$

$$\tau = 1/2\ (\sigma_1 - \sigma_3)\ \text{sen}\ 2\theta$$

Neste caso também, o valor de τ é máximo quando θ = 45°. De maneira prática, isso significa que os planos de ruptura potencialmente mais prováveis correspondem às duas famílias de planos que formam um ângulo de 45° com σ_1 e σ_3 e apresentam σ_2 como interseção (figura 6.8).

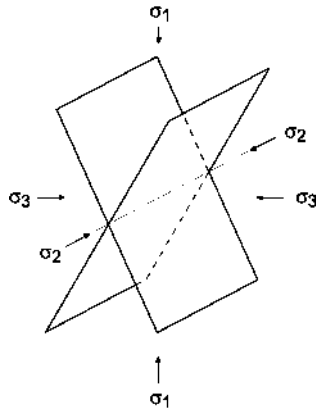


Figura 6.8: Relações dos planos teóricos de ruptura com os eixos do elipsóide dos esforços

O mesmo deve ter ocorrido com os corpos de prova utilizados para os ensaios de resistência à compressão e à flexão, como sugerimos na figura 6.9.

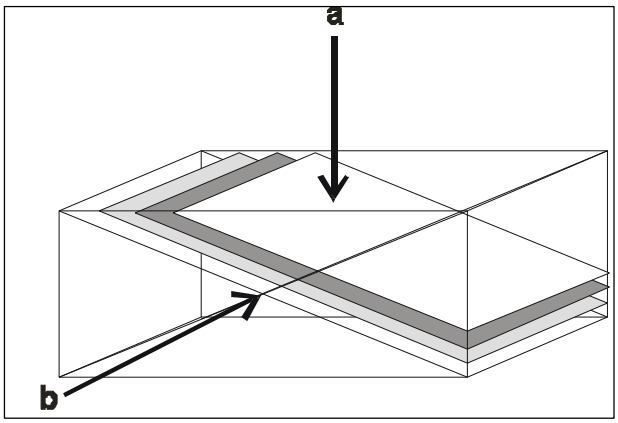


Figura 6.9: Esquema dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão e à flexão. a) suposta direção perpendicular à foliação; b) suposta direção paralela à foliação

Em (a), verifica-se a suposta direção dos esforços perpendiculares à foliação principal (direção de corrida), que forma um ângulo de aproximadamente 135º com a segunda direção, que é observada melhor na posição (b). A direção perpendicular á foliação (a) é, na realidade o plano de menor resistência da rocha, uma vez que aponta para o encontro das duas foliações.

Na direção (b), ocorre o contrário. Quando realizávamos os ensaios na suposta direção paralela, na verdade, estávamos no ponto de maior resistência da rocha (interseção dos planos de foliação).

Se considerado o esquema da figura 6.8, temos que as direções de $a=\sigma_1=\sigma_3$ são as de menor resistência. E para $b=\sigma_2$ é a direção de maior resistência aos esforços.

O comportamento dos gnaisses enderbíticos do norte do Estado do Ceará para o ensaio de resistência à compressão foi, de um modo geral, satisfatório quando seus resultados são comparados aos valores sugeridos na literatura.

6.3 RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS TRÊS (3) PONTOS) – NBR-12763 (ABNT, 1992d)

Este ensaio é importante principalmente quando da intenção de se utilizarem os materiais pétreos em revestimento exteriores, especialmente sob a forma de placas que estarão sujeitas às forças flexoras por parte da própria edificação e/ou pela ação do vento.

Os valores determinados para os gnaisses enderbíticos estudados são superiores aos valores sugeridos pela ASTM (C615) e aos sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), respectivamente, de 10,3MPa e 10 MPa.

Os resultados do ensaio de resistência à flexão estão listados na tabela 6.3.

Tabela 6.3: Resultado dos ensaios de resistência à flexão e dos dados estatísticos para os gnaisses enderbíticos do norte do Estado do Ceará

Parâmetros		**Verde Netuno**		**Verde Santa Cruz**				**Verde Choró**			
Frazão e Farjallat (1995)	**ASTM C 615 (1992)**	**Seco (MPa)**	**Saturado (MPa)**	**seco (MPa)**		**saturado (MPa)**		**seco (MPa)**		**saturado (MPa)**	
		Oblíqua		⊥	//	⊥	//	⊥	//	⊥	//
>10	>10,3	13	16	21	21	25	26	16	17	24	23
		17	14	23	19	22	23	15	17	24	22
		17	13	19	22	28	22	18	15	22	26
		13	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Média		**15**	**15**	**21**	**21**	**25**	**24**	**16**	**17**	**23**	**24**
Desvio Padrão		**1,9**	**2,4**	**1,6**	**4,7**	**3,1**	**2,2**	**1,5**	**1,0**	**1,1**	**1,7**
R (%)		**97**		**⊥ = 120**		**// = 114**		**⊥ = 143**		**// = 143**	
Media da Veloc. de ondas ultra-sônicas (m/s)		**5670**	**6154**	**6148**	**6161**	**6329**	**6270**	**5976**	**6024**	**6350**	**6296**
Índice de Anisotropía (%)		**-**	**-**	**1,8**		**0,3**		**1,8**		**0,9**	

R-Coeficiente de enfraquecimento hidráulico; ⊥ Direção perpendicular à foliação; // Direção paralela à foliação

As maiores resistências à flexão são exibidas pelo gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz (21 MPa a 25 MPa) seguido pelo do Verde Choró (16 MPa a 24 MPa). Com relação ao gnaisse enderbítico Verde Netuno, os valores médios de resistência nas condições seca e saturada são de 15 MPa (figura 6.10).

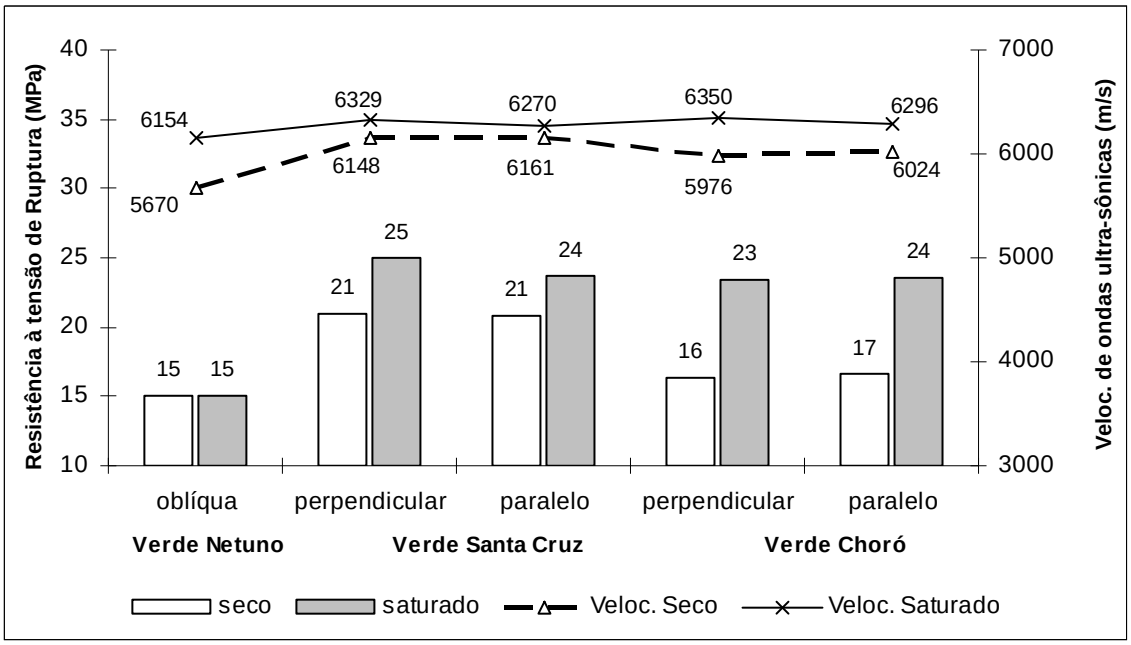


Figura 6.10: Relação dos valores médios da resistência à Flexão em condições seca e saturada, nas direções perpendicular e paralela versus a velocidade de ondas ultra-sônicas dos gnaisses enderbíticos do Norte do Estado do Ceará

Os resultados do ensaio de resistência à flexão do gnaisse enderbítico Verde Netuno estão representados na figura 6.11.

No ensaio com esse gnaisse, a variação nos valores verificados no estado seco vai de 13 MPa a 17 Mpa e no saturado de 13 MPa a 16 MPa. Nos corpos-de-prova 1 e 4 (estados seco e saturado) os valores são inversos aos esperados. O que pode estar relacionado a algum tipo de alteração interna mineral, microfissuramento, etc.

De um modo geral, os resultados da resistência à flexão nas condições seca e saturada versus a velocidade de ondas ultra-sônicas apresentam boa correlação, pois, quanto maior a massa específica aparente da rocha, maior a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas. O valor médio, em condições seca e saturado, para a resistência à ruptura é de 15 MPa, o que resulta num coeficiente de enfraquecimento hidráulico próximo de 100 (R=97), o que indica que o gnaisse enderbítico Verde Netuno terá um enfraquecimento de apenas 3% quando utilizado molhado (saturado). Esses resultados demonstram coerência com as características intrínsecas da rocha.

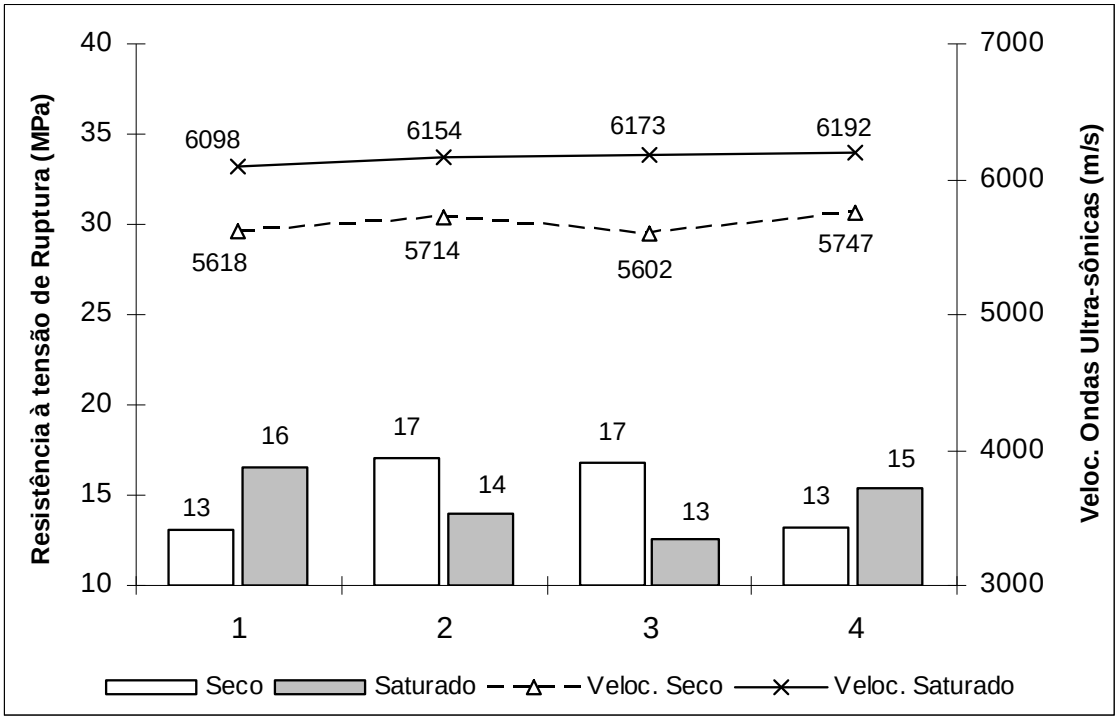


Figura 6.11: Relação dos resultados da resistência à flexão nas condições seca e saturada versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Netuno

Os resultados do ensaio de resistência à flexão do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz estão representados nas figuras 6.12A e B.

No ensaio com esse gnaisse obtiveram-se valores de resistência à flexão acima dos sugeridos na literatura. Isso está condizente com as suas características petrográficas (estrutura levemente bandada, granulação média-fina, predomínio dos contatos entre grãos do tipo côncavo-serrilhado), consolidadas com o índice de anisotropia baixo (seco = 1,8% e saturado = 0,3%), apresentando um grau de homogeneidade elevado, visto que o Verde Santa Cruz apresenta os valores de massa especifica aparente mais baixos dos três litotipos (2694 kg/m³), entretanto porosidade e absorção de água baixos (0,23 e 0,09 % respectivamente).

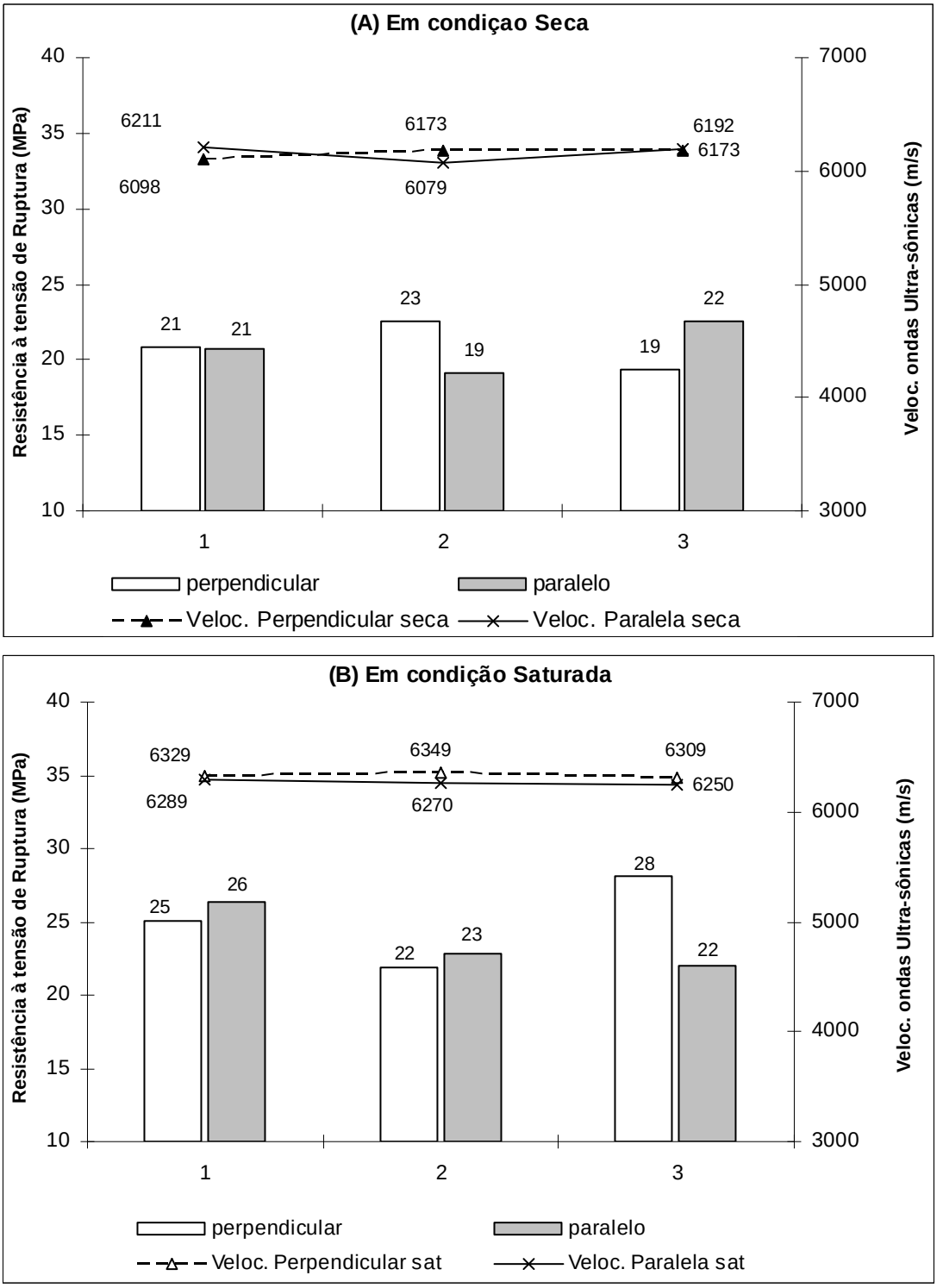


Figura 6.12: Relação dos resultados da resistência à flexão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz. A) em condição seca; B) em condição saturada

Esse gnaisse apresenta ainda um coeficiente de enfraquecimento hidráulico acima de 100 % (114% e 120% para os sentidos perpendicular e paralelo respectivamente), o que indica que o gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz não sofreu influência da água.

Os resultados para o gnaisse enderbítico Verde Choró para os ensaios realizados nas condições seca e saturada estão representados nas figuras 6.13A e B.

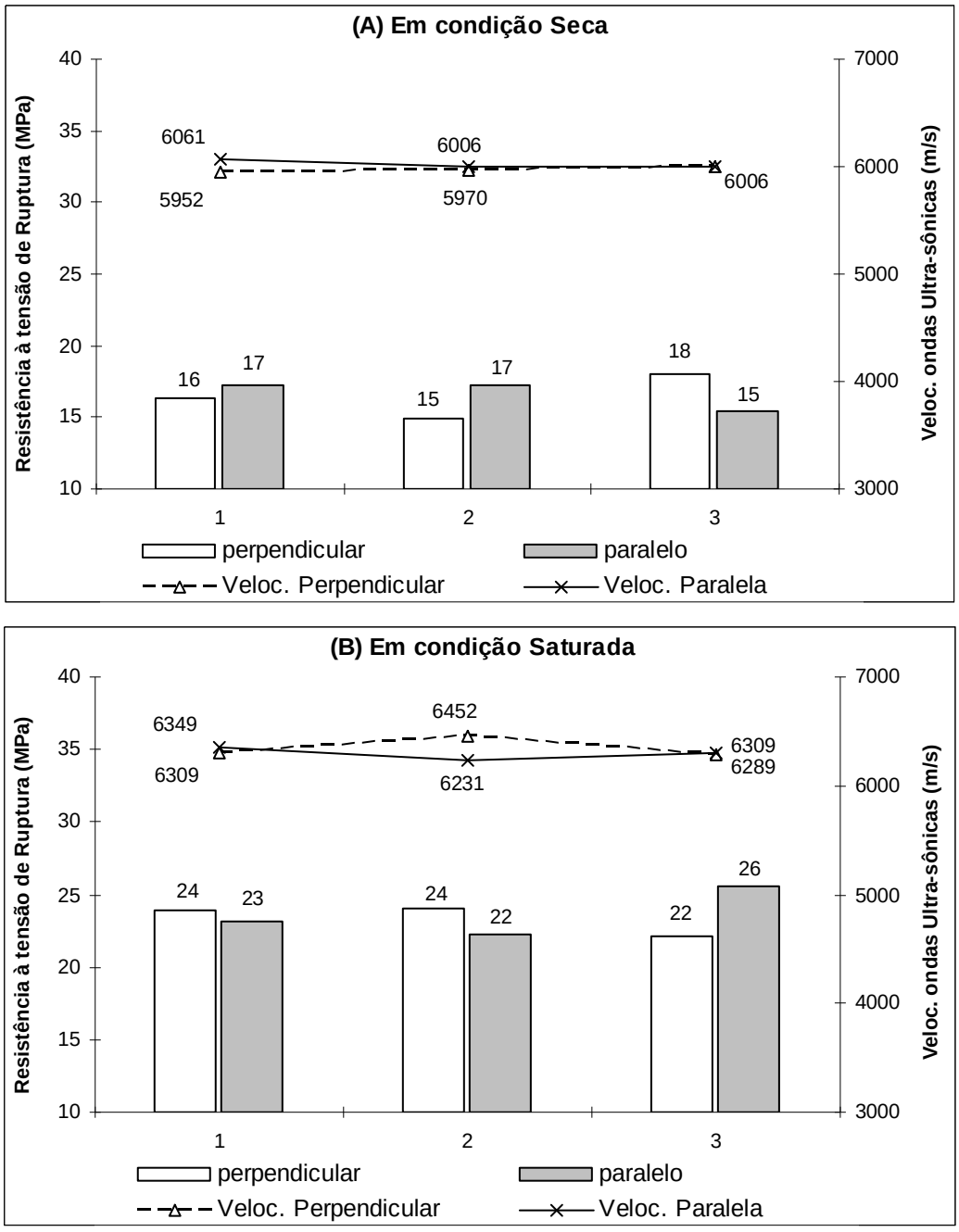


Figura 6.13: Relação dos resultados da resistência à flexão versus a velocidade de ondas ultra-sônicas do gnaisse enderbítico Verde Choró. A) em condição seca; B) em condição saturada

Como anteriormente citado, para o ensaio de resistência à flexão, devido à segunda foliação existente no Verde Choró, ocorreram algumas inversões nos valores encontrados quando realizados os ensaios segundo as direções paralela e perpendicular à foliação. Observados por meio das médias das tensões, no sentido perpendicular seco = 16 MPa; saturado = 23 MPa e paralelo seco = 17 MPa; saturado = 24 MPa.

Para o Verde Choró, o índice de anisotropia na condição seca foi de 1,8% e na condição saturada de 0,9%, o que demonstra que o material é anisotrópico.

De um modo geral, os três gnaisses enderbíticos estudados apresentam resistência satisfatória, o que determina que não há restrições quanto a sua aplicação.

A inversão dos valores quando da realização do ensaio nos sentido paralelo e perpendicular provavelmente é resultante do comportamento estrutural que os terrenos de origem desses materiais apresentam, principalmente por serem regiões geológicas próximas às zonas de cisalhamento.

6.4 DESGASTE ABRASIVO AMSLER – NBR-12042 (ABNT, 1992e)

A resistência dos materiais rochosos está intimamente relacionada à dureza dos seus constituintes minerais, da sua compacidade, da granulação e do arranjo textural, que apresentam e, em geral, influencia nos custos de polimento e acabamento desses materiais.

A abrasão, neste ensaio, é dimensionada pelo desgaste superficial por atrito sofrido pelas placas pétreas com a realização de percurso de 1000 metros sobre um disco de aço com areia quartzosa.

O ensaio de desgaste abrasivo foi realizado para os gnaisses enderbíticos Verdes Netuno, Santa Cruz e Choró, nas condições seca e saturada, e não foram consideradas as direções de foliação comumente examinadas nos ensaios anteriores.

Os resultados do ensaio de resistência ao desgaste abrasivo estão sintetizados na tabela 6.4. De um modo geral, o coeficiente de desgaste dessas rochas se encontra abaixo dos valores máximos sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), uma vez que os autores sugerem que esse valor deve ser igual ou inferior a 1,0mm e as rochas estudadas apresentam valores que oscilam entre 0.7 mm e 0.9mm, ou seja, entre 6 e 26%.

Tabela 6.4 - Resultados do ensaio de desgaste Amsler para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Parâmetros		**Verde Netuno**		**Verde Santa Cruz**		**Verde Choró**	
Frazão e Farjallat (1995)	**ASTM C 615 (1992)**	**Seco (mm)**	**Saturado (mm)**	**Seco (mm)**	**Saturado (mm)**	**Seco (mm)**	**Saturado (mm)**
<1	n.e.	0,75 0,80	0,95 0,93	0,81 0,78	0,71 0,77	0,82 0,86	0,83 0,86
Média		**0,8**	**0,9**	**0,8**	**0,7**	**0,8**	**0,9**

n.e.: não especificado

Como os materiais pétreos ricos em quartzo geralmente apresentam maior resistência ao desgaste abrasivo, relacionamos os teores de quartzo ao desgaste sofrido após o percurso de 1000 metros nos estados seco e saturado (figura 6.14).

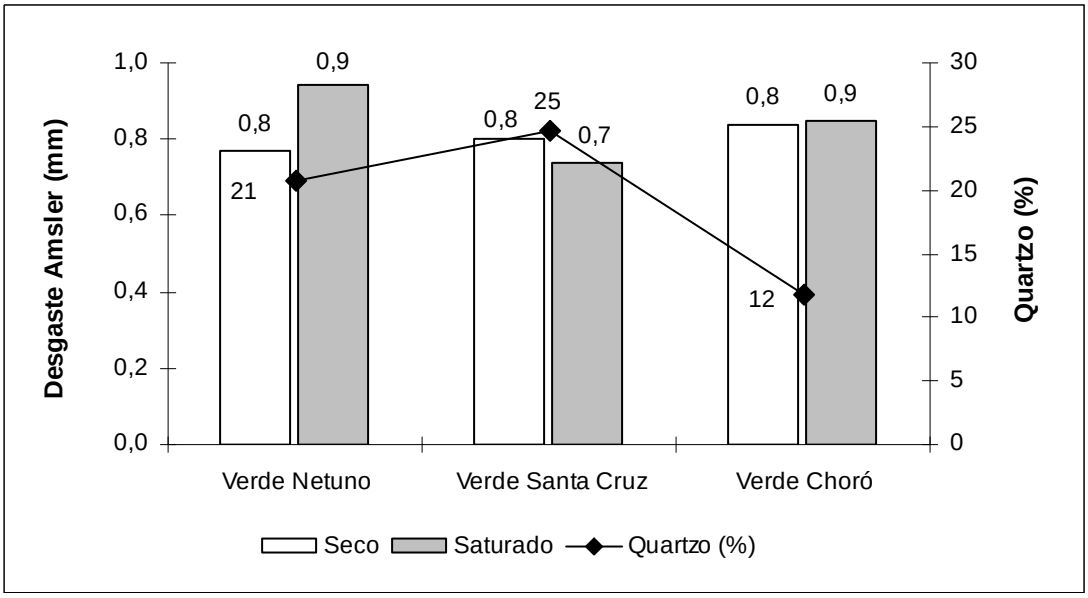


Figura 6.14: Relação entre o desgaste Amsler e a porcentagem de quartzo na composição mineralógica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Na condição seca, o gnaisse enderbítico Verde Choró exibe desgaste abrasivo mais acentuado em relação aos demais gnaisses. Provavelmente isso de deve ao maior índice de minerais escuros (44,6%), ao grau de alteração (1-2) e à menor quantidade de quartzo (11,8%). Já o Verde Netuno exibe o menor desgaste, o que é reflexo dos valores relativamente menores do índice de minerais escuros (43,3%), grau de alteração (1), e de um maior teor de quartzo (20,8%). No gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz, observa-se uma relação mais marcante entre o teor de quartzo (24,6%), um pouco mais elevado, e o valor mais baixo do desgaste (0,80 mm).

De um modo geral, quando saturadas, as rochas devem apresentar uma resistência menor à abrasão, pois está associada a sua porosidade e permeabilidade.

No estado saturado, verifica-se que o gnaisse enderbítico Verde Netuno apresenta o maior valor de desgaste (0,94 mm), o que é, provavelmente, reflexo da sua granulação média (grãos de 3-7 mm) e, principalmente, pólo fato de apresentar os maiores valores de porosidade (0,55%) e absorção de água (0,20%).

No Verde Santa Cruz, ocorre uma pequena inversão no valor de desgaste saturado (0,74 mm), já que este material apresenta granulação média-fina (grãos de 1-3 mm), porosidade (0,23%) e absorção de água baixa (0,09%).

Quando analisados os valores médios de desgaste nas condições seca e saturada, torna-se mais visível à relação do teor de quartzo com o desgaste destes materiais rochosos (figura 6.15).

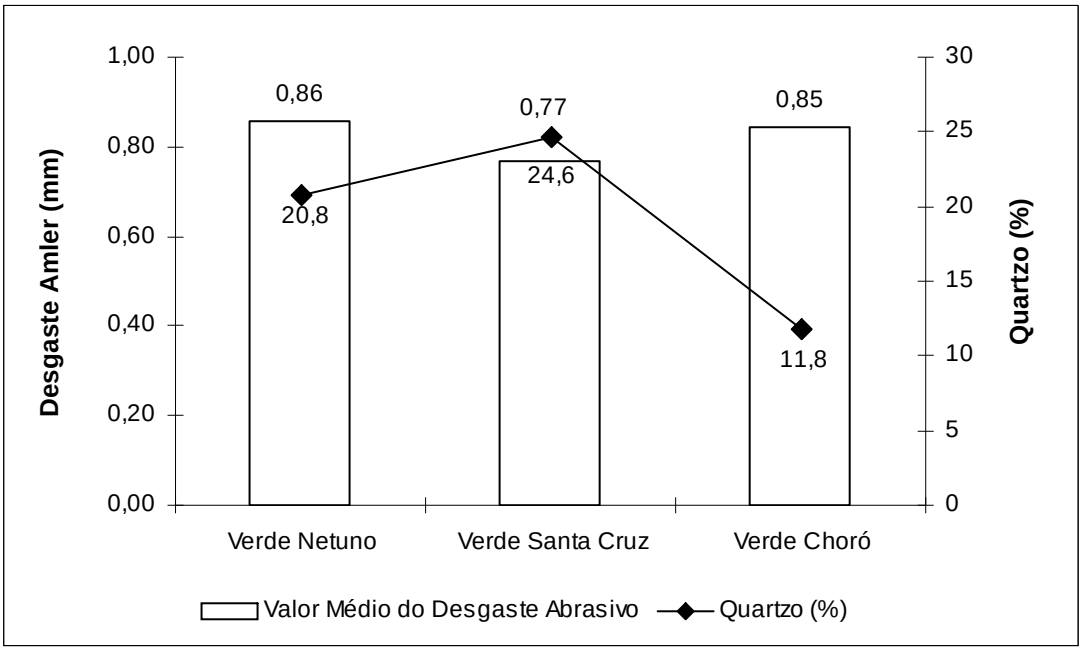


Figura 6.15: Relação entre o desgaste médio Amsler e a porcentagem de quartzo na composição mineralógica dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

A partir desse ensaio, podem-se ordenar os gnaisses enderbíticos estudados, por grau de resistência ao desgaste abrasivo Amsler no estado seco, do mais ao menos resistente, em: Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró. Essas posições são reflexo da granulação, do teor de quartzo e do índice de minerais escuros que apresentam. Além de se poder classificar os gnaisses nessa ordem, pode-se verificar que exibem resistência satisfatória para sua utilização em pisos de ambientes de alto tráfego.

6.5 DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR - NBR-12765 (ABNT, 1992)

Dilatação é a propriedade que os materiais têm de se expandir ou contrair com a variação de temperatura; dilatam-se quando aquecidos e contraem-se quando resfriados. As rochas, assim como a maioria dos materiais, apresentam valores de dilatação variados.

As rochas analisadas são poliminerálicas e cada espécime mineral presente nas suas constituições possui um coeficiente de dilatação térmica especifico. A direção cristalográfica e o arranjo do mineral dentro da rocha determinam o sentido de maior dilatação.

Nessas rochas não foram possíveis as determinações dos eixos cristalográficos dos diversos minerais, portanto foram realizados os ensaios de dilatação em três corpos de prova com diferentes direções de estiramento: X, Z e Y que representam, respectivamente, as direções maior, intermediária e menor de estiramento mineral.

Em conjunto com o ensaio de dilatação térmica linear foi realizada a determinação da velocidade de ondas ultra-sônicas longitudinais, antes e após o ensaio, com o intuito de se verificar o comportamento mecânico dos materiais.

Os resultados obtidos neste ensaio estão listados na tabela 6.5 e representados na figura 6.16.

Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de dilatação térmica linear dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Amostras / **Frazão & Farjallat (1995) (x10^{-3} mm/mºC)**	**Verde Netuno**			**Verde Santa Cruz**			**Verde Choró**		
	Z	Y	X	Z	Y	X	Z	Y	X
	(x 10^{-3} mm/mºC)			(x 10^{-3} mm/mºC)			(x 10^{-3} mm/mºC)		
≤ 12,0	4,60	4,57	6,82	5,81	6,07	7,40	7,37	4,73	6,87
Média do Coeficiente de Dilatação	**5,33**			**6,42**			**6,32**		
Medida de ondas no estado seco antes do ensaio (m/s)	4637	5803	5729	6147	6260	6142	5870	6247	6138
Medida de ondas no estado saturado antes do ensaio (m/s)	5658	6471	6335	6456	6440	6451	6325	6472	6447
Medida de ondas no estado saturado depois do ensaio (m/s)	5730	6379	6203	6503	6487	6227	6415	6615	6589
Medida de ondas no estado seco depois do ensaio (m/s)	4367	5621	5386	6023	6217	5938	5794	6120	5934

Y – Direção intermediária de estiramento; Z – Direção de menor estiramento; X – Direção de maior estiramento

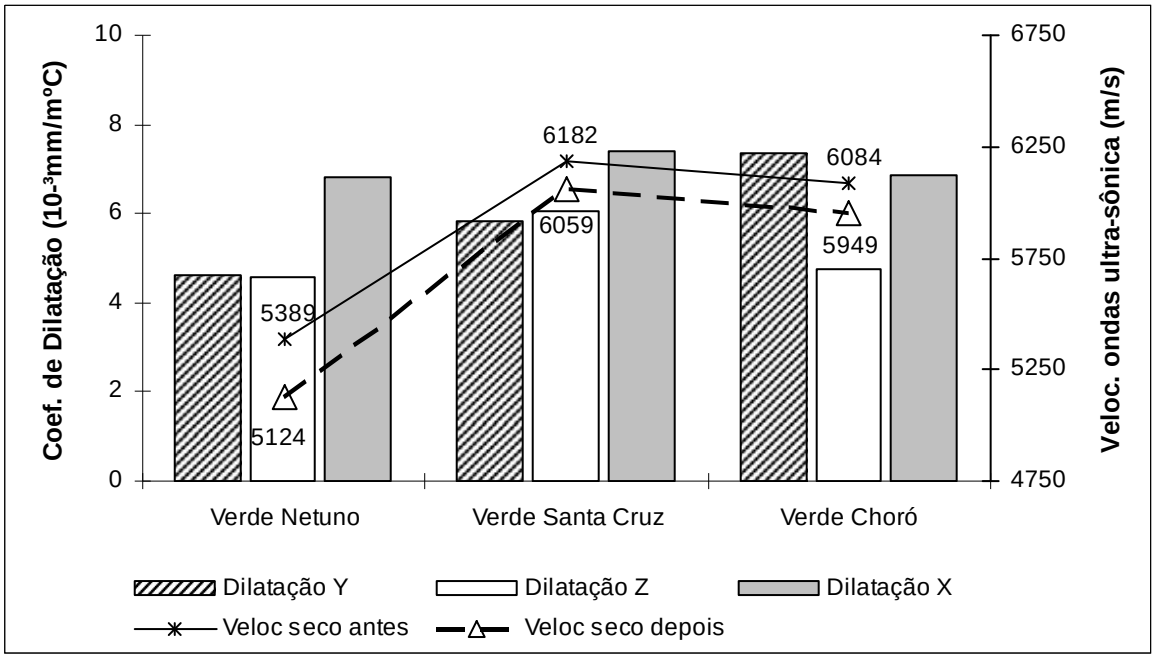


Figura 6.16: Relação entre as diferentes direções de dilatação (Y – Direção intermediária de estiramento; Z – Direção de menor estiramento; X – Direção de maior estiramento) e média da velocidade de onda ultra-sônica para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Os valores do coeficiente de dilatação térmica linear estão bem abaixo daqueles sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), que determinam que o coeficiente de dilatação deve ser ≤ 12 x 10^{-3} mm/mºC.

Observa-se que há variações no coeficiente de dilatação nas três direções, Y, Z e X, o que confirma a anisotropia dos materiais estudados.

O maior coeficiente de dilatação encontrado corresponde ao do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz (6,42 x 10^{-3} mm/mºC) que não apresenta microfissuras intergrãos, cuja granulação é média a fina e apresenta alto teor de biotita (20,0%), exibindo também as velocidades mais altas tanto antes, quanto depois do ensaio (6182 e 6059 m/s).

Os resultados indicam que dentre os três gnaisses enderbíticos o Verde Santa Cruz apresenta o melhor condicionamento físico-mecânico, enquanto o menor dos valores foi registrado para o Verde Netuno (5,33 x 10^{-3} mm/mºC), que apresenta maior índice de porosidade (0,55%) e de microfissuras intergrão (0,14/mm), menor teor de biotitas (17,3%), e valores de velocidades de ondas ultra-sônica (5389 e 5124 m/s). Com valores intermediários está o Verde Choró (6,32 x 10^{-3} mm/mºC), ques apesar de apresentar o maior número de

microfissuras intragrão (3,6/mm), possui um teor de biotita (20,4%) semelhante ao Verde Santa Cruz.

A presença de biotita pode ter influenciado no coeficiente de dilatação térmica linear. Meyer (2003) associa os altos valores de dilatação térmica linear dos monzonitos ao elevado porcentual de biotita, entre 23 a 26%, e de opacos, de 2 a até 5%. As micas, em geral, apresentam β entre 21-34 x 10^{-3} mm/mºC.

Quanto maiores as descontinuidades dos vazios, menores serão as velocidades de ondas ultra-sônicas. Assim, quanto maiores as descontinuidades, menor o coeficiente de dilatação, já que existem espaços para serem preenchidos pela expansão mineral.

Em geral, a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas está diretamente relacionada à anisotropia, ao grau de alteração e à coesão dos materiais.

Os valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, tanto na condição seca (5124 a 6182 m/s) quanto na saturada (5104 a 6539,5 m/s), estão bem acima dos sugeridos por Frazão e Farjallat (1995), ou seja, > 4.000 m/s no estado seco. Isso indica que os materiais utilizados no ensaio de dilatação térmica linear não apresentam problemas estruturais ou de alterações que possam prejudicar e/ou interferir nos resultados, fornecendo mais uma ferramenta na avaliação do comportamento do material pétreo após sua dilatação e resfriamento.

No geral, esses dados sugerem não haver restrições à utilização dos gnaisses enderbíticos estudados em locais que ocorram variações de temperaturas, tais como fachadas e piso.

CAPÍTULO 7

ALTERAÇÃO/ALTERABILIDADE: RESULTADOS E DISCUSSÕES

As rochas ornamentais constituem uma ótima opção em obras de construção civil, como revestimento para pisos e paredes, graças à durabilidade e aos efeitos estéticos que proporcionam. Além disso, adaptam-se a ambientes interiores e exteriores, admitem inúmeros tipos de tratamento e ainda garantem manutenção simplificada. Para alcançar os resultados visuais pretendidos, é preciso considerar certas particularidades de cada rocha, tais como o índice de absorção de água e os tipos de tratamento que podem ser aplicados. A mal integração rocha/ambiente poderá traduzir-se em alteração.

Para o ensaio de resistência ao ataque químico são necessários simulações dos ambientes agressivos em escala de tempo humano, já que os fenômenos naturais de alterações das rochas se processam em escala do tempo geológico. Assim, o ensaio de alterabilidade nada mais é que a simulação acelerada do envelhecimento dos materiais rochosos sob o efeito de agentes naturais e/ou antropogênicos.

O grau de alterabilidade dos minerais é uma característica fundamental no estudo das rochas, principalmente para aproveitamento como rochas ornamentais.

As rochas ortoderivadas aqui estudadas apresentam apenas alterações observadas ao microscópio, tais como saussuritização do plagioclásio e/ou alterações das biotitas e dos piroxênios. Os problemas relacionados ao aparecimento de manchas ferruginosas, geralmente estão associados à liberação de óxido de ferro pelas alterações da biotita, do anfibólio, do piroxênio e das granadas, mas, no caso dos gnaisses enderbíticos, tais manchas não são visíveis, por serem de cor escura o que mascara essas observações.

Quando os produtos resultantes dos processos de deterioração aparecem, são praticamente impossíveis de reverter, por isso, é imprescindível o conhecimento antecipado das possíveis deteriorações em situações de uso.

Os ensaios aqui realizados simulam situações referentes ao manuseio, ao uso, à conservação do material e a fatores ambientais ou atmosféricos tais como: resistência ao ataque químico, exposição à névoa salina, ensaio de lixiviação contínua utilizando o extrator Soxhlet e exposição ao dióxido de enxofre.

7.1 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Neste caso optamos pela realização do ensaio de alterabilidade que simula o envelhecimento a partir de substâncias utilizadas na limpeza e na conservação dos materiais após sua aplicação, baseado no procedimento da norma NBR 13818 (ABNT, 1997) Anexo H de Placas Cerâmicas para Revestimento.

Como se trata de materiais naturais, as rochas ornamentais e para revestimento, quando expostas as tais agentes, respondem diferentemente dos materiais cerâmicos. Sendo assim, os procedimentos utilizados para a avaliação das alterações causadas pelos agentes químicos na superfície da rocha são diferenciados aos adotados na norma.

O polimento é o processo que confere à superfície da rocha brilho/lustro, que realça a coloração predominante dos diferentes minerais presentes no material. O brilho/lustro é conseguido pela eliminação das rugosidades presentes na superfície da peça e pelo fechamento dos poros entre os diferentes minerais ou cristais que formam o material.

Os resultados quantitativos obtidos no ensaio de resistência ao ataque químico relativo à perda do brilho (PB) para os gnaisses enderbíticos estão dispostos na tabela 7.1.

Tabela 7.1: Perda de brilho após o ataque químico dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Amostras / **Brilho** / **Agentes Agressivos**	**Verde Netuno**			**Verde Santa Cruz**			**Verde Choró**		
	Brilho Inicial	Brilho Final	**PB (%)**	Brilho Inicial	Brilho Final	**PB (%)**	Brilho Inicial	Brilho Final	**PB (%)**
2. Ácido Clorídrico (3%)	50,67	49,16	**2,98**	59,33	51,17	**13,75**	59,67	39,67	**33,50**
3. Hidróxido de Potássio (100g/l)	49,17	37,60	**23,50**	54,50	46,17	**15,30**	57,00	40,50	**28,90**
4. Hipoclorito de Sódio (20mg/l)	57,50	47,50	**17,40**	54,83	43,16	**21,20**	54,83	39,67	**27,6**
5. Ácido Cítrico (100g/l)	48,67	38,84	**20,20**	50,38	45,83	**8,90**	50,00	32,34	**35,30**
6. Cloreto de Amônia (100g/l)	47,50	44,66	**5,90**	45,33	40,83	**9,90**	47,00	38,00	**19,10**

PB – Perda de brilho

Os dados da perda de brilho revelam-se, de um modo geral, elevados (figura 7.1), o que pode estar relacionado à qualidade do polimento inicial dos materiais, que foi realizado de forma artesanal, não atigindo índices de brilho inicial satisfatórios, que em geral, deve ficar

em torno de 80. A realização do polimento artesanal se deve ao fato de os gnaisses enderbíticos não serem explotados comercialmente, não se dispondo, portanto, de chapas polidas.

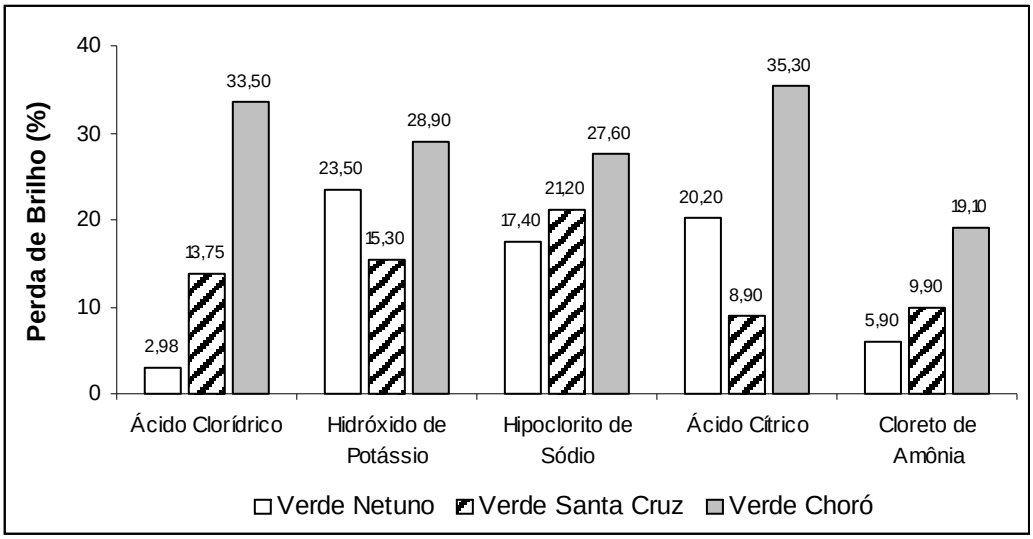


Figura 7.1: Perda de brilho (%) em relação ao brilho inicial, após ensaio de ataque químico para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Na correlação deste conjunto de dados observa-se que todas as soluções usadas no ataque dos gnaisses enderbíticos afetaram, em maior ou menor grau, o seu brilho.

A substância que demonstrou maior agressividade foi o ácido cítrico, quando aplicado às amostras do Verde Choró (PB=35,30%). Por outro lado, a menor perda foi ocasionada pela adição do ácido clorídrico ao Verde Netuno (PB=2,92%). Daí se verifica que a perda de brilho varia em função de inúmeros fatores: composição modal, porosidade, grau de alteração mineral, etc. e dos diferentes agentes agressivos utilizados.

Observa-se que os gnaisses submetidos ao ácido clorídrico, ao hipoclorito de sódio e ao cloreto de amônia apresentam perda de brilho inicial crescente, sempre seguindo a seqüência: Verdes Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró. Entretanto, essa seqüência é truncada pelo Verde Santa Cruz para os compostos hidróxido de potássio e ácido cítrico, casos em que exibe sempre a menor perda de brilho. Verifica-se que o Verde Choró foi o mais afetado por todas as substâncias utilizadas, com perda de brilho entre 19,1 a 35,3%. Os outros dois tipos apresentam valores intermediários e variáveis de perda de brilho, destacando-se que

o intervalo de variação para o Verde Netuno é bem mais amplo (2,98% até 23,5%), do que para o Verde Santa Cruz (8,9% a 21,2%).

7.1.1 COMPORTAMENTO DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS PERANTE O ÁCIDO CLORÍDRICO

Também conhecido como ácido muriático e hidroclórico, o ácido clorídrico (HCl) é utilizado no:

Capítulo 1 Tratamento de metais ferrosos;

Capítulo 2 Acidificação de poços de petróleo;

Capítulo 3 Flotação e processamento de minérios;

Capítulo 4 Indústria alimentícia;

Capítulo 5 Indústria farmacêutica;

Capítulo 6 Neutralização de efluentes.

Por ser um composto químico miscível, em todas as proporções, em água e solúvel em álcool, éter, benzeno, acetona, ácido céptico e clorofórmio, é muito usado na composição dos materiais de limpeza, no entanto há restrições quanto ao seu uso na manutenção dos materiais pétreos.

O ácido clorídrico é considerado o agente mais agressivo, mas é possível observar que isso depende do tipo de material pétreo em que for utilizado, já que na placa do gnaisse enderbítico Verde Netuno ocasionou a menor perda de brilho, mesmo havendo perda de cor.

Os gnaisses enderbíticos atacados com esse ácido tiveram comportamentos semelhantes do ponto de vista das observações visuais. Apresentaram descolorações evidentes, que tornaram as superfícies das placas polidas esbranquiçadas, como resultado da lixiviação, principalmente dos minerais máficos biotita, anfibólio, granada e piroxênio (Prancha V, VI e VII – figuras 02). Não foram observadas, no entanto concentrações de materiais no tardoz das placas (face rugosa), o que geralmente ocorre quando há lixiviação de minerais. Esse fato pode ser relacionado aos índices físicos (porosidade e absorção de água) cujos valores exibidos por essas rochas são relativamente baixos.

Entretanto, nota-se sutil corrosão na superfície polida. Essa corrosão só é perceptível ao tato e se observada com lupa. É possível identificar que os minerais retirados foram plagioclásio, biotita e/ou anfibólio.

Os Verdes Netuno e Choró tiveram respectivamente a menor (2,98%) e a maior perda de brilho (33,50%), provavelmente relacionada ao índice de minerais escuros de 43,3% e 44,6%, o que é corroborado pelos valores proporcionais intermediários de perda de brilho (13,75%) e pela porcentagem de máficos (36,7%) no Verde Santa Cruz (figura 7.2). Também é variável a porcentagem de minerais siálicos que são mais ou menos susceptíveis ao ataque ácido. Assim, o Verde Choró, que apresenta um teor de quartzo baixo (11,8%), torna-se menos resistente ao ataque químico.

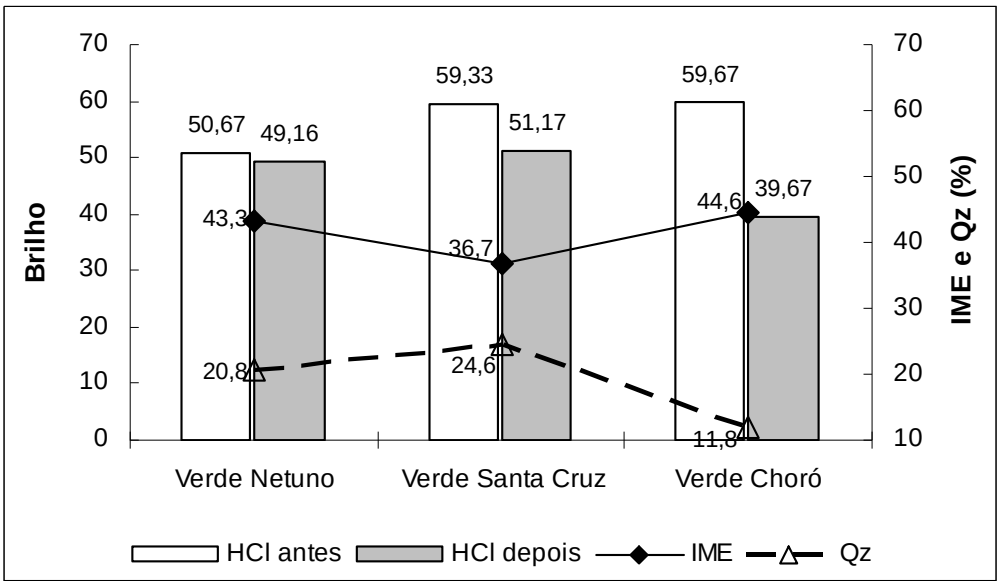


Figura 7.2: Relação do brilho inicial e final após ataque com acido clorídrico versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo (Qz) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

7.1.2 COMPORTAMENTO DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS PERANTE HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO

O hidróxido de potássio (KOH), também conhecido como potassa cáustica, é usado para alvejamento, na fabricação de sabões moles e no processamento de certos alimentos.

O hidróxido de potássio tem pH básico e está presente na composição da maioria dos materiais de limpeza. É aparentemente inofensivo, entretanto seu ataque ao brilho demonstra que é na verdade, uma substância bastante agressiva, estando entre os três primeiros mais agressivos.

Quando aplicado nas placas pétreas não provocou mudanças visuais tais como descoloração, entretanto, apresentou, principalmente no Verde Choró uma sutil corrosão com a retirada de plagioclásio, biotita e/ou anfibólio.

Com a aplicação dos efeitos de giz carvão, de que o editor de tratamento de imagens Microsoft Photo Editor® (Prancha VIII - A, B e C) dispõe, foi possível observar que realmente houve alterações, se não cromáticas, corrosivas e/ou mesmo resultante da perda do brilho. Para todas as placas, essas feições estão bem marcadas, principalmente na placa 3 da prancha VI (Verde Santa Cruz) atacada com hidróxido de potássio que está na novamente representada na prancha VIII - B.

Quanto à perda de brilho (figura 7.3), a amostra mais susceptível foi o Verde Choró com perda de 28,95%, reflexo do maior índice de minerais escuros (44,6%) e o mais baixo valor de quartzo (11,8%). O Verde Netuno apresentou perda intermediária, de 23,5%, e o Verde Santa Cruz que possui maior teor de quartzo (24,6%), apresentou menor perda de brilho, de 15,3%.

Pelas observações feitas, os materiais também são susceptíveis ao ataque com hidróxido de potássio, que é um agente básico (pH=14), e requer, por isso, cuidados em relação a sua aplicação para limpeza e manutenção de rochas ornamentais.

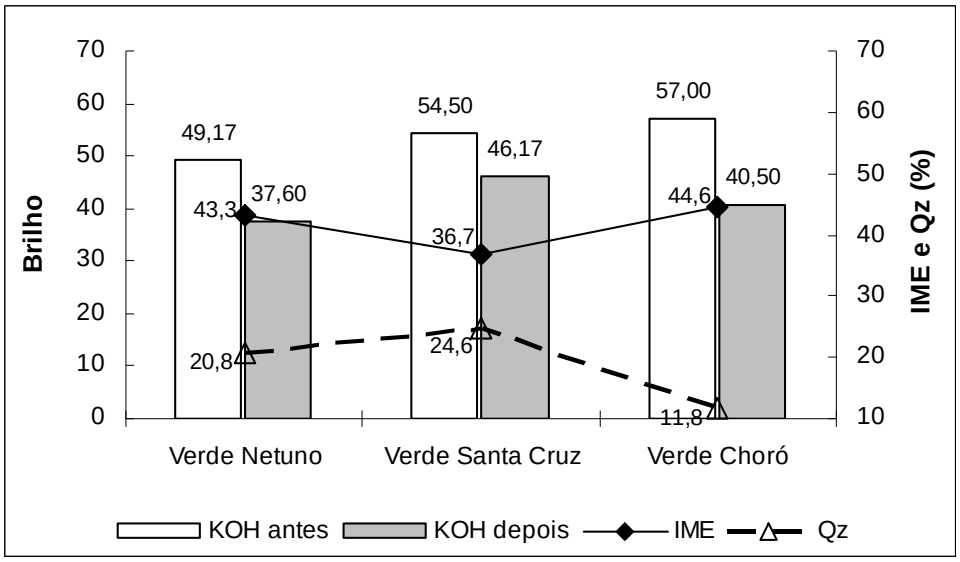


Figura 7.3: Relação do brilho inicial e final após ataque com hidróxido de potássio versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo (Qz) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

7.1.3 COMPORTAMENTO DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS PERANTE O HIPOCLORITO DE SÓDIO

O hipoclorito de sódio (NaClO) é o principio ativo da maioria dos produtos de limpezas, sendo muito usado na:

9. Desinfecção hospitalar;
10. Produção de água sanitária;
11. Tratamento de águas;
12. Intermediário na fabricação de produtos químicos;
13. Tratamento de efluentes industriais;
14. Branqueamento de celulose e têxteis;
15. Uso doméstico.

Além disso, é solúvel em água, o que torna um dos agentes mais utilizados na composição dos produtos de limpeza, dentre os queis o mais comum é a água sanitária.

Quando aplicado aos gnaisses enderbíticos, não foram observadas mudanças na coloração. O Verde Netuno não apresenta corrosão, o Verde Santa Cruz apresenta aspecto fosco e o Verde Choró apresenta corrosão e remoção de minerais (biotita e/ou anfibólio).

As rochas apresentaram perda de brilho que varia de 17,4% para o Verde Netuno a 27,7% do Verde Choró, cuja amostra utilizada neste ensaio exibe características mais similares com a composição dos granitos (quartzo-feldspática) (figura 7.4), equiparando-se ao Verde Santa Cruz, sempre com porcentagem mais elevada de quartzo (24,6%), exibindo agora, valor de perda de brilho, intermediário de 21,3%.

Assim como no ataque com as substâncias anteriores, as rochas mais ricas em minerais escuros e com baixo teor de quartzo apresentaram maior perda de brilho quando atacadas pelo hipoclorito de sódio placa 4 (pranchas V, VI e VII).

Com base nesse ensaio, recomenda-se, para essas rochas, cautela na aplicação dos materiais de limpeza que possuam em sua fórmula hipoclorito de sódio.

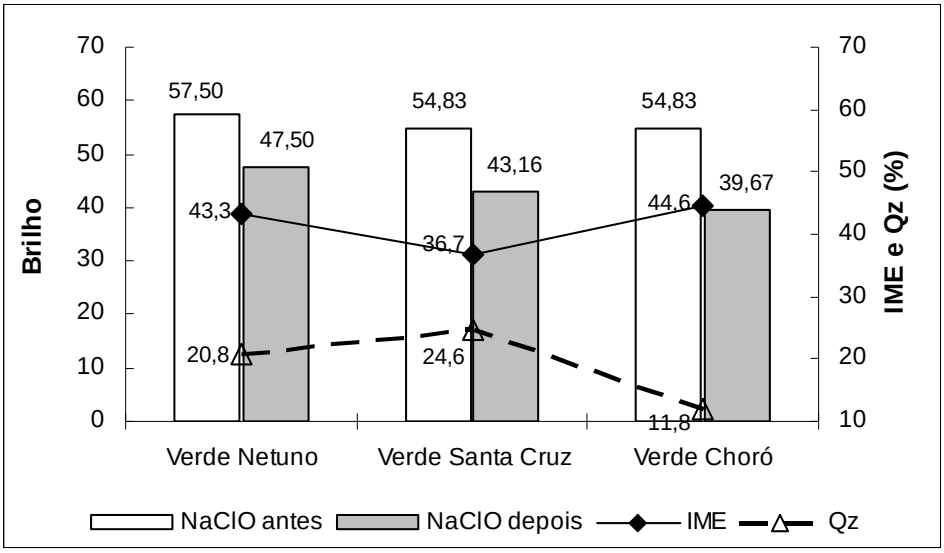


Figura 7.4: Relação do brilho inicial e final após ataque com hipoclorito de sódio versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo (Qz) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

7.1.4 COMPORTAMENTO DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS PERANTE O ÁCIDO CÍTRICO

O ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) é usado como acidulante e estimulante de aroma em refrigerantes, sucos de frutas, geléias, frutas em conserva, balas e produtos de laticínio, além de ser aplicado nas indústrias farmacêuticas, de cosméticos, de detergentes biodegradáveis e até na produção de plásticos.

É um agente comum e que está presente na rotina diária de todos nós e, como muitos outros produtos, pode ocasionar alguns problemas como alteração na cor e até corrosão dos materiais pétreos.

Os gnaisses enderbíticos atacados com o ácido cítrico, à semelhança dos atacados com ácido clorídrico, apresentaram descolorações evidentes, que tornaram as superfícies das placas polidas esbranquiçadas, como resultado da lixiviação, principalmente dos minerais máficos (Prancha V, VI e VII – figuras 05).

Ao tato, apresentam superfícies corroídas. Apresentam aspecto fosco e exibem buracos devido à remoção ou à dissolução dos minerais de plagioclásio, granada, biotita e/ou anfibólio.

Quanto à perda do brilho, as rochas responderam de forma bem distinta. O Verde Choró apresenta maior perda de brilho (35,3%), o Verde Santa Cruz a menor perda (8,9%) e o Verde Netuno apresenta valor intermediário (20,2%), o que está relacionado ao índice de minerais escuros dado por piroxênio, biotita, anfibólio e minerais acessórios, assim como a sua porcentagem de quartzo (figura 7.5).

O tratamento das fotos com o efeito de giz carvão tornou mais visível os pontos de onde foram retirados os minerais (Prancha VIII - A, B e C – figura 05).

Quando comparadas os efeitos do ácido clorídrico com os do ácido cítrico, verifica-se que o poder corrosivo do segundo é bem maior, o que aponta para a necessidade de cuidados quando da utilização de produtos que contenham esse ácido. Esses cuidados devem ser tomados tanto com de produtos de limpeza quanto com bebidas ou alimentos que eventualmente podem ser derramados sobre a superfície do material pétro.

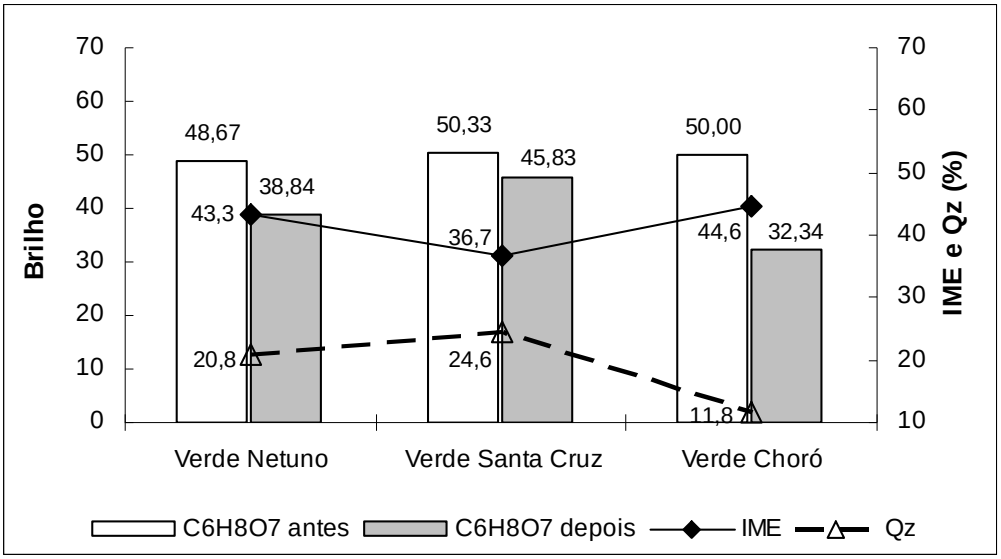


Figura 7.5: Relação do brilho inicial e final após ataque com ácido cítrico versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo (Qz) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

7.1.5 COMPORTAMENTO DOS GNAISSES ENDERBÍTICOS PERANTE CLORETO DE AMÔNIA

O cloreto de amônia (NH_4Cl) é obtido em solução aquosa do gás de amônia e comercializado como amoníaco.

É usado na fabricação de produtos de limpeza doméstica, na revelação de filmes fotográficos, em detergentes, na indústria têxtil etc.

Visualmente não ocorreram mudanças na coloração das rochas analisadas e com relação à perda de brilho as rochas apresentaram um comportamento satisfatório, já que essa variou de 5,9 a 19,1% (figura 7.6).

No Verde Choró ocorreu uma sutil corrosão com a retirada de plagioclásio, biotita e/ou anfibólio. Esse gnaisse apresentou a maior perda de brilho (19,1%), entretanto, como apresenta o maior índice de minerais escuros (44,6%), essa perda superior era previsível.

O Verde Netuno não apresentou mudança de cor ou corrosão. Exibe perda de brilho 5,9%, a menor dentre todas as rochas estudadas.

No Verde Santa Cruz não foi observada modificações nos aspectos estéticos do material, contudo, quando tratadas as fotos com o efeito giz carvão (Prancha VIII - B - figura 06), o local exposto ao ataque por cloreto de amônia aparece bem marcado. Sua perda de brilho foi relativamente baixa, de 9,9%.

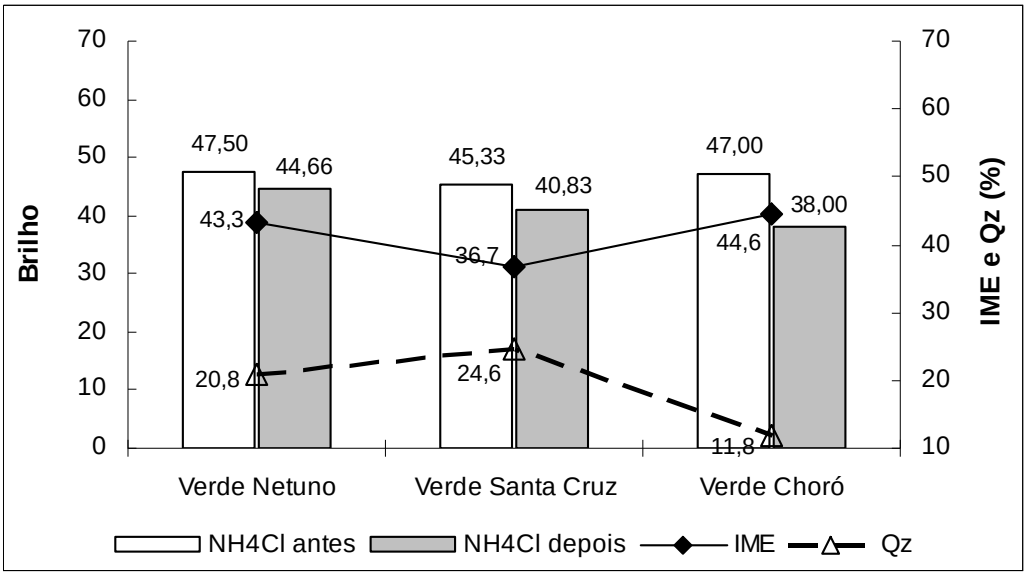
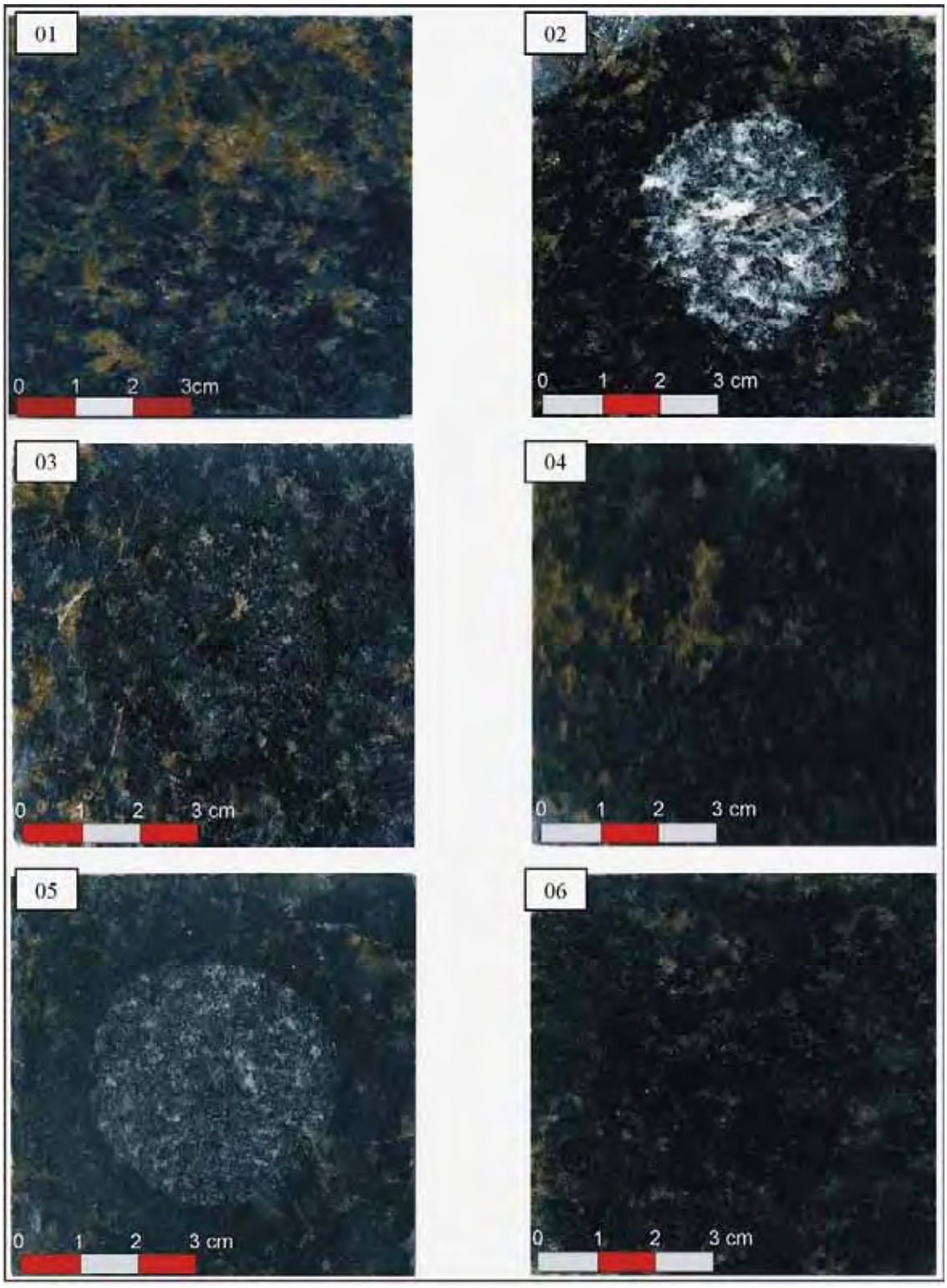


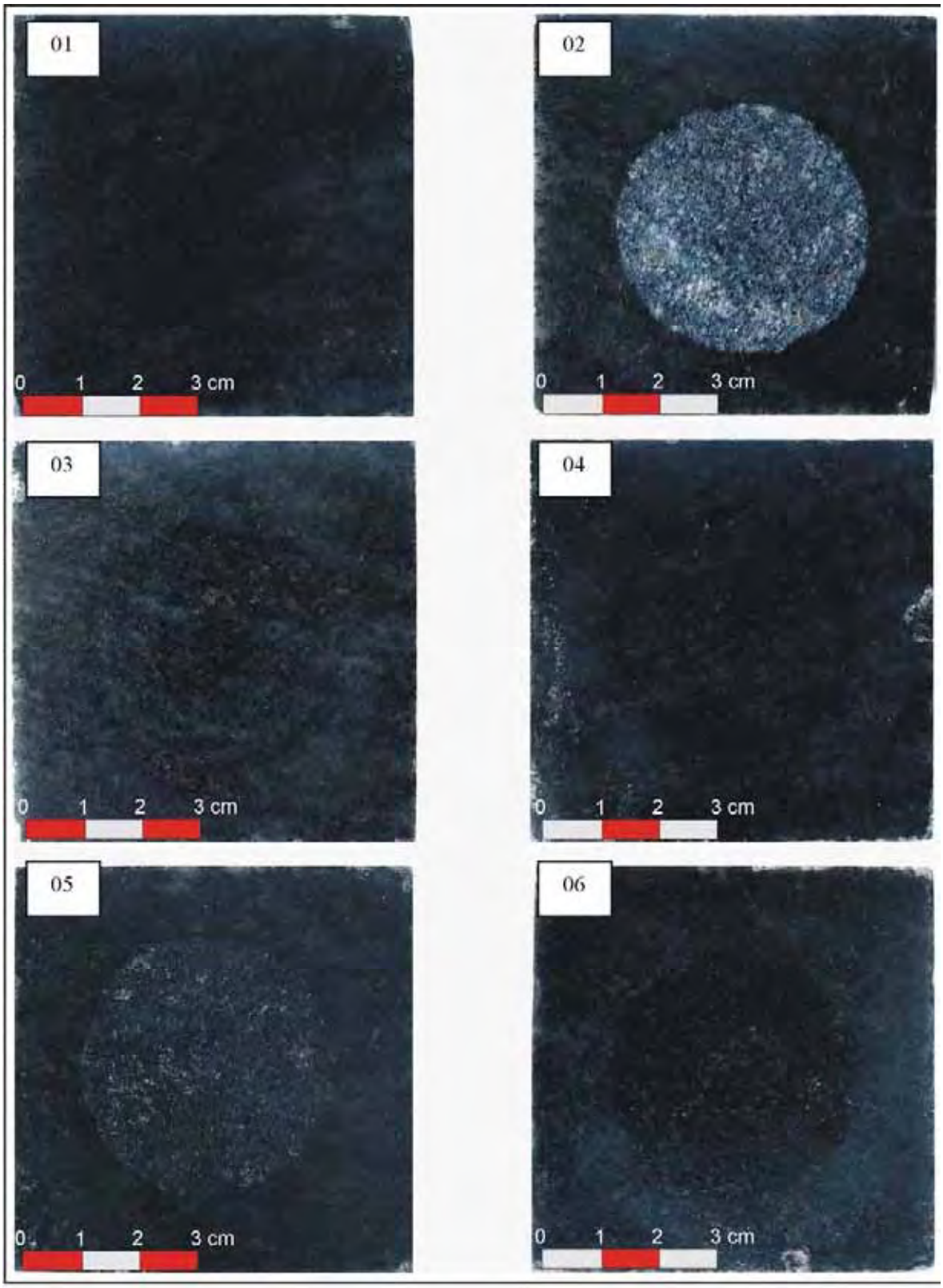
Figura 7.6: Relação do brilho inicial e final após ataque com cloreto de amônia versus o índice de minerais escuros (IME) e o teor de quartzo (Qz) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Como anteriormente destacado, os materiais pétreos apresentam alterações em maior ou menor grau quando atacados por agentes agressivos contidos na maioria dos produtos de limpeza e até em algumas bebidas e/ou alimentos, a exemplo do ácido cítrico. Portanto,

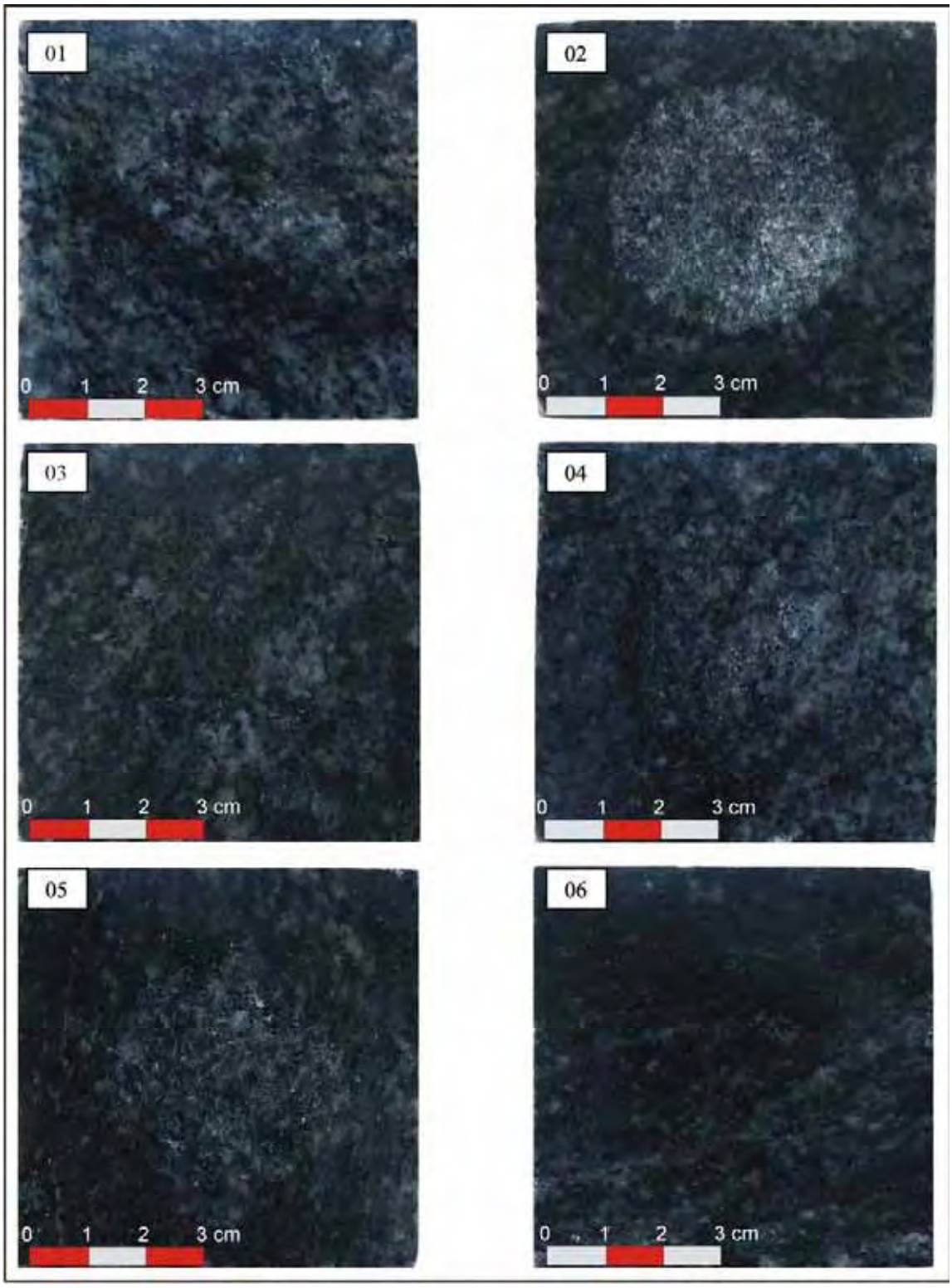
salienta-se a importância de uma avaliação cuidadosa com relação à manutenção desses materiais naturais e do local de sua aplicação.



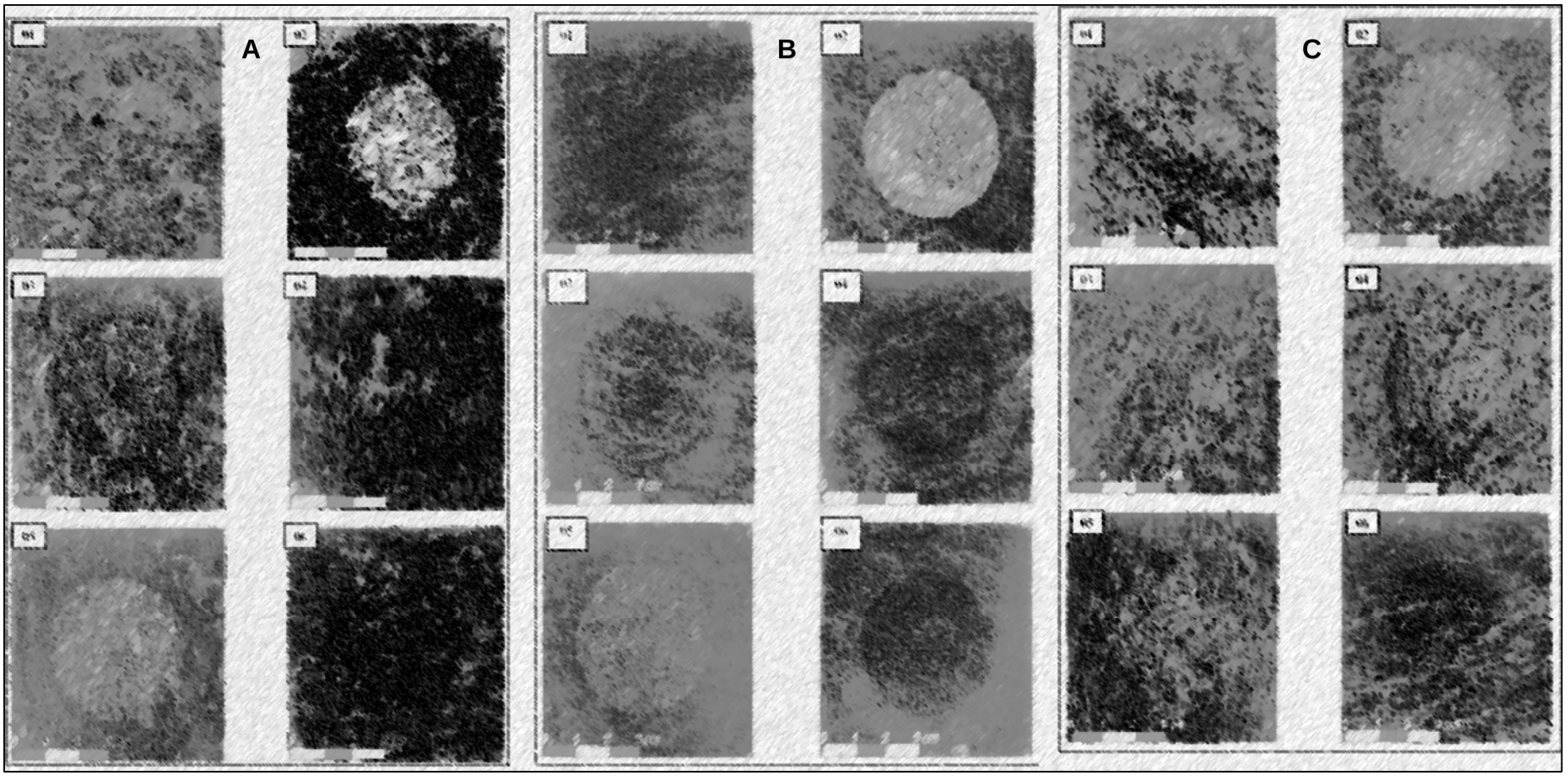
PRANCHA V: Placas polidas do gnaisse enderbítico Verde Netuno usadas no ensaio de resistência ao ataque químico. (1) Placa não atacada; (2) Ação do Ácido Clorídrico (3%); (3) do Hidróxido de Potássio (100 g/l); (4) Hipoclorito de Sódio (20 mg/l); (5) Ácido Cítrico (100 g/l); e (6) Cloreto de Amônia (100 g/l)



PRANCHA VI: Placas polidas do gnaisse enderbítico Verde Santa Cruz usadas no ensaio de resistência ao ataque químico. (1) Placa não atacada; (2) Ação do Ácido Clorídrico (3%); (3) do Hidróxido de Potássio (100 g/l); (4) Hipoclorito de Sódio (20 mg/l); (5) Ácido Cítrico (100 g/l); e (6) Cloreto de Amônia (100 g/l)



PRANCHA VII: Placas polidas do gnaisse enderbítico Verde Choró usadas no ensaio de resistência ao ataque químico. (1) Placa não atacada; (2) Ação do Ácido Clorídrico (3%); (3) do Hidróxido de Potássio (100 g/l); (4) Hipoclorito de Sódio (20 mg/l); (5) Ácido Cítrico (100 g/l); e (6) Cloreto de Amônia (100 g/l)



Prancha VIII: Efeito obtido a partir do Microsoft Photo Editor® – efeito – giz carvão (controle de efeito de carvão 10, giz 6 e risco 1) para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará. A) Prancha V: Verde Netuno; B) Prancha VI: Verde Santa Cruz e; C) Prancha VII: Verde Choró

7.1.6 MANUTENÇÃO DOS MATERIAIS PÉTREOS

Para uma manutenção adequada de materiais pétreos, é necessário inicialmente identificar o tipo de material rochoso, se “Mármores” ou “Granitos”, e buscar conhecimento das características da rocha em questão. Só então poderá projetar o tipo de manutenção adequado. Vimos anteriormente que os materiais pétreos analisados são constituídos em geral de vários tipos de minerais (poliminerálicos), que apresentam comportamentos diferenciados quando submetidos a variados agentes agressivos.

Muitos produtos de limpeza usados no dia-a-dia na manutenção de materiais cerâmicos e outros revestimentos podem danificar o brilho e/ou cor das rochas. Por isso não se recomenda a utilização de:

2. Produtos de limpeza ácidos;
3. Amônia;
4. Produtos de limpeza alcalinos em pó;
5. Produtos de limpeza em pasta;
6. Vinagre;
7. Álcool;
8. Produtos para limpar vidros;
9. Palha de aço e/ou panos abrasivos;
10. Tira manchas.

Os compostos usados na manutenção de pedras naturais devem apresentar pH neutro. Na medida do possível, é indicada a aplicação apenas de produtos desenvolvidos especialmente para limpeza de rochas ornamentais. Não é recomendável lavar os “Granitos” e os “Mármores” com água, visto que essa pode penetrar por entre as placas e manchá-las. Dessa forma, não há necessidade de se utilizar nada além de um pano úmido.

Sujeiras e detritos em geral são os inimigos mais prejudiciais das rochas em revestimentos internos. Essas substâncias devem ser eliminadas constantemente, para se evitar seu acúmulo. Aconselha-se para a limpeza, principalmente de pisos, a utilização de pano de chão limpo (algodão ou flanela) umedecido em água morna, que deve ser passado de duas a três vezes ao dia em áreas mais movimentadas.

Todos os reagentes utilizados nos ensaios (quadro 7.1) são substâncias encontradas nos produtos de limpeza ou de uso diário na manutenção de pisos, fachadas e utensílios. Apresentaram sempre algum poder agressivo aos materiais granulíticos, o que reforça a importância da ampliação dos conhecimentos das características tecnológicas das rochas

naturais e de seu comportamento diante das inúmeras possibilidades de alterabilidade que apresentam.

7.2 ALTERAÇÃO ACELERADA POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA

Os ensaios de degradação artificial ou alteração acelerada têm a função de apoiar os diagnósticos de durabilidade das rochas. Nele, tenta-se prever ou avaliar o comportamento das mesmas, quando aplicadas, com o objetivo de evitar uma possível degradação acelerada durante seu uso.

A degradação nesse caso ocorre pela cristalização dos sais nos poros e em fissuras pré-existentes, o que provavelmente exerceria pressões maiores do que a resistência do material, provocando o surgimento de novas fissuras e, conseqüentemente, o aumento na porosidade.

As avaliações dos resultados no ensaio por exposição à névoa salina são feitas através da verificação da perda de massa e da verificação visual das modificações decorrentes nas amostras, como fissuras, manchamentos, desagregações, etc., em comparação com amostra não atacada (referencial) (tabela 7.3).

Tabela 7.3: Perda de massa total após o ensaio por exposição à névoa salina dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Amostra	**Massa (g)**			**ΔM (%)**
	Inicial	**Final**	**Perda de massa**	
Verde Netuno	65,6544	65,5235	0,1309	0,1994
Verde Santa Cruz	59,5437	59,4510	0,0927	0,1557
Verde Choró	66,6786	66,5470	0,1316	0,1974

ΔM (%) – Perda de massa total

Na tabela 7.4a e na figura 7.7a estão dispostos os valores da variação absoluta da perda de massa das amostras em relação ao ciclo anterior, em porcentagem, relativa à amostra inicial. Nelas, é possível observar melhor a evolução de perda e ganho de massa para cada amostra. Na tabela 7.4b e figura 7.7b está a variação acumulada. Nelas é mais fácil visualizar a perda de massa/amostra.

Tabela 7.4a: Variação absoluta da perda de massa das amostras em relação ao ciclo anterior em porcentagem relativa à amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Ciclo / Amostra	Inicial	1º (%)	2º (%)	3º (%)	4º (%)	5º (%)	6º (%)	7º (%)
Verde Netuno	0,0000	0,07890	-0,01782	-0,03183	0,07159	0,02970	0,07220	-0,00335
Verde Santa Cruz	0,0000	0,03779	-0,00873	-0,00537	0,03695	0,03560	0,05223	0,00722
Verde Choró	0,0000	0,05624	-0,02385	-0,00930	0,04529	0,04679	0,07319	0,00900

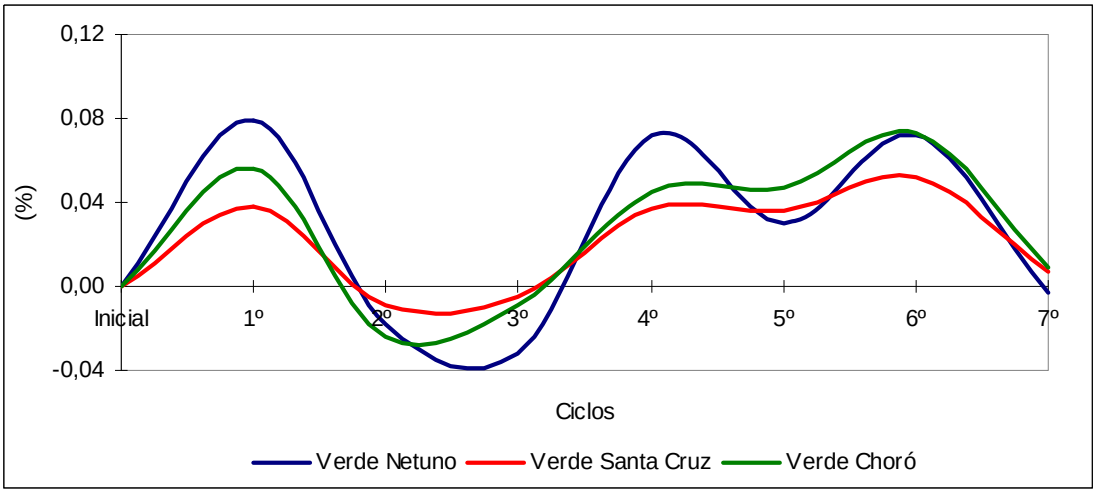


Figura 7.7a: Variação absoluta da perda de massa das amostras em relação ao ciclo anterior em porcentagem relativa à amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Tabela 7.4b: Variação acumulada da perda de massa das amostras dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Ciclo / Amostra	Inicial	1º (%)	2º (%)	3º (%)	4º (%)	5º (%)	6º (%)	7º (%)
Verde Netuno	0,0000	0,00079	0,00061	0,00029	0,00101	0,00131	0,00203	0,00199
Verde Santa Cruz	0,0000	0,00038	0,00029	0,00024	0,00061	0,00096	0,00148	0,00156
Verde Choró	0,0000	0,00056	0,00032	0,00023	0,00068	0,00115	0,00188	0,00197

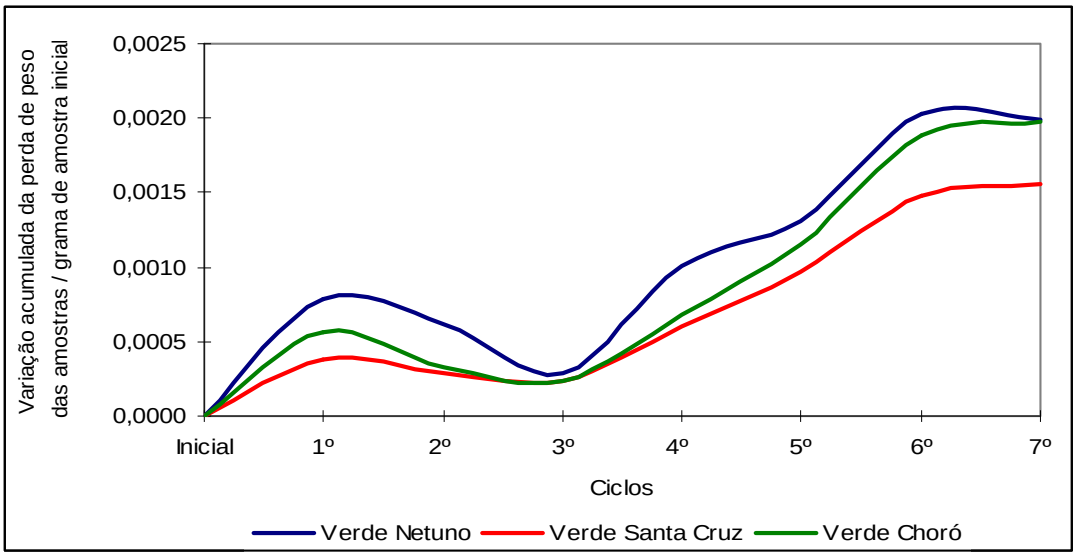


Figura 7.7b: Variação acumulada da perda de massa das amostras/grama de amostra inicial dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Verifica-se que os comportamentos dos gnaisses enderbíticos durante os ciclos de exposição à névoa salina foram semelhantes na perda e no ganho de massa (terceiro e quarto ciclos). A maior perda de massa ocorreu no Verde Netuno seguido do Verde Choró e do Verde Santa Cruz. Esse fato condiz com as características petrográficas das rochas: o Verde Netuno apresenta maiores índice de microfissuras intergrãos (0,14/mm²), porosidade (0,55%) e absorção de água (0,20%) e o Verde Santa Cruz possui o menor índice de minerais escuros (36,7%), valores de porosidade e absorção de água intermediários (0,23 e 0,09%) e não possui microfissuras intergrãos.

Na avaliação visual do Verde Netuno, se observou a formação de cristais de sal sobre a superfície da rocha, mesmo que pouco perceptível ao tato (figura 7.8c). Observa-se, ainda, algumas acículas de sal distribuídas caoticamente e localmente e, em uma das bordas do corpo-de-prova, houve início de germinação de cristal de sal euedral.

No tardoz do corpo e nas laterais, formaram-se alguns cristais de sal euedrais (figura 7.8a). Além disso verificou-se o surgimento de pontos acastanhados, provavelmente resultante da oxidação da biotita, que de acordo com a química mineral, classifica-se em ferríferas (teor de $FeO_{(17,64-23,44)}$) (figura 7.8b).

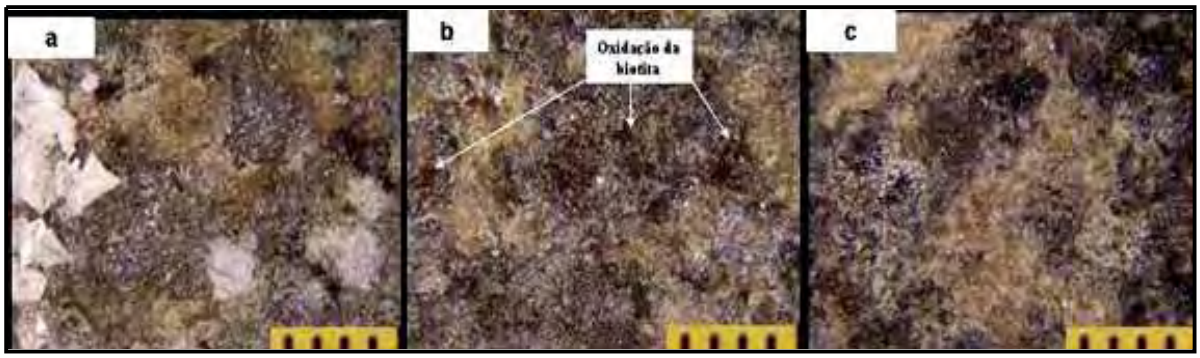


Figura 7.8: Aspecto visual do Verde Netuno após o ensaio de exposição à névoa salina. a) Cristais de sal na tardoz da placa; b) Surgimento de pontos acastanhados; c) Superfície da placa sem cristais de sal

No Verde Santa Cruz, o sal é perceptível somente ao tato. O mesmo está distribuído caoticamente por toda a rocha, exceto em uma das bordas do corpo-de-prova, onde ocoreeram nucleação de cristais maiores, com disposição das linhas de crescimento euedrais.

Atráves da observação com lupa, além desses, ocorrem cristais anedrais dispostos em diminutos montículos, formando uma rede irregular (figura 7.9a), às vezes contornando as bordas dos cristais euedrais (figura 7.9c).

Também ocorreram inúmeros pontos castanhos, distribuídos caoticamente pela rocha, resultante da oxidação da biotitas, que como referenciado no estudo do Verde Netuno, é classificada como ferríferas (teor de $FeO_{(19,90\text{-}21,71)}$) (figura 7.9b).

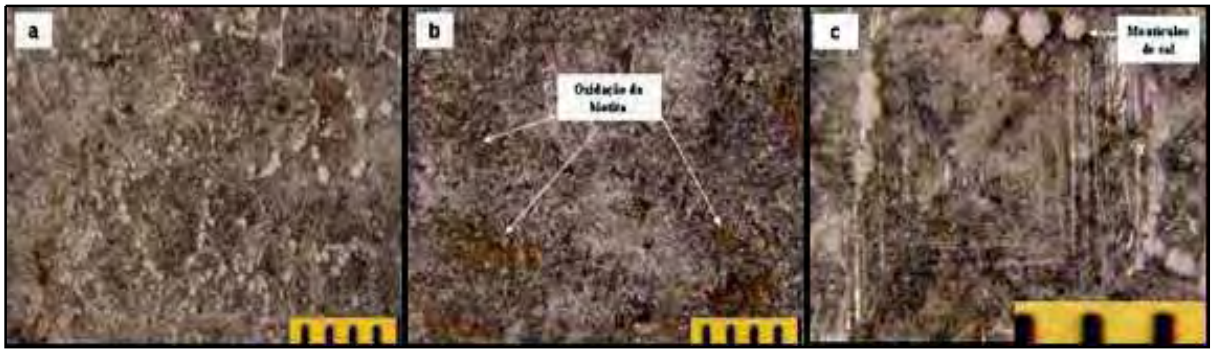


Figura 7.9: Aspecto visual do Verde Santa Cruz após o ensaio de exposição à névoa salina. a) Montículos cristais de sal na tardoz da placa; b) Surgimento de pontos acastanhados; c) Nucleação de cristais maiores de sal

Mesmo ao tato, é pouco perceptível a presença de sal na placa do Verde Choró (figura 7.10a). Ocorreram algumas acículas de sal distribuídas caoticamente.

Novamente, ocorreram manchas impostas pela oxidação de cristais, que foram parcialmente removidos durante os ciclos de nevoeiro, o que gerou pequenos orifícios na superfície (figura 7.10b).

No tardoz do corpo, houve cristalização de sal formando montículos dispostos numa linha anastomosada (figura 7.10c).



Figura 7.10: Aspecto visual do Verde Choró após o ensaio de exposição à névoa salina. a) Acículas de sal; b) – Surgimento de pontos acastanhados e pequenos orificios na superfície; c) Cristalização de sal formando montículos dispostos numa linha anastomosada no tartoz da placa

Em geral, a precipitação e/ou formação de cristais de sal nas superfícies dos corpos-de-prova ocorre porque a solução salina encontrou dificuldades para permear a amostra. Isso se justifica para os gnaisses enderbíticos pelo grau de sanidade que as rochas apresentam, pela alta densidade (2800 kg/m³; 2694 kg/m³; 2727 kg/m³), pela baixa porosidade (0,55 %; 0,23 %; 0,14 %) e pela absorção de água (0,20 %; 0,09 % e 0,05 %), respectivamente, para os Verdes Netuno, Santa Cruz e Choró.

Não foram observadas, portanto, reações entre a solução salina e os minerais que compõem a rocha. Sendo assim, os cristais de sal observados nas superfícies das amostras são resultantes somente da solução salina.

7.3 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO CONTÍNUA ATRAVÉS DO EXTRATOR SOXHLET

O ensaio de lixiviação contínua através do extrator Soxhlet já vem sendo utilizado como modo de avaliação da alterabilidade das rochas silicatadas há bastante tempo, como pode ser visto em Simão (1996), Simão e Silva (1997), Filho e Rodrigues (1997), Antão (2001) e Simão (2003).

Para avaliar as mudanças ocorridas nos gnaisses enderbíticos Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró quando submetidos às condições deste ensaio, foram analisadas as mudanças macroscópicas ocorridas, discutida a perda de peso das amostras, bem como, os resultados das análises químicas das águas dos ciclos de lixiviação, das rochas frescas e alteradas e do resíduo das soluções. Os resultados encontram-se, respectivamente, nas tabelas 7.5, 7.6, 7.7 e 7.8.

7.3.1 OBSERVAÇÃO MACROSCÓPICA DOS FRAGMENTOS DE ROCHAS E PESO DAS AMOSTRAS

As observações aqui descritas foram realizadas antes e após a realização do ensaio de lixiviação.

Como os gnaisses enderbíticos Verde Netuno, Verde Santa Cruz e Verde Choró exibem composição mineralógica semelhante, as alterações analisadas são análogas. Nos três materiais foi observada marcante mudança de cor, os fragmentos, inicialmente de cor grafite a esverdeada, passaram a exibir cor rosa-avermelhado (figura 7.11). Isso sugere tratar-se de óxido de ferro residual, provavelmente resultante da alteração da biotita, anfibólio e piroxênio.

Os cristais de ortoclásio, tanto do Verde Netuno quanto do Verde Choró, apresentaram em sua superfície um pó fino de cor esbranquiçada, provavelmente caulinita.

Como citado anteriormente, os materiais, antes e após o ensaio, foram pesados, para se determinar sua perda de massa (tabela 7.5).

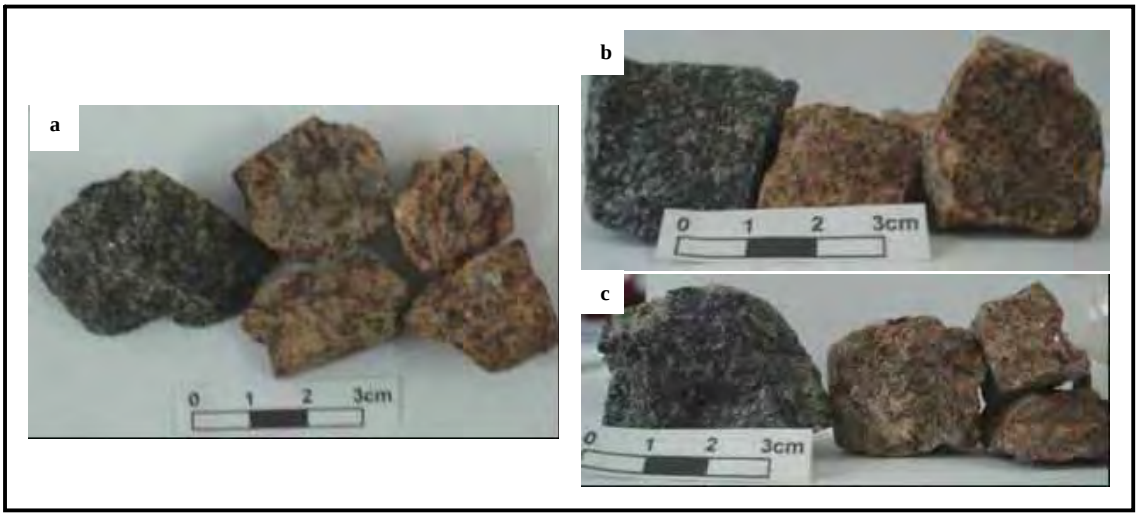


Figura 7.11: Aspecto macroscópico antes (material esverdeado) e após (material rosa) o ensaio de lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos: a) Verde Netuno; b) Verde Santa Cruz; e c) Verde Choró

Tabela 7.5: Perda de massa total após o ensaio de lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Amostra	**Massa (g)**			**ΔM (%)**
	Inicial	**Final**	**Perda de massa**	
Verde Netuno	254,1461	250,8242	3,3219	1,3070
Verde Santa Cruz	228,5905	227,6248	0,9657	0,4224
Verde Choró	233,7487	232,0202	1,7285	0,7394

ΔM (%) – Perda de massa

Novamente observa-se que a maior perda de peso ocorreu no Verde Netuno (3,3219g) e a menor no Verde Santa Cruz (0,9657g) (figura 7.12). Condizentes com os índices físicos e as características petrográficas descritas: porosidade (0,23 % e 0,55%); absorção de água (0,20 % e 0,09 %); microfissuramento intergrão (0,14 % e 0,0 %); e granulação (média e média-fina), respectivamente, para os Verde Netuno e Santa Cruz.

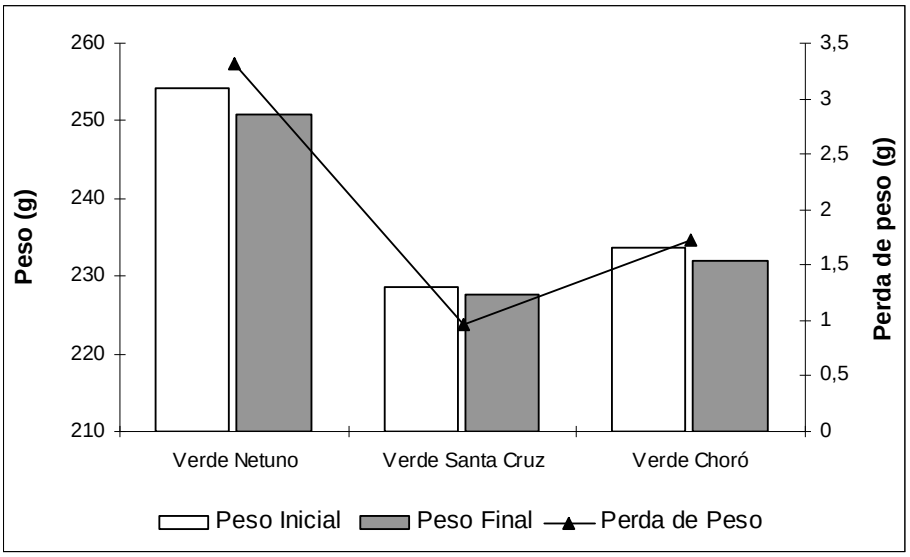


Figura 7.12: Peso inicial, peso final e perda de peso após o ensaio de lixiviação contínua através do extrator Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Podemos afirmar que quanto menores forem as alterações observadas e menor a perda de massa, maior será a qualidade da rocha, ou seja, apresentará um melhor comportamento quando exposta às condições do ensaio.

7.3.2 ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS DOS CICLOS DE LIXIVIAÇÃO

No final de todos os ciclos de 500 horas, as águas de percolação foram recolhidas e submetidas à análise química de elementos maiores (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, e K), por absorção atômica. Essa técnica é aplicada para monitorar a degradação sofrida durante o processo de lixiviação dos cátions. Os resultados destas análises estão no apêndice A.

Na tabela 7.6 estão expressas as fases minerais que, em cada rocha, poderão ter sido dissolvidas e contribuir com a mobilidade de determinado elemento na solução analisada. Foram levadas em consideração as análises petrográficas e a análisequímica mineral.

Quando analisada a quantidade relativa dos elementos nas soluções de percolação (apêndice A), verificou-se que o silício ($Si_{(40,68-104,17)}$), o sódio ($Na_{(3,58-13,85)}$), o cálcio ($Ca_{(2,30-5,47)}$) e o potássio ($K_{(0,42-14,16)}$) são os elementos mais mobilizados pela lixiviação de vários minerais, principalmente os plagioclásios, que são o mais abundantes nos gnaisses enderbíticos analisados.

Tabela 7.6: Minerais essenciais, dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará, que contribuíram para a presença de determinados elementos em solução

Amostra / Óxidos	Verde Netuno	Verde Santa Cruz	Verde Choró
SiO_2	Todas as fases minerais	Todas as fases minerais	Todas as fases minerais
Al_2O_3	albita, oligoclásio, ortoclásio	oligoclásio, muscovita	albita, oligoclásio, ortoclásio
Fe_{total}	biotita e hornblenda	biotita e hornblenda	hornblenda e biotita
MgO	piroxênio	piroxênio	piroxênio, biotita
CaO	hornblenda, clinopiroxênio, albita e oligoclásio	hornblenda, oligoclásio,	hornblenda, clinopiroxênio, oligoclásio
Na_2O	albita, oligoclásio e andesina	oligoclásio e andesina	oligoclásio e andesina
K_2O	ortoclásio, biotita	plagioclásio, biotita	ortoclásio, biotita

No Verde Netuno, os elementos mais detectados em solução, em ordem quantitativa decrescente, foram Si, Na, K e Ca. No Verde Santa Cruz, foram Si, Na, Ca, K e Al e no Verde Choró foram Si, Na, K, Al e Ca. Vale destacar que o Verde Santa Cruz foi o que apresentou menor mobilidade quantitativa de seus elementos, corroborando positivamente com os dados de perda de massa.

7.3.3 ANÁLISE QUÍMICA DAS ROCHAS FRESCAS E DAS ALTERADAS (APÓS ENSAIO)

A partir da comparação entre a composição química da rocha antes e após o ensaio de lixiviação, é possível verificar quais elementos permaneceram constantes na rocha durante a alteração.

Na tabela 7.7 são apresentadas as composições químicas das rochas antes e após o ensaio de lixiviação continua com Soxhlet.

Observa-se que, assim como citado anteriormente, ocorreram mobilidades para as soluções, mas que após o ensaio nem sempre o comportamento dos elementos na composição na rocha total seguiu os padrões esperados em situações de alteração, como já demonstrado por Simão, 2003.

Tabela 7.7: Análise química de rocha total em amostras dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará, antes e após o ensaio de Soxhlet

Amostras / Elementos	Verde Netuno (Antes)	Verde Netuno (Após)	Verde Santa Cruz (Antes)	Verde Santa Cruz (Após)	Verde Choró (Antes)	Verde Choró (Após)
SiO_2	62,35	63,14	71,40	71,03	65,58	63,73
TiO_2	1,57	1,41	0,34	0,36	0,47	0,53
Al_2O_3	14,77	14,41	14,76	14,46	15,12	15,51
Fe_2O_3	7,13	7,47	3,16	3,67	5,05	5,53
MnO	0,07	0,10	0,04	0,05	0,07	0,06
MgO	1,75	1,52	0,95	1,06	2,97	3,48
CaO	4,84	4,36	3,18	3,23	4,98	5,24
Na_2O	3,54	3,40	4,70	4,57	3,81	3,86
K_2O	3,38	3,65	1,24	1,25	1,33	1,39
P_2O_5	0,54	0,51	0,08	0,08	0,18	0,20
LOI	0,07	0,06	0,17	0,25	0,44	0,46
Soma	**100,01**	**100,03**	**100,02**	**100,02**	**100,01**	**99,99**

No Verde Netuno, o silício aumentou a sua concentração relativa e foi o elemento que apresentou maior quantidade nas soluções analisadas nos três gnaisses.

O mesmo ocorreu com o alumínio no Verde Choró, que, apesar de apresentar a maior quantidade nas soluções analisadas, teve um ganho na concentração relativa na rocha após o ensaio.

Para o ferro, ocorreu um aumento da concentração na rocha no final do ensaio, provavelmente devido à lixiviação das biotitas e das hornblendas, com sua posterior impregnação nos feldspatos. Nas soluções, foram determinadas apenas concentrações muito baixas de ferro.

O magnésio e o cálcio tiveram comportamentos semelhantes nos três gnaisses. No Verde Netuno, foram retirados preferencialmente nos piroxênios. Nos Verdes Santa Cruz e Choró ocorreu o inverso. O fato do o Ca e o Mg terem aumentado a sua concentração relativa na rocha pode ser devido a uma maior lixiviação de outros elementos existentes na sua composição.

A perda relativa de sódio está relacionada à grande mobilidade que o mesmo tem em processos de alteração, no entanto, no Verde Choró a sua concentração aumentou.

No caso do potássio, a concentração relativa aumentou em todas as rochas, a pesar de ter sido o terceiro elemento mais abundante nas soluções analisadas.

Verifica-se cada vez mais que a complexidade dos fenômenos que envolvem as alterações não são simples de serem determinados, principalmente ao se observar o comportamento dos elementos essenciais presentes nas rochas antes e após o ensaio de lixiviação contínua por Soxhlet.

7.3.4 ANÁLISE DO RESÍDUO SÓLIDO DAS SOLUÇÕES

Com o intuito de se identificarem as fases minerais originais constituintes das rochas, foram realizadas as análises do resíduo sólido existentes em suspensão e no fundo do balão receptor ao final de cada ciclo de 500 horas. A ocorrência desses resíduos se deve ao fato de que, durante cada ciclo, são desagregadas e transportadas pequenas partículas de cada mineral nas descargas do extrator.

Nas figuras 7.13, 7.14 e 7.15 estão representados os difratogramas resultante das análises dos resíduos sólidos dos gnaisses enderbíticos durante os 10 ciclos de 500h.

A partir dos difratogramas, foram resumidos, na tabela 7.8, os minerais identificados no resíduo sólido das filtragens dos ciclos do ensaio de Soxhlet.

Tabela 7.8: Minerais identificados nos resíduos sólidos das filtragens dos ciclos do ensaio de Soxhlet dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará

Amostras	Minerais
Verde Netuno	Biotita, hornblenda, plagioclásio, quartzo, talco, carbonato, apatita, hematita, vermiculita, siderita, barita
Verde Santa Cruz	Biotita, hornblenda, plagioclásio, quartzo, talco, carbonato, clorita, apatita, muscovita, barita
Verde Choró	Biotita, hornblenda, plagioclásio, quartzo, talco, carbonato, clorita, apatita, hematita, siderita, muscovita, barita

Nos gnaisses enderbíticos, verifica-se que são similares nos minerais identificados e que são poucos os neoformados.

As formações do talco e do carbonato podem estar relacionadas com o aumento da quantidade do magnésio e cálcio na rocha total após o ensaio, como discutido no item anterior.

O surgimento da hematita e da siderita se deve à lixiviação dos óxidos de ferro e de cálcio formados a partir das alterações da biotita e do anfibólio/pirôxenio.

A formação de muscovita, vermiculita e clorita pode ser devida à elevada concentração de Si, K e Al, presente tanto nas soluções como na rocha total analisada, que surgiram após 1500 horas de ensaios, como resultando da alteração dos minerais constituintes das rochas.

No geral os minerais observados não demonstram que os gnaisses enderbíticos apresentem algum grau de alteração elevado que possa restringir sua aplicação.

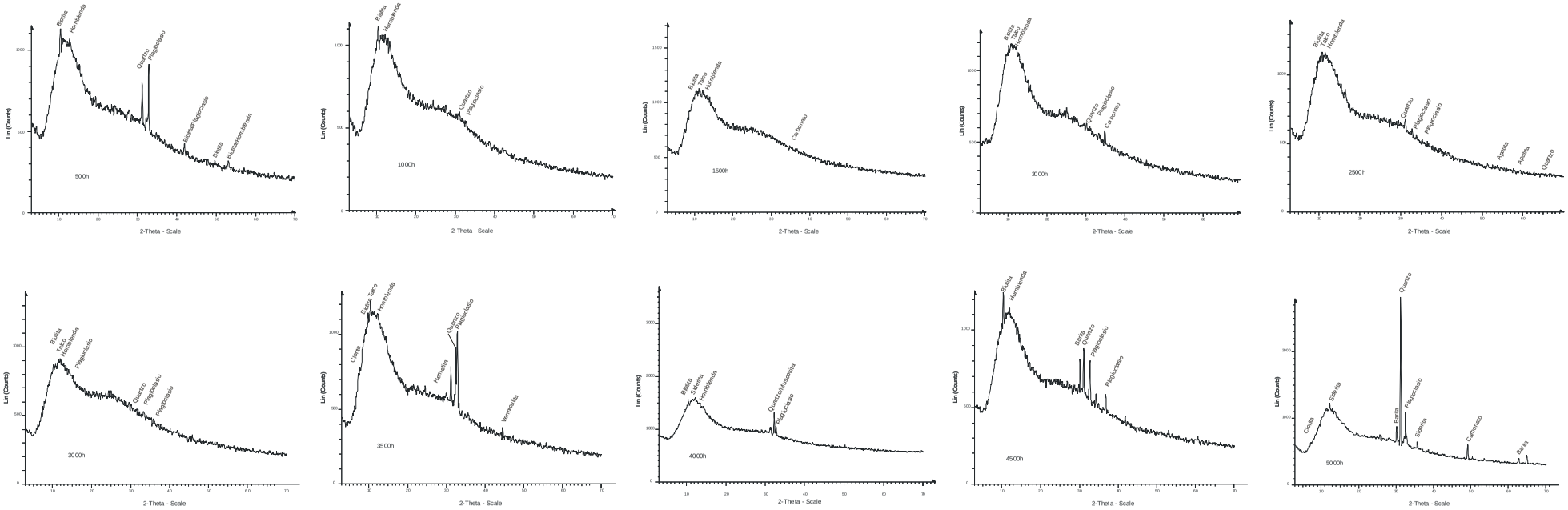


Figura 7.13: Difratograma dos resíduos do Verde Netuno após o ensaio de Soxhlet

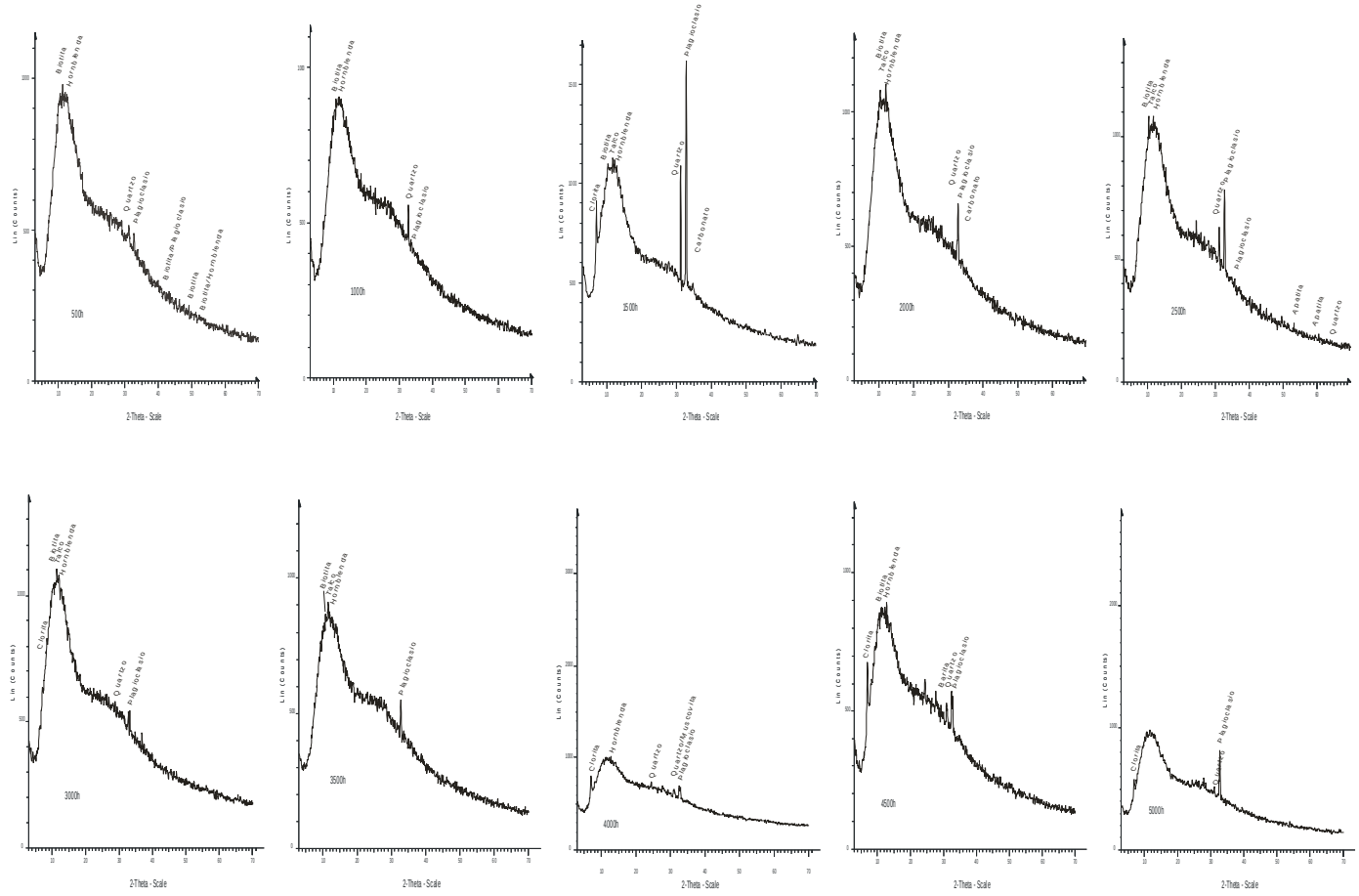


Figura 7.14: Difratograma dos resíduos do Verde Santa Cruz após o ensaio de Soxhlet

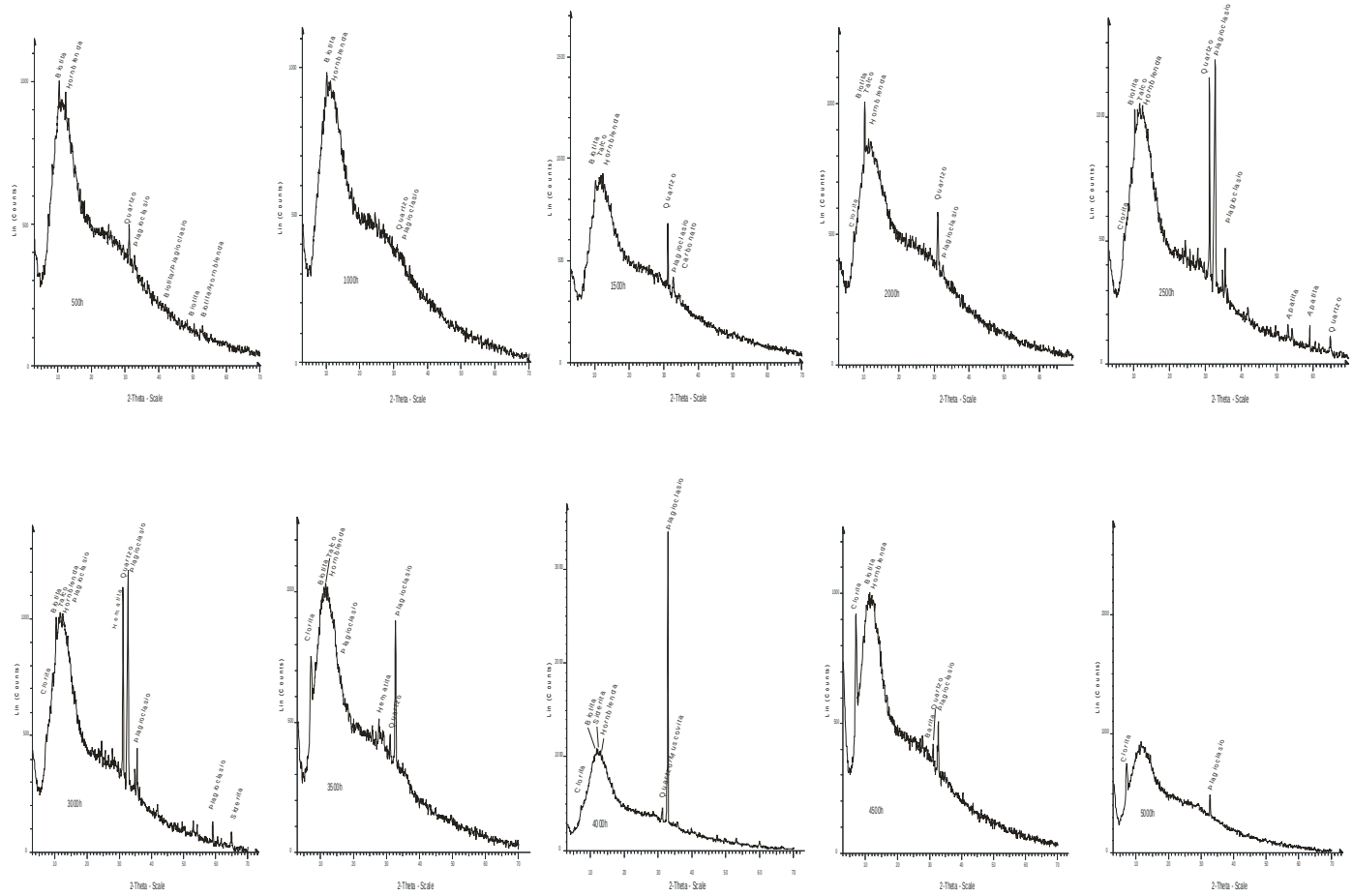


Figura 7.15: Difratograma dos resíduos do Verde Choró após o ensaio de Soxhlet

7.4 EXPOSIÇÃO AO DIÓXIDO DE ENXOFRE

Esse ensaio tem como objetivo acelerar, através de técnicas laboratoriais, o processo de envelhecimento de rochas sãs, pelas variações de temperatura e de umidade, na presença de uma atmosfera que contém dióxido de enxofre.

Nesse processo de umedecimento, as soluções atmosféricas ácidas penetram na rocha até determinada profundidade, que vai depender principalmente da porosidade da rocha e da quantidade de solução disposta por unidade de superfície.

De acordo com o projeto de norma européia EN 1995, este experimento deve ser avaliado apenas pela variação de peso e pelo acompanhamento macroscópico das amostras.

Após 75 ciclos, foram calculados os percentuais de perda de massa para os gnaisses enderbíticos. Esses percentuais são apresentados na Tabela 7.9.

Tabela 7.9: Variação de peso e perda de massa dos gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará após o ensaio de exposição ao dióxido de enxofre

Amostras	Massa (g)					ΔM (%)
	Rocha Sã (Seca)	25º Ciclo	50º Ciclo	75º Ciclo	Perda total	
Verde Netuno	151,41	151,31	151,31	150,97	0,44	0,29
Verde Santa Cruz	184,57	184,54	184,43	184,20	0,37	0,20
Verde Choró	165,84	165,65	165,60	165,49	0,35	0,21

ΔM (%) – Perda de massa

É possível constatar que, de um modo geral, as perdas de massa são diminutas. No entanto, verifica-se que o Verde Santa Cruz é a rocha mais resistente em relação à perda de massa, sendo seguida pela Verde Choró e pelo Netuno. Isso é corroborado pelos dados dos índices físicos e petrográficos anteriormente descritos: porosidade (0,55 e 0,23%); absorção de água (0,20 e 0,09%); microfissuramento intergrão (0,14 e 0,0%); e granulação (média e média-fina), respectivamente, para os Verde Netuno e Santa Cruz.

Não foram observadas alterações macroscópicas, provavelmente devido à cor escura dos gnaisses enderbíticos, já que as moléculas de SO_2 também geram uma crosta de cor escura.

Como as observações visuais não foram suficientes para permitir a distinção de pequenas variações cromáticas ou texturais, foram avaliados também, além das perdas de peso previstas na norma, os efeitos causados pela exposição destas rochas em câmara de SO_2 através da determinação numérica da cor, dada pela variação colorimétrica - ΔE^*.

Os dados relativos às coordenadas colorimétricas obtidos a partir das superfícies polidas, antes e após o ensaio de exposição ao dióxido de enxofre, estão listados no apêndice B. Os parâmetros colorimétricos e as variações cromáticas médias encontram-se na tabela 7.10.

Tabela 7.10: Variações cromáticas médias medidas para os gnaisses enderbíticos da porção norte do Estado do Ceará antes e após a ação da exposição ao dióxido de enxofre

Amostras	**ΔL*** **(L*final – L* inicial)**	**Δa*** **(**a* final – a* inicial)	**Δb*** **(**b* final – b* inicial**)**	**ΔE***
Verde Netuno	2,037	-0,308	-0,972	2,277
Verde Santa Cruz	0,804	-0,027	-0,010	0,805
Verde Choró	2,462	-0,251	-0,091	2,476

L* = localização da cor no eixo claro-escuro; a* e b* variações que envolvem o tom e o croma; ΔE^* - variação colorimétrica

Os gnaisses enderbíticos submetidos à exposição ao SO_2 sofreram um efeito de clareamento ($\Delta L^*>0$), uma redução da tonalidade amarela ($\Delta b^*<0$) e dos tons avermelhados ($\Delta a^*<0$). As rochas estudadas apresentam variações de cores baixas, entre 0,805 a 2,476, principalmente se considerarmos que o olho humano geralmente só detecta variações de cores (ΔE^*) superiores a 3.

Diante da constatação das dificuldades para se observarem as prováveis alterações que as rochas possam apresentar, faz-se necessário ressaltar a importância da realização de várias análises, ensaios e determinações, em conjunto, para se obterem suportes confiáveis na avaliação da alterabilidade dos materiais rochosos.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com a integração dos dados geológicos, da caracterização petrográfica e tecnológica, obtidos foi possíveis chegar as seguintes conclusões:

Com relação ao gnaisse Verde Netuno, cuja exploração está desativada, provavelmente devido ao alto custo e ao desperdício gerados pela falta de pesquisa e de planejamento, sugerimos que se faça um levantamento detalhado da geologia estrutural e a reorientação da frente de lavra para que a mesma seja posicionada na direção da foliação principal. Essas medidas são fundamentais para que se evite a retirada de materiais fora dos padrões e com problema de fraturamento.

O Verde Santa Cruz, da região de Granja, ainda não é explorado para utilização como rochas ornamental. Apenas ocorrem afloramentos dos quais foram retiradas as amostras para a caracterização tecnológica. Contudo, para que haja a comercialização desse material, será necessário realizar a decapagem superficial para inicio de uma lavra em cava, já que o material superficial apresenta-se na forma de pequenos matacões.

O Verde Choró, da região de Chorozinho, assim como o Verde Santa Cruz, ainda não é explorado com a finalidade de comercialização para o setor de rochas ornamentais. A correta orientação dos métodos para o direcionamento das frentes lavra tornaria possível a produção, em blocos, deste material.

O gnaisse enderbítico Verde Netuno apresenta, de um modo geral, grau de alteração que varia de fraco a médio. Predominam nele os contatos grão-a-grão do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular, com microfissuramento do tipo intergrãos na ordem de 0,14 microfissuras/mm². Os microfissuramentos do tipo intragrão, que ocorrem principalmente nos cristais de plagioclásio, quartzo, piroxênio e anfibólio e se encontram em sua maioria fechados ou preenchidos por material sericítico, biotita e quartzo, resultam na ordem de 2,05 microfissuras/mm².

O Verde Santa Cruz apresenta grau de alteração médio. Predominam os contatos grão-a-grão do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular. Não sendo observado microfissuramento do tipo intergrãos, e os do tipo intragrão ocorrem principalmente nos cristais de plagioclásio e normalmente se encontram preenchidas por material sericítico. Nos piroxênios, preenchidos por biotita, atingem níveis elevados, resultando na ordem de 2,26 microfissuras/mm².

O Verde Choró apresenta grau de alteração que varia de de fraco a médio. Predominando nele os contatos grão-a-grão do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular. O microfissuramento do tipo intergrãos é pouco pronunciado, com freqüência de 0,07 microfissuras/mm². As fissuras do tipo intragrão ocorrem principalmente nos cristais de quartzo, plagioclásio, piroxênio e anfibólio e normalmente se encontram soldadas por material sericítico, biotita e, mais raramente, por quartzo.

Através dos dados de química mineral foi possível classificar as biotitas do Verde Netuno e do Santa Cruz como de coexistência com as hornblendas, o que condiz com as reações verificadas em lâminas. Já as do Verde Choró se situam no campo de coexistência com os piroxênios e olivinas. Essas características corroboram com o litotipo e grau metamórfico determinado para os três gnaisses estudados.

Os componentes dos termos finais da solução sólida nas granadas, tanto do Verde Netuno, com do Santa Cruz e do Verde Choró, apresentam predominância de almandina, ou seja, apresentam um caráter ferro-magnesiano.

As amostras dos três gnaisses estão posicionadas, em sua maioria, como hornblenda pargasita ferrosa e/ou hornblenda edenita.

Os ortopiroxênios estão posicionados no campo da enstatita, para os piroxênios do Verde Choró, com variação de $En_{38,30-60,56}$ (hiperstênio), o que denota caráter magnesiano. Posicionam-se no campo da Ferrosillita, para os Verdes Netuno e Santa Cruz, com variação de $En_{40,7-41,86}$ e $En_{30,2-31,52}$ (Fe-hiperstênio) respectivamente. Os clinopiroxênios do Verde Choró, posicionam-se no campo do diopsídio, com variação de $Wo_{43,65-46,80}$ (salita-augita) exibindo caráter cálcio – magnesiano.

A concentração de plagioclásio, praticamente em um ponto, no campo do oligoclásio-andesina, indica que não houve desequilíbrio nas reações metamórficas envolvidas.

As análises da química mineral foram muito úteis na identificação das fontes formadoras dos minerais após o ensaio de lixiviação continua com extrator Soxhlet. Isso ressalta a importância deste método para a análise das alterações observadas nas rochas estudadas.

Quanto aos ensaios de caracterização tecnológica dos materiais com aplicação no setor de rochas ornamentais, são relevantes as seguintes conclusões:

As amostras estão de acordo com os parâmetros sugeridos pela Americam Society for Testing and Materals – ASTM (C 615) e por Frazão & Farjallat (1995).

As correlações estabelecidas entre as características petrográficas e os parâmetros físicos demonstram que o comportamento dos gnaisses enderbíticos é diretamente controlado pelos aspectos composicionais, texturais e estruturais exibidos pelas rochas.

Quanto aos índices físicos os Verdes Netuno, Santa Cruz e Choró apresentam, respectivamente, massa especifica aparente seca alta (2800 kg/m³; 2694 kg/m³ e 2727 kg/m³), baixa porosidade aparente (0,55 %; 0,23 % e 0,14 %) e baixo índice de absorção de água (020 %; 0,09 % e 0,05%), e, basicamente, esses índices são controlados pela granulação e pela textura destas rochas.

Os ensaios para a determinação da resistência mecânica (compressão uniaxial e flexão 3 pontos) foram efetuados nos estados seco e saturado, sendo que as variedades Verde Santa Cruz e Verde Choró os esforços foram aplicados ortogonal e paralelamente à foliação. Os valores obtidos não revelam maiores influências das condições analisadas (estados seco e saturado), pois oscilam entre os diferentes materiais, refletindo suas baixas capacidades de absorção de água. O mesmo é observado em relação à direção de aplicação dos esforços, o que reflete a discreta estruturação dos gnaisses enderbíticos.

Conclui-se ainda que, para as rochas estudadas, há de se considerar, na realização dos ensaios, o estado estrutural dos materiais, particularmente na observação dos tipos de estruturações encontradas.

Para os resultados obtidos nos ensaios de compressão uniaxial e de flexão de 3 pontos, quanto da aplicação dos esforços paralelo e perpendicular à foliação são feita as seguintes considerações:

Nos gnaisses enderbíticos Verde Santa Cruz e Verde Choró, é possível observar uma segunda foliação, muito sutil, que faz um ângulo de aproximadamente 130º com a principal, resultando em um “par conjugado”. Assim, quando o esforço era realizado na direção perpendicular a foliação, na realidade se dava sobre o plano de menor resistência, já que ocorria no encontro das duas foliações. Ao contrário, quando realizávamos os ensaios na suposta direção paralela, na verdade estávamos no ponto de maior resistência da rocha (interseção dos planos de foliação).

A resistência ao desgaste abrasivo situa-se próxima aos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), oscilando entre 0,74 mm e 0,94 mm. Destaque-se que os melhores valores correspondem aos do Verde Santa Cruz, refletem sua granulação média-fina e seu teor de quartzo pouco mais elevado em relação aos outros dois ganisses, corroborando resistência satisfatória para a utilização em pisos de ambientes com tráfego de média a alto.

De um modo geral, as características físico-mecânicas, aliadas ao aspecto estético, qualificam esses materiais para aplicação em ambientes exteriores e interiores como rochas ornamentais e de revestimento.

Nos estudos de alteração e alterabilidade dos gnaisses enderbíticos, foi possível avaliar, comparar e prever o comportamento dessas rochas quando expostas às variadas condições de diversos ambientes agressivos onde poderão ser aplicadas.

Os resultados mostraram que os ganisses enderbíticos são susceptíveis à deterioração em formas e intensidades variáveis, em conformidade com suas propriedades intrínsecas e com a situação simulada.

Para o ataque químico a partir de materiais utilizados na limpeza e conservação dos materiais após sua aplicação, os gnaisses enderbíticos apresentaram mudança de cor e perda do brilho em intensidades variáveis, o que significa que os produtos de limpeza sempre podem apresentar algum poder agressivo a esses materiais. Isso reforça a importância da ampliação dos conhecimentos das características tecnológicas das rochas naturais e de seu comportamento diante das inúmeras possibilidades de alterabilidade.

Nos ensaios de degradação artificial ou alteração acelerada, tanto de ciclo contínuo como de ciclo não contínuo, os gnaisses enderbíticos sofreram alterações como mudança de cor e perda de massa, praticamente insignificante.

O Verde Netuno, dentre os três ganisses, foi o que apresentou maior perda de massa, seguido pelo Verde Choró e pelo Verde Santa Cruz. Isso é corroborado pelos dados dos índices físicos e petrográficos descritos: porosidade (0,55 %; 0,23 % e 0,14 %); absorção de água (0,20 %; 0,09 % e 0,05 %); microfissuramento intergrão (0,14; 0,0 e 0,07); e granulação (média a média-fina), respectivamente para os Verde Netuno, Santa Cruz e Choró.

Quanto à exposição dos gnaisses enderbíticos à névoa salina, macroscopicamente ocorreram a precipitação e/ou formação de cristais de sais nas superfícies dos corpos de prova, o que indica que a solução salina encontrou dificuldades para permear a amostra. Isso se justifica pelo grau de sanidade que as rochas apresentam, pela sua alta densidade (2800 kg/m³; 2694 kg/m³; 2727 kg/m³), pela baixa porosidade (0,55 %; 0,23 %; 0,14 %) e pela absorção (0,20 %; 0,09 % e 0,05 %), respectivamente para os Verdes Netuno, Santa Cruz e Choró.

Na lixiviação contínua através do extrator Soxhlet, nos três materiais foi observado que os fragmentos, inicialmente de cor grafite a esverdeada, passaram a exibir cor rosa-

avermelhado, sugerindo tratar-se de óxido de ferro residual. Provavelmente resultante da alteração da biotita, do anfibólio e do piroxênio.

Quando analisada a quantidade relativa dos elementos nas soluções de percolação do extrator Soxhlet, verificou-se que o silício ($Si_{(40,68-104,17)}$), o sódio ($Na_{(3,58-13,85)}$), o cálcio ($Ca_{(2,30-5,47)}$) e o potássio ($K_{(0,42-14,16)}$) são os elementos mais mobilizados pela lixiviação de vários minerais, principalmente os plagioclásios, que são os mais abundante nos gnaisses enderbíticos analisados.

Nas análises dos resíduos sólidos das soluções do extrator Soxhlet, os gnaisses enderbíticos apresentam similaridade nos minerais identificados. São poucos os minerais neoformados. A muscovita, a vermiculita e a clorita surgiram após 1500 horas de ensaios, resultando da alteração dos minerais constituintes das rochas.

No ensaio de exposição ao dióxido de enxofre não foram observadas alterações macroscópicas, provavelmente devido à cor escura dos gnaisses enderbíticos, já que as moleculas de SO_2 também geraram uma crosta de cor escura.

Quanto aos parâmetros colorimétricos e às variações cromáticas analisadas, os gnaisses enderbíticos expostos ao SO_2 sofreram um efeito de clareamento ($\Delta L^*>0$), uma redução da tonalidade amarela ($\Delta b^*<0$) e dos tons avermelhados ($\Delta a^*<0$). No entanto, essas variações de colorimetria são pouco expressivas, de 0,805 a 2,476, principalmente se considerarmos que o olho humano geralmente só detecta variações de cores (ΔE^*) superiores a 3.

Verifica-se cada vez mais a complexidade dos fenômenos que envolvem as alterações não são simples de serem determinados, mas, no geral, as observações feitas não demonstram que os gnaisses enderbíticos apresentem algum grau de alteração elevado que possa restringir sua aplicação como rocha ornamental ou de revestimento.

É possível concluir que os ensaios e as análises propostos e realizados forneceram importantes indicações sobre o comportamento e as possíveis aplicabilidades dos gnaisses enderbíticos. Além de apontarem para o fato de que devem ser observadas as medidas de conservação dessas rochas.

Com a afirmação de que os gnaisses enderbítico são aptos a serem utilizados como rochas ornamentais e de revestimento e que, portanto, devem ser feitas pesquisas e planejamento para sua extração.

CAPÍTULO 9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES BARROS, L. Alteração e Alterabilidade de Rochas. Instituto Nacional de Investigação Científico – Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade Técnica de Lisboa – Portugal, n.1, p. 13-15, 1991.

ALMEIDA, A.R. e NOGUEIRA NETO, J.A. Granulitos de Chorozinho – CE: Evidências de Descompressão em Rochas Eclogíticas. In: XVII Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, SBG. Boletim 15: p.243-246, 1997.

ALMEIDA, F.F.M. DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. DE; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Boletim Resumos, 6: p. 363-391, 1977.

American Society for Testing and Materials - ASTM (C 615). 1992: Standard Specification for Granite Dimension Stone.

American Society for Testing and Materials – ASTM 1990: "Standard Test Method for Laboratory Determinarion of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock – D 2845". Philadelphia, USA.

ANTÃO, A. M. Some Aspects of chemical weathering of granites from Guarda (Portugal) induced by Soxhlet test. SWAPNET, Stone Weathering and Almospheric Pollution NETwork. 2001.

ARTHAUD, M.H. Apostila de Deformação. Disciplina de Geologia Estrutural. Dep. de Geologia da UFC. Fortaleza-Ceará. 125p, 1992.

ARTHAUD, M.H.; VASCONCELOS, A.M.; NOGUEIRA NETO, J.A.; OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V.; MONIÉ, P.; LIEGEOIS, J.T.; CABY, R.; FETTER, A. Main structural features of Precambrian domains from Ceará (NE Brazil). In: International conference on Basement Tectonics, 14, Ouro Preto. Abstracts. Ouro Preto: UFOP, 1998, p. 84-85.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 2003 (NBR 15012). Rochas para revestimento de edificações, terminologia. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992. (NBR 12765). Rochas para Revestimento – Coeficiente de Dilatação Térmica Linear.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992. (NBR 12768). Rochas para Revestimento – Análise Petrográfica.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992a. (NBR 12766). Rochas para Revestimento – Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água Aparente.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992b. (NBR 12767). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992c. (NBR 12763). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Flexão.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1992e. (NBR 12042). Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 1997. (NBR 13818 Anexos – H: normativo). Determinação da Resistência ao Ataque Químico.

AVELINE, M.; BRAUDRAN, A.; HABIB, P.; ISNARD, P.; LEYMARIE, P. e MORLIER, P. Résultats experimentaux sur les relations entre la microfissuration et la vitesse de propagation des ultra-sons dans les granites du Sidobre (Tarn). Sciences de la Terre, Tome IX, nº 4. Nancy , França. p 439-488, 1964.

BRITO NEVES, B.B. de Contribuição à geologia do Pré-Cambriano. In: ATAS DO SIMPÓSIO DE GEOLOGIA, 7. Fortaleza. Fortaleza, Soc. Bras. Geol. – Núcleo Nordeste. 19 p. 1975

CABY, R.; SIAL, A.; ARTHAUD, M.H.; VAUCHEZ, A. Crustal Evolution And Brasiliano Orogeny in Norteast Brazil. In the West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives, DALLMEYER, R.D. e LECORCHÈ, J.P. (ed) Springer-Verlag. 1991.

CAMPOS, M. de, BRAGA, A. de P.G., SOUZA E.M. de *et al*. Projeto Rio Jaguaribe. Relatório final, v. 1. DNPM/CPRM. Recife. 149p. 1976.

CAWTHORN, R. G.; COLLERSON, K. D. The recalculation of pyroxene and-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analysis. American Mineral. 59: p. 1203-1208, 1974.

CIELAB - Commission International de Eclaraige (CIE). Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement 2 to CIE publication 15. Colorimetry Bureau Central de la CIE. Paris. 1976.

COSTA, A. P. L. Granulitos de Chorozinho (NE do Ceará): Levantamento Geológico e Caracterização Tecnológica como Rochas Ornamentais, 2000. Trabalho de conclusão de curso. Centro de Ciências. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza – Ceará. 64p. 2000.

COSTA, A.P.L. Caracterização Geológica e Tecnológica dos Granulitos da Região de Chorozinho (Nordeste do Ceará), 2003. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia – Centro de Ciências. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará - UFC. 104p. 2003

CRANDALL, R. Geografia, geologia, suprimento d'água, transporte e açudagem nos estados orientais do norte do Brasil, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Rio de Janeiro. 137p. (IFOCS – Serv. Geol., Série I. Publicação, 4). 1910.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. An introduction to rock forming minerals. 1 ed. London, Longaman Group Ltd. 528 p. 1966.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. Rock forming minerals: orth- and ring silicates. (Vol. 1) London, Longaman Group Ltd. 919p. 1972.

EBERT, H. Geologia do Alto Seridó: nota explicativa e folha geológica de Currais Novos. Recife, SUDENE/Divisão de Documentação. 120 p. Brasil. SUDENE. Série Geologia Regional, 11. 1969.

ESBERT, R. M., ORDAZ, J., ALONSO, F. J., MONTOLO, M. Manual de Diagnosis y tratamiento de materiales pétreos e cerámicos. Col. legi d'Aparelladors i Arquictectes Tècnics de Barcelona. Barcelona. 140 p. 1997.

FETTER, A. H. ; SANTOS, T. J. S. ; SCHUMUS, W. R. V.; HACKSPACHER, P. C. ; NEVES, B. B. B. ; ARTHAUD, M. H. ; NOGUEIRA NETO, J. A. ; WERNICK, E. Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quiteria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. Gondwana Research, v. 6, n. 2, p. 265-273, 2003.

FIGUEIREDO, C. Alteração, Alterabilidade e patrimônio cultural construído: o caso da Basílica da Estrela. Tese de doutoramento. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 321 p. 1999.

FIGUEIREDO, P. M. S. L. R. Estudo Tecnológico das Rochas Calcárias de Lisboa (Jurássico e Cretáceo). Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 179 p. 1997.

FILHO, C. C.; RODRIGUES, E. P. Indicadores de alterabilidade para rochas silicatada e carbonáticas em revestimentos. Rochas e Equipamentos, n. 48, 4º trimestre, p.70-92. 1997.

FRAZÃO, E. B. e FARJALLAT, J. E. S. Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento. I Congresso internacional de Pedra Natural. Lisboa-Portugal. p. 47-58, 1995.

GORAYEB, P.S.S. e ABREU, F.A.M. Granulito Macaco: Nova Ocorrência de Rochas Granulíticas na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40º, Belo Horizonte-MG. 1998.

HARLEY, S. L. The origins of granulites: metamorphic perspective. Geological Magazine, 126 (3): p. 215-247, 1989.

HARLEY, S. L. Proterozoic granulite terranes. In: Condie, K. C. (ed.) Proterozoic crustal evolution. Developments in Precambrian Geology 10. Amsterdam, Elsevier, p. 301-359, 1992.

HAWTHORNE, F. Cristal chemistry of the anphiboles. Mineralogical Society of American Reviews in Mineralogy, 9A: p. 1 – 102, 1981.

IÑIGO, A. C.; VICENTE-TAVERA, S.; RIVES, V.; VICENTE, M. A. Color changes in the surface of granitic materials by consolidated and/or water repellent treatments. Color Research and Application. 22- 2: p. 133-141. 1997.

ISRM - Sugested methods for the quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & geomech. Abstr. 15. 1977e.

KEGEL, W. A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 47 p. il. (Boletim, 227). 1965.

KLEIN, C. & HURLBUT Jr. C. Manual of mineralogy. (after James D. Dana), 21.ed. Jonh Wiley & Sons, Inc. N.Y. 681p, 1993.

KNOWLES, C. R. A basic program to recast garnet end members. Computers and Geosciences, 13: p. 655-658. 1987.

KOWALSKI. W.C. The independence between strengt, softening, swelling and shrinkage of cretaceous marls and “Opokas” and their lithology. In: Proc. of First Inter. Congés. of Int. Soc. Géologie of Eng. Paris, 1: p. 456-464. 1970.

Laboratório Nacional de Engenharia – LNEC. Ensaio de determinação da resistência à cristalização de sais em câmara de nevoeiro salino. Edição 2, versão 1, p. 68-70. LERO PE-19. 1993.

MEHNERT, K.R. Migmatites and the origin of granitic rocks. New York, Elsevier Publishing. 405 p, 1971.

MELO, K.E.V.; CASTRO, L.M. O mercado de granito no Brasil. In: Avaliação econômica dos granitos do Estado do Ceará. Fortaleza: Companhia Cearense de Mineração, 1989. cap.3 e 4.

MESQUITA, M. P. S. de. Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE) 2002. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 171p, 2002.

MEYER, A. P. A Influencia da Petrografia no Comportamento Tecnológico de Rochas Ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG) 2003. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 117p, 2003.

MONIÈ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M. H. Timing of the Neoproterozoic Brasiliano orogeny in northeast Brazil: 40Ar/39Ar ages and petrostructural data from Ceará. Precambrian Research, 81: p. 241-264. 1997.

MORAES, A.L.A. Granulitos de Chorozinho: Caracterização Petrográfica e Geoquímica 2000. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza/CE. 110p, 2000.

MORAES, L.J. DE. Serras e Montanhas do Nordeste. Boletim IFOCS. Rio de Janeiro, 58 (2). 1924.

MORIMOTO, N. Nomenclature of Pyroxenes. American Mineralogist, n. 73: p.1123-1133. 1988.

NASCIMENTO, D. A. do G. A.; PIRES, J. de L.; TEIXEIRA, W. Geologia. Mapeamento Regional. In Projeto RADAMBRASIL. Folha SA-24-Fortaleza. Rio de Janeiro: 1981.

NASCIMENTO, M. B. Petrografia, Química Mineral, Datação e Caracterização Tecnológica dos Granulitos da Região de Macaco – Itapipoca (CE) 2006. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geologia Regional – Universidade Federal do Ceará - UFC. Fortaleza/CE. 153p, 2006.

NAVARRO, F. C. Microscopia Petrográfica na Previsão do Comportamento Físico-Mecânico das Rochas Ornamentais. Relatório Final da Bolsa de Iniciação Científica (processo nº 97/01632-6) - DPM/IGCE/UNESP. 32p, 1998.

NOCKOLDS, S.R. The relation between chemial composition and paragenesis in the biotite mias of igneour rocks. Am. Jour. Sci., n. 245: p. 401-420. 1974.

NOGUEIRA NETO, J. de A. Evolução Metamórfica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré (NW do Ceará). In: Seminário de Pós-Graduação em Geociências, Rio Claro. IGCE/UNESP. Res. Exp., p. 328-333. 1996.

NOGUEIRA NETO, J. de A.: Evolução Geodinâmica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré, estremo noroeste da Província Borborema 2000. Tese de doutoramento no curso de Pós-graduação da Universidade Estadual Paulista – Rio Claro. 171p. 2000.

RAASE, P. Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. Contributions of Mineralogy and Petrology, n. 45: p. 231-236. 1974.

RICHARD, L. R. MINPET for Windows - Version 2.02. Minpet Geological Software. Québec. 1995.

RICKWOOD, P. C. On recasting analyses of garnet into end member molecules. Contributions of Mineralogy and Petrology, n. 18: p. 175-198. 1968.

ROBINSON, P.; SPEAR, F. S.; SCHUMACHER, J. C.; LAIRD, J.; KLEIN, C.; EVANS, B. W.; DOOLAN, B. L. Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurence and theory. Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy, 9B: p 1-228. 1981.

SANTOS, T.J.S. Aspectos Geológicos de uma Área a Sudeste de Granja, Região Noroeste do Ceará 1993. Tese de Mestrado apresentado ao IGCE/UNESP. Rio Claro. 159p, 1993.

SIMÃO, J. A. dos R. S. Alteração e alterabilidade do arnortosíto de Angola utilizado como rocha ornamental. Trabalho de síntese apresentado no âmbito das provas APCC, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 1996.

SIMÃO, J. A. dos R. S. Rochas Ígneas como Pedra Ornamental – Causas, Condicionantes e Mecanismos de Alteração. Implicações Tecnológicas 2003. Tese de Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa. FCT. Lisboa, 182p, 2003.

SIMÃO, J. A. dos R. S.; SILVA, Z. Anorthosito and ist use as dimension stone. Alterations as response to weathering in polluted environment. Internacional Symposium Engineering Geolgy and the Environmente, Atenas, Vol. III, p.3257-3262. 1997.

STRECKEISEN, A. How should charnockitic rocks be named. Centtenaire de la Société Géologique de Belqgique Géologie des domaines cristallins, Liège. p. 349-360. 1974.

TORQUATO, M. de F. B. Rochas Ornamentais do Nordeste de Ceará (Brasil). Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará 2004. Tese de Doutoramento. IST. Lisboa, 274 p, 2004.

VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: Initial conclusions. Jour South Amer Farth Sci 8 (3/4), p. 267 – 288. 1995.

VIDAL, F.W.H. Rochas ornamentais do nordeste – Brasil. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife, Resumo. 2002.

APÊNDICE A

QUÍMICA MINERAL

QUÍMICA MINERAL DA BIOTITA..... 148
QUÍMICA MINERAL DA GRANADA..... 150
QUÍMICA MINERAL DO ANFIBÓLIO 152
QUÍMICA MINERAL DO PIROXÊNIO 154
QUÍMICA MINERAL DO FELDSPATO 158
QUÍMICA MINERAL DOS ÓXIDOS 162
ELEMENTOS MAIORES..... 163
SOLUÇÕES DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO COM EXTRATOR SOXHLET 164

TABELA 5.1 – QUÍMICA MINERAL DA BIOTITA PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL (com 22 oxigênios)

AMOSTRA	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	P4	P4	P4	P4	P4	P4	JN33bbt	JN33bbt
ANÁLISE	C 21	C 22	C 23	C 41	C 61	c1bt1	c1bt2	c2bt1	c2bt2	c3bt1	c3bt2	bt2-a	bt2-b
LOCAL	-	-		-	-	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor
MINERAL	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO_2	37,384	37,729	37,817	37,802	37,504	37,434	37,167	37,426	37,493	3,6967	36,850	36,4730	35,0243
TiO_2	4,063	3,661	3,707	3,447	4,181	3,691	3,721	2,702	0,703	4,202	3,852	4,7499	4,7111
Al_2O_3	14,383	14,589	14,906	14,57	14,824	13,84	13,668	13,838	14,904	13,582	13,718	14,6799	14,3187
$Cr2O_3$	0,193	0,158	0,17	0,191	0,198							0,0000	0,0000
FeO	14,37	13,984	14,184	14,047	15,116	15,051	15,014	14,072	12,966	15,668	15,279	20,2910	19,9046
MnO	0,06	0,058	0,023	0,069	0,005	0,045	0,017	0,064	0,062	0,054	0,015	0,0956	0,0550
MgO	15,814	15,424	15,814	15,783	14,961	14,749	14,603	15,721	16,599	13,865	13,836	10,5195	10,2785
BaO	0,304	0,185	0,208	0,246	0,158	0,161	0,195	0,178	0,044	0,125	0,231	0,0000	0,0000
CaO	0,007	-	-	-	-	0,002	0,008	0,085	0,146	0,003	0,003	0,0565	0,0452
Na_2O	0,058	0,035	0,066	0,063	0,058	0,009	0,022	0,03	0,015	0,044	0,024	0,0061	0,0146
K_2O	9,854	9,798	10,001	9,917	9,876	9,536	9,598	9,204	8,969	9,48	9,298	9,2825	9,3488
F	1,061	1,073	1,099	1,038	1,192	0,86	0,864	0,766	1,123	0,942	0,491	-	-
Cl	0,036	0,047	0,041	0,038	0,05	0,037	0,042	0,022	0,013	0,06	0,037	-	-
Total	97,59	96,74	98,04	97,21	98,12	95,42	94,92	94,11	93,04	94,99	93,63	96,15	93,70
OFCl	0,45	0,46	0,47	0,45	0,51	0,37	0,37	0,33	0,48	0,41	0,22	-	-
Ctotal	97,14	96,28	97,57	96,76	97,61	95,05	94,55	93,78	92,56	94,58	93,41	96,15	93,70
Si	5,281	5,352	5,303	5,342	5,282	5,397	5,395	5,431	5,47	5,382	5,403	5,291	5,235
Al^{IV}	2,393	2,437	2,462	2,425	2,459	2,35	2,337	2,365	2,53	2,329	2,369	2,508	2,520
Al^{VI}	-	-	-	-	-	-	-	-	0,031	-	-	0,000	0,000
Ti	0,432	0,391	0,391	0,366	0,443	0,4	0,406	0,295	0,077	0,46	0,425	0,518	0,530
Fe_2	1,698	1,659	1,663	1,66	1,78	1,815	1,823	1,708	1,582	1,908	1,874	2,462	2,488
Cr	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000
Mn	0,007	0,007	0,003	0,008	0,001	0,005	0,002	0,008	0,008	0,007	0,002	0,012	0,007
Mg	3,33	3,262	3,306	3,325	3,141	3,17	3,16	3,401	3,61	3,009	3,024	2,275	2,290
Ba	0,017	0,01	0,011	0,014	0,009	0,009	0,011	0,01	0,003	0,007	0,013	0,000	0,000
Ca	0,001	-	-	-	-	-	0,001	0,013	0,023	-	-	0,009	0,007
Na	0,016	0,01	0,018	0,017	0,016	0,003	0,006	0,008	0,004	0,012	0,007	0,002	0,004
K	1,776	1,773	1,789	1,788	1,774	1,754	1,777	1,704	1,669	1,761	1,739	1,718	1,783
Cátions	14,971	14,921	14,966	14,965	14,925	14,903	14,918	14,943	15,007	14,875	14,856	14,795	14,864
CF	0,948	0,963	0,975	0,928	1,062	0,784	0,793	0,703	1,036	0,867	0,455	-	-
CCl	0,017	0,023	0,019	0,018	0,024	0,018	0,021	0,011	0,006	0,03	0,018	-	-
O	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22,000	22,000
Fe/FeMg	0,34	0,34	0,33	0,33	0,36	0,36	0,37	0,33	0,3	0,39	0,38	0,52	0,52
Mg/FeMg	0,66	0,66	0,67	0,67	0,64	0,64	0,63	0,67	0,7	0,61	0,62	0,48	0,48

TABELA 5.1 – continuação.QUÍMICA MINERAL DA BIOTITA PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL (com 22 oxigênios)

AMOSTRA	JN33bbt	JN33bbt	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
ANÁLISE	bt3-a	bt3-b	c1bt1	c1bt1	c2bt1	c3bt3	c3bt3	c4bt4	c6bt5	c6bt5	c6bt5	c1bt1
LOCAL	bor	cen	bor	cen	cen	bor	cen	cen	bor	cen	cen2	cen3
MINERAL	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO	BIO
SiO_2	35,0469	34,8041	35,444	35,258	36,494	35,740	39,079	35,381	36,316	36,389	36,404	36,323
TiO_2	5,6131	5,4192	4,858	4,613	3,938	4,413	3,146	4,510	4,641	4,721	4,609	4,686
Al_2O_3	13,2164	13,2292	13,280	12,977	13,719	12,898	11,242	12,371	13,008	13,011	13,321	12,964
$Cr2O_3$	0,0432	0,0385	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	21,7135	21,5947	22,954	22,809	17,639	22,424	21,441	20,477	22,694	23,042	23,052	23,441
MnO	0,0336	0,0673	0,0104	0,031	0,009	0,021	0,075	0,029	0,028	0,057	0	0,032
MgO	9,1311	9,0750	8,364	8,234	11,947	9,129	7,923	8,531	8,954	8,998	8,870	9,110
BaO	0,0000	0,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	0,0225	0,0000	0,064	0,055	0	0,027	5,583	0,277	0,023	0,030	0,025	0,063
Na_2O	0,0000	0,0000	0,072	0,029	0,067	0,068	0,647	0,229	0,110	0,104	0,077	0,085
K_2O	9,5160	9,6673	9,024	8,848	9,226	8,997	5,397	8,478	9,158	9,149	8,948	8,996
F	-	-	0,854	0,742	1,244	0,930	0,786	0,891	0,931	1,126	1,101	1,273
Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	94,34	93,90	95,02	93,60	94,28	94,65	95,32	91,17	95,86	96,63	96,41	96,97
OFCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTotal	94,34	93,90	95,02	93,60	94,28	94,65	95,32	91,17	95,86	96,63	96,41	96,97
Si	5,263	5,258	5,851	5,897	5,924	5,908	6,302	6,018	5,926	5,911	5,913	5,895
Al^{IV}	2,337	2,354	2,149	2,103	2,076	2,092	1,698	1,982	2,074	2,089	2,087	2,105
Al^{VI}	0,000	0,000	0,433	0,453	0,547	0,419	0,437	0,496	0,426	0,400	0,461	0,373
Ti	0,634	0,616	0,603	0,580	0,481	0,549	0,382	0,577	0,570	0,577	0,563	0,572
Fe_2	2,727	2,728	3,169	3,191	2,395	3,100	2,892	2,913	3,097	3,130	3,131	3,182
Cr	0,005	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,004	0,009	0,015	0,004	0,001	0,003	0,010	0,004	0,004	0,008	0	0,004
Mg	2,044	2,044	2,058	2,053	2,891	2,250	1,905	2,163	2,178	2,179	2,148	2,204
Ba	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,004	0,000	0,011	0,010	0	0,005	0,965	0,050	0,004	0,005	0,004	0,011
Na	0,000	0,000	0,023	0,009	0,021	0,022	0,202	0,076	0,035	0,033	0,024	0,027
K	1,823	1,863	1,900	1,888	1,911	1,897	1,110	1,840	1,907	1,896	1,854	1,863
Cátions	14,841	14,877	16,212	16,188	16,247	16,245	15,903	16,119	16,221	16,228	16,185	16,236
CF	-	-	0,892	0,785	1,277	0,972	0,802	0,959	0,961	1,157	1,131	1,307
CCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000
Fe/FeMg	0,57	0,57	0,61	0,61	0,45	0,58	0,60	0,57	0,59	0,59	0,59	0,59
Mg/FeMg	0,43	0,43	0,39	0,39	0,55	0,42	0,40	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41

TABELA 5.2 – QUÍMICA MINERAL DA GRANADA PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	EAC	EAC	EAC	EAC	EAC	EAC	EAC	EAC	EAC	P4	P4	P4	P4	JN33b	JN33b
ANÁLISE	C 210	C 211	C 212	C 213	C 28	C 29	C 54	C 55	C 56	c2gr1	c2gr2	c2gr3	c2gr4	gr-2a	gr-2b
LOCAL	-	-		-	-	-	-	-	-	cen	cen	cen	cen	bor	cen
MINERAL	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA	GRA
SiO_2	37,25	36,94	36,84	37,32	37,23	36,73	36,59	36,22	36,97	38,862	39,204	38,121	39,046	37,022	37,328
Al_2O_3	21,43	21,63	21,38	21,67	21,57	21,66	21,31	21,58	21,42	21,461	21,229	20,71	21,13	20,446	20,717
TiO_2	0,18	0,06	0,11	0,14	0,02	0,17	-	0,15	0,03	0,11	-	0,057	0,098	-	0,084
FeO	29,42	28,37	29,44	28,58	29,07	27,46	28,8	28,52	29,21	26,86	26,687	28,195	27,157	29665	30,182
MnO	1,78	1,01	1,52	0,94	1,44	1	1,59	1,72	1,9	1,618	1,092	2,35	2,254	1,8967	1,0306
MgO	2,53	3,93	2,67	3,8	3,18	4,64	2,6	2,66	2,04	6,708	6,909	5,226	5,364	3,1355	3,7765
CaO	7,23	7,95	7,71	8,28	7,3	7,37	8,41	8,08	7,5	4,029	3,848	3,361	4,696	7,0108	7,2733
Na_2O	0,01	-	-	-	0,02	-	-	0,02	0,12	0,026	0,025	0,021	0,017	-	-
Cr_2O_3	0,04	0,14	-	0,05	-	-	-	-	0,09	-	-	-	-	0,0034	0,0348
Total	99,83	99,89	99,67	100,73	99,83	99,03	99,3	98,95	99,19	99,67	98,99	98,04	99,76	99,18	100,39
TotalCalc	70,41	71,52	70,23	72,15	70,76	71,57	70,5	70,43	69,98	72,81	72,31	69,85	72,6		
TSi	2,971	2,911	2,94	2,921	2,955	2,91	2,927	2,906	2,968	3,036	3,077	3,063	3,072	2,973	2,949
TAl	0,029	0,089	0,06	0,079	0,045	0,09	0,073	0,094	0,032	-	-	-	-	0,027	0,051
Sum_T	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,036	3,077	3,063	3,072	3	3
Al^{VI}	1,984	1,918	1,949	1,918	1,972	1,93	1,935	1,945	1,994	1,974	1,962	1,96	1,958	1,907	1,877
Ti	0,011	0,004	0,007	0,008	0,001	0,01	-	0,009	0,002	0,006	-	0,003	0,006	-	0,005
Cr	0,003	0,009	-	0,003	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	0,002
Sum_A	1,997	1,93	1,956	1,929	1,973	1,94	1,935	1,954	2,001	1,981	1,962	1,963		2,006	1,983
Fe2	1,962	1,87	1,965	1,871	1,93	1,819	1,927	1,914	1,961	1,755	1,752	1,895	1,787	1,886	1,888
Mg	0,301	0,462	0,318	0,443	0,376	0,548	0,31	0,318	0,244	0,781	0,808	0,626	0,629	0,375	0,445
Mn	0,12	0,067	0,103	0,062	0,097	0,067	0,108	0,117	0,129	0,107	0,073	0,16	0,15	0,129	0,069
Ca	0,618	0,671	0,659	0,694	0,621	0,626	0,721	0,695	0,645	0,337	0,324	0,289	0,396	0,603	0,616
Na	0,002	-	-	-	0,003	-	-	0,003	0,019	0,004	0,004	0,003	0,003	-	-
Sum_B	3,003	3,07	3,044	3,071	3,027	3,06	3,065	3,046	2,999	2,984	2,96	2,973	2,965	2,994	3,017
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	65,351	60,901	64,538	60,92	63,756	59,455	62,855	62,817	-	58,802	59,177	63,724	60,272	53,931	53,087
Gross	20,449	21,413	21,654	22,451	20,512	20,444	23,515	22,8	-	11,3	10,932	9,732	13,353	18,886	19,249
Pyrope	10,018	15,039	10,434	14,439	12,432	17,908	10,115	10,444	-	26,178	27,31	21,055	21,221	15,613	18,475
Spess	4,005	2,196	3,375	2,029	3,199	2,193	3,515	3,837	-	3,588	2,452	5,379	5,067	5,366	2,865
Uvaro	0,126	0,451	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,013	0,135
XCagnt	0,206	0,219	0,216	0,226	0,205	0,205	0,235	0,228	0,217	0,113	0,11	0,097	0,134	0,201	0,204
XFegnt	0,654	0,609	0,645	0,609	0,638	0,594	0,629	0,629	0,658	0,589	0,592	0,638	0,603	0,630	0,626
XMggnt	0,1	0,15	0,104	0,144	0,124	0,179	0,101	0,104	0,082	0,262	0,273	0,211	0,212	0,125	0,147
Fe/Mggnt	6,518	4,048	6,179	4,223	5,133	3,319	6,216	6,019	8,037	2,247	2,168	3,027	2,841	5,029	4,243

TABELA 5.2 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DA GRANADA PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA ANÁLISE LOCAL MINERAL	CIPB c1gr1 - GRA	CIPB c1gr2 - GRA	CIPB c1gr3 - GRA	CIPB c3gr1 - GRA	CIPB c3gr2 - GRA	CIPB c4gr1 - GRA	CIPB c4gr2 - GRA	CIPB c6gr1 - GRA	CIPB c6gr2 - GRA	CIPB c6gr3 - GRA	CIPB c6gr4 - GRA	CIPB c6gr5 - GRA	Mag52 C1 cen GRA	Mag52 C1 bor GRA	Mag52 C1 cen GRA	Mag52 C1 cen GRA
SiO_2	37,361	36,749	37,056	36,510	36,598	36,455	36,722	37,076	36,806	37,222	37,335	37,035	37,962	38,339	37,570	37,891
Al_2O_3	21,249	20,303	21,288	20,568	20,851	20,594	20,916	20,856	20,703	21,122	21,140	21178	21,865	21,775	21,478	21,461
TiO_2	0	0	0,009	0	0,057	0,024	0,080	0,066	0	0,042	0,038	0,038	0,000	0,000	0,024	0,029
FeO	29,345	29,156	28,850	29,147	28,933	29,397	29,906	29,760	29,963	29,129	29,719	29,969	24,492	23,141	22,642	23,796
MnO	1,718	1,654	1,451	1,456	1494	1,397	1,536	1,595	1,388	1,566	1,444	1,566	0,492	0,566	0,476	0,514
MgO	1,790	2,140	1,897	1,491	1,744	1,939	1,825	1,741	1,728	1,853	1,828	1,881	4,827	5,110	4,988	5,064
CaO	7,154	6,895	7,661	7,587	7,543	6,873	6,845	7,452	7,253	7,611	7,341	6,984	9,626	9,638	10,165	9,313
Cr_2O_3	0,043	0,029	0	0,019	0	0	0,016	0	0	0,015	0	0,009	0,020	0,000	0,000	0,001
Total	98,65	96,92	98,24	96,84	97,28	96,81	97,84	98,56	97,84	98,55	98,88	98,65	99,26	98,60	97,40	98,08
TSi	3,027	3,030	3,009	3,020	3,008	3,014	3,004	3,011	3,012	3,016	3,019	3,002	2,967	3,012	2,989	3,001
TAl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,033	0,000	0,011	0,000
Sum_T	3,027	3,030	3,009	3,020	3,008	3,014	3,004	3,011	3,012	3,016	3,019	3,002	3,000	3,012	3,000	3,001
Al^{VI}	2,027	1,971	2,036	2,004	2,018	2,005	2,015	1,995	1,995	2,015	2,013	2,022	1,979	2,015	2,001	2,002
Ti	0	0	0,001	0	0,004	0,001	0,005	0,004	0	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002
Cr	0,003	0,002	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Sum_A	2,129	2,073	2,134	2,106	2,121	2,108	2,123	2,100	2,097	2,117	2,116	2,126	1,980	2,015	2,002	2,004
Fe^2	1,889	1,910	1,861	1,916	1,889	1,931	1,944	1,920	1,948	1,875	1,909	1,930	1,619	1,526	1,508	1,572
Mg	0,216	0,263	0,230	0,184	0,214	0,239	0,223	0,211	0,211	0,224	0,220	0,227	0,562	0,598	0,591	0,598
Mn	0,118	0,115	0,100	0,102	0,104	0,098	0,106	0,110	0,096	0,107	0,099	0,108	0,033	0,038	0,032	0,034
Ca	0,621	0,609	0,666	0,672	0,664	0,609	0,600	0,648	0,636	0,661	0,636	0,607	0,806	0,811	0,866	0,790
Sum_B	2,844	2,897	2,857	2,874	2,871	2,877	2,873	2,889	2,891	2,867	2,865	2,872	3,020	2,973	2,998	2,995
Sum_cat	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8000	8,000	8,000	8,000	8,000
O	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
Alm	66,417	65,914	65,142	66,654	65,801	67,126	67,662	66,463	67,383	65,400	66,652	67,215	53,603	51,317	50,304	52,499
Gross	17,044	16,089	18,744	18,557	18,453	16,350	16,025	17,637	17,115	18,345	17,460	16,325	26,631	27,287	28,897	26,383
Pyrope	7,602	9,078	8,037	6,398	7,442	8,308	7,748	7,296	7,292	7,806	7,693	7,916	18,625	20,130	19,729	19,963
Spess	4,145	3,987	3,493	3,550	3,622	3,401	3,705	3,798	3,328	3,748	3,453	3,745	1,079	1,267	1,070	1,151
Uvaro	0,129	0,091	0	0,059	0	0	0,049	0	0	0,045	0	0,027	0,062	0,000	0,000	0,003
XCagnt	0,218	0,210	0,233	0,234	0,231	0,212	0,209	0,224	0,220	0,231	0,222	0,211	0,267	0,273	0,289	0,264
XFegnt	0,664	0,659	0,651	0,667	0,658	0,671	0,677	0,665	0,674	0,654	0,667	0,672	0,536	0,513	0,503	0,525
XMggnt	0,076	0,091	0,081	0,064	0,075	0,083	0,078	0,073	0,073	0,078	0,077	0,079	0,186	0,201	0,197	0,200
Fe/Mggnt	8,745	7,262	8,091	10,413	8,827	8,079	8,717	9,100	9,232	8,371	8,677	8,502	2,881	2,552	2,552	2,629

TABELA 5.3 – QUÍMICA MINERAL DO ANFIBÓLIO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	JN33ba	JN33ba	JN33ba	JN33ba	JN33ba	JN33ba
ANÁLISE	C 21	C 22	C 23	C 24	C 25	C 26	C 27	C 28	C 29	C 30	hb2-a	hb2-b	hb2-c	hb3-a	hb3-b	hb3-c
LOCAL	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	bor	cen	bor	bor	bor	cen
MINERAL	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO_2	45,306	44,145	44,000	44,028	44,028	43,359	43,518	43,039	44,023	45,331	41,9463	41,0361	41,0166	40,0264	41,6671	41,3656
TiO_2	1,487	1,494	1,524	1,286	1,714	1,838	1,719	1,863	1,798	0,775	1,8821	1,9329	2,1016	1,9513	2,6684	2,7779
Al_2O_3	10,138	11,147	10,995	10,651	10,834	11,095	11,436	11,662	10,499	9,903	11,4138	11,2995	11,2509	10,7403	10,4703	10,7367
FeO	12,112	13,347	13,462	12,505	13,324	14,639	14,377	14,347	13,757	12,436	19,8708	19,9828	19,6496	20,2187	19,1111	19,5387
MnO	0,114	0,129	0,13	0,133	0,162	0,121	0,117	0,149	0,168	0,137	0,1330	0,1164	0,0900	0,1593	0,1307	0,1474
MgO	14,291	13,036	13,004	13,514	13,095	12,236	12,02	12,008	12,556	13,911	8,3734	8,1877	8,0176	7,7168	8,1417	8,0175
CaO	11,993	11,874	12,006	11,937	11,654	11,805	11,952	11,922	11,721	12,07	11,1486	10,9732	11,1082	10,9941	11,5998	11,2169
Na_2O	1,452	1,442	1,353	1,278	1,432	1,464	1,491	1,378	1,364	1,111	1,1681	1,4181	1,2651	1,3244	1,1330	1,2927
K_2O	0,941	1,316	1,259	1,278	1,233	1,41	1,276	1,387	1,321	1,022	1,4955	1,4891	1,5071	1,5287	1,5364	1,5187
F	0,594	0,469	0,546	0,442	0,341	0,453	0,469	0,419	0,508	0,629	0,0950	0,0000	0,2215	0,2244	0,0004	0,0004
Total	98,43	98,4	98,28	97,05	97,82	98,42	98,37	98,17	97,72	97,33	97,49	96,57	96,15	94,70	96,46	96,63
TSi	6,552	6,441	6,438	6,485	6,44	6,377	6,405	6,344	6,496	6,634	6,378	6,325	6,352	6,322	6,448	6,394
TAl	1,448	1,559	1,562	1,515	1,56	1,623	1,595	1,656	1,504	1,366	1,622	1,675	1,648	1,678	1,552	1,606
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAl	0,278	0,356	0,332	0,333	0,306	0,298	0,388	0,368	0,32	0,341	0,422	0,376	0,404	0,319	0,356	0,349
CFe_3	0,549	0,51	0,511	0,524	0,588	0,516	0,391	0,455	0,44	0,563	0,324	0,319	0,242	0,325	0,069	0,154
CTi	0,162	0,164	0,168	0,142	0,189	0,203	0,19	0,207	0,2	0,085	0,215	0,224	0,245	0,232	0,311	0,323
CMg	3,081	2,835	2,836	2,968	2,855	2,683	2,638	2,638	2,762	3,035	1,898	1,881	1,851	1,817	1,878	1,848
CFe_2	0,916	1,119	1,136	1,017	1,042	1,285	1,379	1,313	1,257	0,959	2,126	2,177	2,236	2,291	2,377	2,316
CMn	0,014	0,016	0,016	0,017	0,02	0,015	0,015	0,019	0,021	0,017	0,009	0,088	0,006	0,011	0,009	0,010
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BCa	1,858	1,856	1,882	1,884	1,826	1,86	1,885	1,883	1,853	1,893	1,816	1,812	1,843	1,860	1,923	1,858
BNa	0,142	0,144	0,118	0,116	0,174	0,14	0,115	0,117	0,147	0,107	0,098	0,100	0,084	0,074	0,041	0,076
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,265	0,264	0,266	0,249	0,233	0,278	0,31	0,277	0,243	0,208	0,247	0,324	0,296	0,331	0,299	0,312
AK	0,174	0,245	0,235	0,24	0,23	0,265	0,24	0,261	0,249	0,191	0,290	0,293	0,298	0,308	0,303	0,299
Sum_A	0,439	0,509	0,501	0,489	0,463	0,542	0,55	0,537	0,492	0,399	0,537	0,617	0,594	0,639	0,602	0,611
Sum_cat	15,439	15,509	15,501	15,489	15,463	15,542	15,55	15,537	15,492	15,399	15,537	15,617	15,594	15,639	15,602	15,611
Sum_oxy	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23,000	23,000	23,007	23,000	23,028	23,040
CF	0,272	0,216	0,253	0,206	0,158	0,211	0,218	0,195	0,237	0,291	0,046	0,000	0,108	0,112	0,000	0,000

TABELA 5.3 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DO ANFIBÓLIO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag	Mag
ANÁLISE	c1anf1	c1anf2	c2anf1	c2anf2	c2anf3	c3anf1	c3anf2	c4anf4	c4anf4	c4anf5	C2	C2	C2	C2	C2	C2
LOCAL	AltPx	AltPx	-	-	AltPx	-	-	bord	cen	cen	P3	P4	P5	P6	P7	P8
MINERAL	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF	ANF
SiO_2	40,750	42,939	40,549	41,206	39,597	40,340	41,088	40,686	41,076	40,885	47,409	46,634	44,253	43,719	45,705	46,614
TiO_2	0,244	0,172	1,681	1,802	0,371	1,791	1,621	1,863	1,813	1,766	0,481	0,482	0,799	0,992	0,871	0,904
Al_2O_3	3,161	2,706	11,433	11,249	1,856	11,466	11,279	11,397	11,061	11,283	9,815	10,040	12,204	12,274	10,102	10,515
FeO	24,896	28,447	21,923	21,731	27,703	21,818	21,695	21,539	21,985	21,083	12,897	12,912	14,883	14,840	13,859	14,544
MnO	0,432	0,665	0,126	0,114	0,528	0,147	0,058	0,115	0,081	0,144	0,119	0,135	0,124	0,084	0,092	0,151
MgO	6,093	5,537	6,865	6,838	4,521	6,758	6,950	7,005	6,984	7,198	14,216	13,829	11,718	11,508	12,833	12,581
CaO	2,407	2,515	10,587	10,661	2,338	10,564	10,725	10,890	10,763	10,891	11,539	11,542	11,427	11,529	11,778	11,712
Na_2O	0,444	0,494	1,556	1,441	0,342	1,587	1,569	1,702	1,733	1,627	1,077	1,168	1,654	1,478	1,291	1,342
K_2O	0,391	0,454	15,28	1,542	0,316	1,567	1,575	1,624	1,701	1,601	0,226	0,281	0,375	0,394	0,337	0,318
F	0	0,081	0,478	0,457	0,002	0,652	0,376	0,433	0,742	0,747	0,112	0,145	0,000	0,000	0,000	0,111
Total	78,91	84,11	96,82	97,14	77,64	96,80	97,04	97,35	98,05	97,31	98,02	97,28	98,22	97,02	97,01	98,92
TSi	7,478	7,488	6,331	6,408	7,518	6,321	6,396	6,334	6,380	6,370	6,798	6,760	6,493	6,458	6,707	6,725
TAl	0,380	0,314	1,669	1,592	0,232	1,679	1,604	1,666	1,620	1,630	1,202	1,240	1,507	1,542	1,293	1,275
Sum_T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAl	0,304	0,242	0,433	0,468	0,183	0,437	0,464	0,423	0,403	0,440	0,455	0,474	0,602	0,594	0,453	0,512
CFe_3	1,664	1,763	0,342	0,283	1,830	0,317	0,272	0,234	0,250	0,229	0,545	0,501	0,404	0,417	0,375	0,335
CTi	0,034	0,023	0,197	0,211	0,053	0,211	0,190	0,218	0,212	0,207	0,052	0,053	0,088	0,110	0,096	0,098
CMg	1,667	1,439	1,598	1,585	1,280	1,579	1,613	1,626	1,617	1,672	3,039	2,988	2,563	2,534	2,808	2,706
CFe_2	1,300	1,487	2,422	2,445	1,615	2,446	2,457	2,492	2,513	2,443	0,903	0,976	1,335	1,340	1,263	1,340
CMn	0,032	0,046	0,008	0,007	0,040	0,010	0,004	0,008	0,005	0,009	0,007	0,008	0,008	0,005	0,006	0,009
Sum_C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BCa	0,473	0,470	1,771	1,776	0,476	1,774	1,789	1,816	1,791	1,818	1,773	1,793	1,796	1,825	1,852	1,810
BNa	0,075	0,079	0,122	0,119	0,060	0,120	0,112	0,098	0,111	0,097	0,121	0,110	0,108	0,093	0,079	0,101
Sum_B	1,298	1,301	2,000	2,000	1,284	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,083	0,088	0,349	0,316	0,066	0,362	0,361	0,416	0,411	0,395	0,179	0,218	0,362	0,330	0,288	0,274
AK	0,092	0,101	0,304	0,306	0,077	0,313	0,313	0,323	0,337	0,318	0,041	0,052	0,070	0,074	0,063	0,059
Sum_A	0,175	0,189	0,654	0,621	0,143	0,675	0,674	0,738	0,748	0,713	0,220	0,270	0,432	0,404	0,352	0,333
Sum_cat	14,473	14,490	15,654	15,621	14,427	15,675	15,674	15,738	15,748	15,713	15,220	15,270	15,432	15,404	15,352	15,333
Sum_oxy	23,105	23,125	23,016	23,041	23,144	23,026	23,037	23,034	23,046	23,035	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
CF	0	0,045	0,236	0,225	0,001	0,323	0,185	0,213	0,364	0,368	0,051	0,066	0,000	0,000	0,000	0,051

TABELA 5.4 – QUÍMICA MINERAL DO PIROXÊNIO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	P4	P4	P4	P4	P4
ANÁLISE	C 21	C 22	C 23	C 41	C 42	C 61	C 62	C 63	C 64	C 65	C 67	c1px1	c1px2	c3px1	c3px2	c3px3
LOCAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	cen	bor	bor	bor	bor
MINERAL	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR	PYR
SiO_2	52,435	52,634	52,229	52,191	51,851	52,182	52,281	51,681	52,535	51,986	52,425	51,412	51,435	51,769	51,536	51,179
TiO_2	0,068	0,036	0,054	0,023	0,038	0,179	0,204	0,145	0,156	0,247	0,112	0,174	-	0,099	0,014	-
Al_2O_3	0,967	0,997	1,046	1,074	0,952	2,083	2,097	2,082	2,129	2,062	1,904	1,188	1,203	1,012	1,114	1,115
FeO	24,018	24,355	24,489	25,216	25,042	9,596	10,215	9,288	9,199	8,968	8,72	25,391	25,165	26,078	25,466	25,48
Cr_2O_3	0,069	0,03	0,082	0,033	0,034	0,136	0,124	0,113	0,143	0,141	0,095	-	0,011	-	0,033	0,057
MnO	0,577	0,538	0,567	0,578	0,548	0,218	0,226	0,254	0,157	0,175	0,247	0,514	0,634	0,632	0,53	0,519
MgO	21,768	21,548	21,525	21,054	20,5	13,685	13,769	13,553	13,578	13,415	13,347	20,144	19,945	19,643	19,717	19,877
CaO	0,522	0,553	0,567	0,659	0,659	21,573	21,159	21,884	22,159	22,466	22,501	0,493	0,518	0,404	0,502	0,574
Na_2O	0,013	0,011	0,017	0,013	0,029	0,636	0,679	0,635	0,622	0,565	0,56	0,002	0,023	0,016	-	-
K_2O	0,012	-	0,025	0,005	-	0,007	-	-	-	0,008	0,006	0,015	0,004	0,008	0,006	-
Total	100,45	100,7	100,6	100,85	99,65	100,3	100,75	99,64	100,68	100,03	99,92	99,33	98,94	99,66	98,92	98,8
TSi	1,955	1,96	1,947	1,947	1,961	1,935	1,932	1,928	1,941	1,934	1,952	1,955	1,964	1,97	1,971	1,958
TAl	0,042	0,04	0,046	0,047	0,039	0,065	0,068	0,072	0,059	0,066	0,048	0,045	0,036	0,03	0,029	0,042
M1Al	-	0,004	-	-	0,004	0,026	0,023	0,02	0,033	0,024	0,036	0,008	0,018	0,015	0,022	0,009
M1Ti	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005	0,006	0,004	0,004	0,007	0,003	0,005	-	0,003	-	-
$M1Fe_2$	-	-	-	-	-	0,208	0,209	0,219	0,211	0,221	0,218	-	-	-	-	-
M1Cr	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,003	-	-	-	0,001	0,002
M1Mg	0,996	0,994	0,996	0,998	0,994	0,757	0,758	0,754	0,748	0,744	0,741	0,987	0,982	0,982	0,977	0,99
M2Mg	0,214	0,202	0,2	0,173	0,162	-	-	-	-	-	-	0,155	0,153	0,132	0,147	0,144
$M2Fe_2$	0,749	0,758	0,764	0,787	0,792	0,09	0,107	0,071	0,074	0,058	0,054	0,807	0,803	0,83	0,815	0,815
M2Mn	0,018	0,017	0,018	0,018	0,018	0,007	0,007	0,008	0,005	0,006	0,008	0,017	0,021	0,02	0,017	0,017
M2Ca	0,021	0,022	0,023	0,026	0,027	0,857	0,838	0,875	0,877	0,895	0,898	0,02	0,021	0,016	0,021	0,024
M2Na	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,046	0,049	0,046	0,045	0,041	0,04	-	0,002	0,001	-	-
M2K	0,001	-	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-
Sum_cat	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ca	1,044	1,107	1,132	1,316	1,34	44,686	43,655	45,41	45,825	46,543	46,805	1,011	1,07	0,831	1,041	1,183
Mg	60,56	59,999	59,804	58,48	58,019	39,442	39,526	39,13	39,069	38,669	38,63	57,498	57,322	56,249	56,879	56,99
Fe_2_Mn	38,397	38,894	39,064	40,204	40,64	15,872	16,819	15,46	15,106	14,788	14,564	41,491	41,608	42,92	42,08	41,828
JD1	-	0,04	-	-	0,108	1,351	1,18	1,015	1,699	1,228	1,82	0,044	0,097	0,08	0,015	-
AE1	0,076	-	0,122	0,059	-	1,002	1,302	1,323	0,582	0,871	0,267	-	-	-	-	-
CFTS1	0,026	0,045	-	-	0,051	-	-	-	-	-	-	-	0,017	-	0,051	0,087
CTTS1	0,096	0,051	0,076	0,033	0,055	0,255	0,289	0,207	0,222	0,353	0,161	0,253	-	0,144	0,021	-
CATS1	-	0,145	-	-	0,071	-	-	-	-	-	-	0,37	0,801	0,681	1,083	0,438
WO1	0,93	0,875	1,065	1,294	1,174	43,536	42,44	44,326	44,673	45,344	45,855	0,397	0,262	0,014	-	0,668

EN1	61,071	60,49	60,271	58,984	58,472	38,652	38,688	38,375	38,277	37,966	37,978	57,956	57,866	56,788	57,308	57,476
FS1	37,801	38,354	38,467	39,63	40,069	15,204	16,101	14,753	14,548	14,238	13,919	40,981	40,958	42,293	41,523	41,332
Q	1,979	1,977	1,983	1,984	1,975	1,912	1,912	1,919	1,909	1,918	1,91	1,969	1,96	1,96	1,96	1,973
J	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,091	0,097	0,092	0,089	0,082	0,081	-	0,003	0,002	-	-
WO	1,044	1,107	1,132	1,316	1,34	44,686	43,655	45,41	45,825	46,543	46,805	1,011	1,07	0,831	1,041	1,183
EN	60,56	59,999	59,804	58,48	58,019	39,442	39,526	39,13	39,069	38,669	38,63	57,498	57,322	56,249	56,879	56,99
FS	38,397	38,894	39,064	40,204	40,64	15,872	16,819	15,46	15,106	14,788	14,564	41,491	41,608	42,92	42,08	41,828
WEF	99,906	99,92	99,877	99,906	99,787	95,449	95,174	95,448	95,551	95,936	95,954	99,985	99,828	99,881	100	100
JD	-	0,08	-	-	0,213	4,551	4,826	4,552	4,449	4,064	4,046	0,015	0,172	0,119	-	-
AE	0,002	-	0,002	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 5.4 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DO PIROXÊNIO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	P4	P4	P4	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB
ANÁLISE	c3px4	c3px5	c3px6	opx-1a	opx-1b	opx-2a	opx-2b	opx-3a	opx-3b	c1px2	c1px2	c1px2	C2px1	C2px1	C2px1	C3px3
LOCAL	bor	bor	bor	bor	cen	bor	cen	bor	cen	bor	bor	cen	bor	bor	cen	borAlt
MINERAL	PYR	PYR	PYR	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX
SiO_2	51,552	51,417	51,38	49,0713	49,7111	49,8149	50,5526	49,3107	50,1946	49,282	49,697	49,188	49,181	49,239	48,940	48,480
TiO_2	0,158	0,053	0,037	0,0445	0,0000	0,0667	0,0000	0,1394	0,0389	0,041	0,032	0,124	0,060	0	0,027	0
Al_2O_3	1,04	1,088	1,227	0,8610	0,6652	0,7104	0,6298	0,6101	0,7332	0,351	0,459	0,370	0,330	0,292	0,300	0,360
FeO	25,814	24,41	24,869	33,536	33,108	33,663	33,7027	33,0375	33,864	38,066	37,662	38,660	38,282	38,324	38,477	38,055
Cr_2O_3	0,017	0,046	0,044	0,000	0,0000	0,0275	0,0073	0,0000	0,0224	0	0,021	0	0	0,026	0	0
MnO	0,505	0,549	0,541	0,5666	0,6041	0,7327	0,6635	0,4958	0,5293	0,605	0,592	0,588	0,569	0,526	0,602	0,653
MgO	19,499	20,391	20,681	13,4835	13,9585	13,7921	13,6831	13,3786	14,2277	10,342	9,957	10,096	10,175	10,054	10,147	10,291
CaO	0,414	0,485	0,466	0,7426	0,6565	0,6645	0,6207	0,7607	0,7178	1,291	1,226	0,916	1,095	0,791	0,780	0,888
Na_2O	0,008	0,046	0,012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,019	0,026	0	0	0	0,018	0,130
K_2O	0,001	0,004	-	0,0000	0,0205	0,0102	0,0166	0,0000	0,0276	0,019	0,004	0	0,009	0,024	0	0
Total	99,01	98,49	99,26	98,31	98,73	99,48	99,88	97,73	100,36	100,02	99,68	99,94	99,70	99,28	99,29	98,86
TSi	1,974	1,965	1,948	1,973	1,984	1,978	1,999	1,994	1,972	1,993	2,018	1,996	1,998	2,010	1,998	1,982
TAl	0,026	0,035	0,052	0,027	0,016	0,022	0,001	0,006	0,028	0,007	0	0,004	0,002	0	0,002	0,017
M1Al	0,021	0,014	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,022	0,014	0,014	0,014	0,012	0
M1Ti	0,005	0,002	0,001	0,013	0,015	0,011	0,029	0,023	0,006	0,001	0,001	0,004	0,002	0	0,001	0
M1Fe2	-	-	-	0,001	0,000	0,002	0,000	0,004	0,001	0,366	0,374	0,372	0,368	0,373	0,370	0,345
M1Cr	0,001	0,001	0,001	0,177	0,155	0,170	0,164	0,167	0,159	0	0,001	0	0	0,001	0	0
M1Mg	0,974	0,983	0,995	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,623	0,603	0,611	0,616	0,612	0,617	0,627
M2Mg	0,139	0,179	0,174	0,808	0,830	0,816	0,807	0,806	0,833	0	0	0	0	0	0	0
M2Fe2	0,827	0,78	0,789	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,921	0,906	0,940	0,932	0,935	0,944	0,928
M2Mn	0,016	0,018	0,017	0,949	0,950	0,947	0,951	0,950	0,951	0,021	0,020	0,020	0,020	0,018	0,021	0,023

M2Ca	0,017	0,02	0,019	0,019	0,020	0,025	0,022	0,017	0,018	0,056	0,053	0,040	0,048	0,035	0,034	0,039
M2Na	0,001	0,003	0,001	0,032	0,028	0,028	0,026	0,033	0,030	0,001	0,002	0	0	0	0,001	0,010
M2K	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0	0	0	0,001	0	0
Sum_cat	4	4	4	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	3999	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000
Ca	0,861	1,003	0,949	4,000	3,999	3,999	3,999	4,000	3,999	2,814	2,728	2,009	2,402	1,754	1,718	1,983
Mg	56,413	58,687	58,629	1,620	1,416	1,428	1,335	1,670	1,533	31,370	30,824	30,803	31,058	31,011	31,093	31,977
Fe_2_Mn	42,726	40,309	40,422	40,931	41,902	41,252	40,952	40,863	42,287	65,816	66,448	67,188	66,539	67,235	67,189	66,040
JD1	0,033	0,183	0,045	57,449	56,682	57,320	57,713	57,468	56,180	0,125	0,116	0	0,024	0,064	0,072	0
AE1	-	-	-	0,000	0,053	0,0265	0,043	0,000	0,071	0	0	0	0	0	0	0,529
CFTS1	0,026	0,071	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,035	0	0	0,043	0	0,907
CTTS1	0,231	0,078	0,053	0,581	0,096	0,417	0,012	0,000	1,105	0,063	0	0,193	0,093	0	0,042	0
CATS1	1,038	0,527	0,102	0,069	0,000	0,102	0,000	0,217	0,059	0,318	0	0,017	0,013	0	0,082	0
WO1	-	0,335	0,735	0,679	0,720	0,523	0,027	0,115	0,217	2,460	2,719	1,820	2,319	1,726	1,611	1,089
EN1	56,621	59,11	59,118	0,307	0,615	0,404	1,311	1,352	0,165	31,661	31,113	31,120	31,361	31,280	31,399	32,179
FS1	42,05	39,696	39,88	41,335	42,315	41,761	41,401	41,217	42,638	65,374	66,018	66,851	66,190	66,888	66,794	65,297
Q	1,957	1,962	1,976	57,029	56,201	56,767	57,206	57,099	55,745	1,966	1,935	1,962	1,964	1,955	1,965	1,939
J	0,001	0,007	0,002	1,955	1,961	1,954	1,948	1,956	1,953	0,003	0,004	0	0	0	0,003	0,021
WO	0,861	1,003	0,949	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,814	2,728	2,009	2,402	1,754	1,718	1,955
EN	56,413	58,687	58,629	1,611	1,415	1,423	1,335	1,670	1,517	31,370	30,824	30,803	31,058	31,011	31,093	31,521
FS	42,726	40,309	40,422	40,697	41,862	41,100	40,952	40,863	41,843	65,816	66,448	67,188	66,539	67,235	67,189	66,525
WEF	99,94	99,657	99,912	57,692	56,723	57,476	547,713	57,468	56,639	99,850	99,791	100,000	100,000	100,000	99,857	98,960
JD	0,06	0,343	0,088	100,00	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	0,150	0,209	0	0	0	0,143	0
AE	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	1,040

TABELA 5.4 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DO PIROXÊNIO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	CIPB	CIPB	CIPB	Mag52	Mag52	Mag52	Mag52	Mag52	Mag52
ANÁLISE	C3px3	C3px4	C3px4	C2	C2	C2alt	C3	C4	C4
LOCAL	cenAlt	bor	cen	P1	P2	P1	P3	P4	P5
MINERAL	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX	PX
SiO_2	49,364	49,541	49,408	51,409	51,356	50,867	52,149	51,464	49,229
TiO_2	0,078	0,037	0,055	0,065	0,254	0,489	0,140	0,145	0,388
Al_2O_3	0,480	0,342	0,351	2,154	3,789	6,230	1,350	2,152	2,775
FeO	38,527	38,480	39,072	8,242	8,653	9,443	6,702	8,822	9,274
Cr_2O_3	0,014	0	0,006	0,384	0,000	0,000	0,118	0,178	0,110
MnO	0,606	0,615	0,540	0,124	0,111	0,083	0,121	0,143	0,218
MgO	10,262	9,759	10,048	13,805	14,262	14,759	14,457	13,578	12,721
CaO	1,148	0,871	0,915	22,589	20,242	15,221	23,461	23,118	22,801
Na_2O	0,059	0,035	0,030	0,338	0,497	0,744	0,245	0,303	0,341
K_2O	0,017	0	0,004	0,018	0,053	0,083	0,014	0,023	0,003

Total	100,56	99,68	100,43	99,13	99,23	97,96	98,76	99,93	97,86
TSi	1,987	2,017	1,996	1,926	1,914	1,912	1,953	1,917	1,878
TAl	0,013	0	0,004	0,074	0,086	0,088	0,047	0,083	0,122
M1Al	0,009	0,016	0,013	0,021	0,080	0,188	0,012	0,012	0,002
M1Ti	0,002	0,001	0,002	0,002	0,007	0,014	0,004	0,004	0,011
M1Fe2	0,368	0,390	0,381	0,194	0,120	0,000	0,173	0,225	0,260
M1Cr	0	0	0	0,011	0,000	0,000	0,003	0,005	0,003
M1Mg	0,616	0,592	0,605	0,771	0,792	0,798	0,807	0,754	0,723
M2Mg	0	0	0	0,000	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000
M2Fe2	0,924	0,921	0,939	0,064	0,150	0,297	0,036	0,050	0,036
M2Mn	0,021	0,021	0,018	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,007
M2Ca	0,049	0,038	0,040	0,907	0,808	0,613	0,941	0,923	0,932
M2Na	0,005	0,003	0,002	0,025	0,036	0,054	0,018	0,022	0,025
M2K	0,001	0	0	0,001	0,003	0,004	0,001	0,001	0,000
Sum_cat	3,999	4,000	4,000	3,999	3,997	3,996	3,999	3,999	4,000
Ca	2,502	1,937	1,997	46,741	43,134	35,240	47,974	47,171	47,589
Mg	31,124	30,194	30,512	39,745	42,286	47,544	41,133	38,548	36,942
Fe_2_Mn	66,373	67,869	67,491	13,514	14,579	17,217	10,893	14,281	15,468
JD1	0,279	0,142	0,130	1,084	2,014	3,243	0,617	0,587	0,115
AE1	0	0	0	0,212	0,000	0,000	0,317	0,577	1,169
CFTS1	0,247	0	0,010	0,367	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CTTS1	0,120	0	0,085	0,093	0,373	0,770	0,199	0,206	0,563
CATS1	0,194	0	0,128	0,000	2,200	4,113	0,000	0,000	0,000
WO1	1,960	1,955	1,790	45,768	39,772	29,266	47,420	46,524	46,585
EN1	31,365	30,481	30,759	39,310	41,512	46,072	40,829	38,188	36,600
FS1	65,834	67,422	67,098	13,166	14,129	16,536	10,618	13,919	14,968
Q	1,957	1,941	1,965	1,936	1,871	1,737	1,958	1,952	1,951
J	0,009	0,006	0,005	0,049	0,072	0,108	0,036	0,044	0,050
WO	2,497	1,937	1,997	46,741	43,134	35,240	47,974	47,171	47,589
EN	31,055	30,194	30,512	39,745	42,286	47,544	41,133	38,548	36,942
FS	66,448	67,869	67,491	13,514	14,579	17,217	10,893	14,281	15,468
WEF	99,537	99,719	99,764	97,531	96,308	94,131	98,219	97,811	97,489
JD	0,314	0,281	0,236	2,469	3,692	5,869	1,781	2,189	2,511
AE	0,149	0	0	0	0	0	0	0	0

TABELA 5.5 – QUÍMICA MINERAL DOS FELDSPATOS PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	AL13	P4	P4	P4	P4	P4	P4
ANÁLISE	C 12	C 22	C 23	C 24	C 41	C 42	C 43	C 44	C 61	C 62	c1fel1	c1fel2	c1fel3	c2fel1	c2fel2	c2fel3
LOCAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	bor	bor	bor	cen	cen	cen
MINERAL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO_2	61,128	60,263	59,751	60,12	60,176	60,843	60,765	60,615	60,933	60,963	60,963	60,57	60,411	64,586	60,039	63,939
TiO_2	-	0,05	0,048	-	0,009	0,014	0,037	0,004	0,002	0,046	-	0,073	0,023	-	-	0,054
Al_2O_3	23,728	24,271	24,12	24,254	24,136	24,147	24,332	24,183	24,375	24,318	24,079	24,262	24,747	18,174	24,414	18,235
FeO	0,087	0,069	0,102	0,052	0,075	0,039	0,029	0,087	0,12	0,1	-	-	-	-	-	-
MnO	0,015	-	0,032	0,019	0,008	-	-	-	-	-	-	0,061	0,023	-	0,017	-
MgO	-	-	0,005	0,019	0,017	0,06	-	0,005	0,016	-	-	-	-	-	-	-
SrO	0,118	0,213	0,115	0,133	0,101	0,195	0,089	0,109	0,154	0,141	0,046	0,073	0,075	0,071	0,195	0,143
BaO	0,078	-	0,015	-	-	0,019	-	0,009	0,009	0,122	0,142	0,012	0,081	0,664	0,02	0,911
CaO	5,832	6,058	6,091	6,066	6,002	6,03	6,057	6,033	6,214	6,056	6,070	6,212	6,749	0,014	6,209	0,002
Na_2O	7,064	7,183	7,274	7,401	7,25	7,175	7,149	7,005	6,978	7,067	7,445	7,641	7,439	0,882	7,672	0,752
K_2O	0,566	0,448	0,438	0,438	0,439	0,406	0,374	0,686	0,417	0,382	1,010	0,362	0,252	15,210	0,191	14,979
Total	98,62	98,55	97,99	98,5	98,21	98,93	98,83	98,74	99,22	99,2	99,567	99,047	99,773	94,319	101,52	97,907
Si	10,998	10,868	10,847	10,854	10,883	10,918	10,903	10,907	10,901	10,911	10,901	10,856	10,781	12,003	10,818	11,97
Al	5,028	5,155	5,157	5,157	5,141	5,103	5,141	5,125	5,135	5,126	5,071	5,121	5,201	3,978	5,181	4,02
Ti	-	0,007	0,007	-	0,001	0,002	0,005	0,001	-	0,006	-	0,01	0,003	-	-	0,008
Fe_2	0,013	0,01	0,015	0,008	0,011	0,006	0,004	0,013	0,018	0,015	-	-	-	-	-	-
Mn	0,002	-	0,005	0,003	0,001	-	-	-	-	-	-	0,009	0,003	-	0,003	-
Mg	-	-	-	0,01	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ba	0,005	-	0,001	-	-	0,001	-	0,001	0,001	0,009	0,01	0,001	0,006	0,048	0,001	0,067
Ca	1,124	1,171	1,185	1,173	1,163	1,159	1,164	1,163	1,191	1,161	1,163	1,193	1,29	0,003	1,199	-
Na	2,464	2,512	2,56	2,591	2,542	2,497	2,487	2,444	2,421	2,453	2,581	2,655	2,574	0,318	2,68	0,273
K	0,13	0,103	0,101	0,101	0,101	0,093	0,086	0,157	0,095	0,087	0,23	0,083	0,057	3,606	0,044	3,578
Cátions	19,774	19,846	19,888	19,907	19,853	19,819	19,8	19,821	19,782	19,778	19,956	19,938	19,925	19,966	19,946	19,936
Z	3,725	3,786	3,852	3,868	3,807	3,75	3,737	3,765	3,708	3,71	3,984	3,941	3,93	3,975	3,927	3,918
Ab	66,3	66,3	66,6	67	66,8	66,6	66,6	64,9	65,3	66,3	64,9	67,5	65,6	8,1	68,3	7,1
An	30,2	30,9	30,8	30,3	30,6	30,9	31,1	30,9	32,1	31,4	29,3	30,3	32,9	0,1	30,6	-
Or	3,5	2,7	2,6	2,6	2,7	2,5	2,3	4,2	2,6	2,4	5,8	2,1	1,5	91,8	1,1	92,9

TABELA 5.5 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DOS FELDSPATOS PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	P4	P4	P4	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	JN33b	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
ANÁLISE	c3fel1	c3fel2	c3fel3	c1-pll	c1-p12	p1-1a	p1-1b	p1-2a	p1-2b	p1-3a	p1-3b	c1fel1	c1fel1	c1fel15	c1fel6	c1fel6
LOCAL	cen	cen	cen	cen	cen	bor	cen	bor	cen	bor	cen	bor	cent	cen	bor	cen
MINERAL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO_2	59,998	59,817	58,715	60,20	59,87	61,9534	62,5878	61,2674	61,6564	61,5613	62,4916	61,066	62,328	59,993	61,176	61,072
TiO_2	0,021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045	0	0	0,076	0
Al_2O_3	25	24,219	24,572	23,81	23,56	24,1881	24,0764	24,6644	24,5857	23,8323	23,7101	24,407	24,042	24,342	24,324	24,466
FeO	-	-	-	0,21	0,14	0,2728	0,1239	0,7744	0,4461	0,2924	0,1721	0,105	0,116	0,022	0,026	0,099
MnO	-	-	0,017	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,005	0,039	0	0,014
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,022	0	0	0,005	0
SrO	0,071	0,062	0,066	-	-	-	-	-	-	-	-	0,114	0,093	0,091	0,076	0,052
BaO	0,021	0,088	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,029	0	0,042	0,068
CaO	6,867	6,566	6,358	5,45	5,45	5,7873	5,3118	6,2029	6,1462	5,8635	5,3248	5,826	5,235	5,928	5,677	6,086
Na_2O	7,192	7,299	7,638	8,50	8,48	7,1381	7,1334	6,8344	6,7506	6,8546	7,3332	7,642	8,175	7,701	8,209	7,992
K_2O	0,289	0,322	0,325	0,81	0,63	0,5718	0,6240	0,5163	0,4875	0,5943	0,6684	0,347	0,389	0,366	0,311	0,335
Total	99,346	98,223	97,608	98,98	98,13	99,91	99,86	100,26	100,07	99,00	99,70	99,57	100,41	98,48	99,92	100,18
Si	10,738	10,824	10,715	10,867	10,887	10,990	11,074	10,868	10,925	11,017	11,092	10,890	11,010	10,835	10,887	10,853
Al	5,269	5,161	5,281	5,062	5,045	5,053	5,017	5,152	5,130	5,023	4,956	5,126	5,001	5,177	5,098	5,120
Ti	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	0	0	0,010	0
Fe_2	-	-	-	0,032	0,021	0,040	0,018	0,115	0,066	0,044	0,026	0,014	0,015	0,003	0,003	0,013
Mn	-	-	0,003									0	0,001	0,006	0	0,002
Mg	-	-	-									0,006	0	0	0,001	0
Sr	0,01	0,01	0,01									0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ba	0,001	0,006	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,002	0	0,003	0,005
Ca	1,317	1,273	1,243	1,054	1,062	1,100	1,007	1,179	1,167	1,124	1,013	1,113	0,991	1,147	1,082	1,159
Na	2,496	2,561	2,703	2,975	2,990	2,455	2,447	2,351	2,319	2,379	2,524	2,642	2,800	2,697	2,833	2,754
K	0,066	0,074	0,076	0,187	0,146	0,129	0,141	0,117	0,110	0,136	0,151	0,079	0,088	0,084	0,071	0,076
Cátions	19,9	19,909	20,031	20,177	20,151	19,767	19,704	19,782	19,717	19,723	19,762	19,886	19,920	19,959	20,001	19,997
Z	3,88	3,914	4,025	4,248	4,219	3,724	3,613	3,762	3,662	3,683	3,714	3,840	3,882	3,934	3,990	3,996
Ab	64,3	65,5	67,2	70,6	71,2	66,6	68,1	64,5	64,5	65,4	68,4	68,9	72,2	68,7	71,1	69,0
An	34	32,6	30,9	25,0	25,3	29,9	28,0	32,3	32,5	30,9	27,5	29,0	25,5	29,2	27,1	29,1
Or	1,7	1,9	1,9	4,4	3,5	3,5	3,9	3,2	3,1	3,7	4,1	2,1	2,3	2,1	1,8	1,9

TABELA 5.5 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DOS FELDSPATOS PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

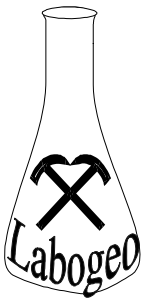
AMOSTRA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
ANÁLISE	c1fel7	c1fel8	c2fel3	c1fel9	c3fel10	c3fel16	c3fel17	c3fel18	c5fel5	c5fel5	c5fel1	c5fel2	c6fel13	c6fel14	c6fel14	c6fel14
LOCAL	cen	cen	cen	cen	cen	cen	cen	bor	bor	cen	cen	cen	cen	bor	borAlt	cen
MINERAL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO_2	59,928	60,901	60,990	59,776	60,181	62,559	60,835	60,201	61,850	60,783	60,088	60,234	64,849	64,017	62,967	64,037
TiO_2	0,061	0	0	0,045	0,035	0,030	0,050	0	0,025	0,020	0,005	0,015	0,030	0,025	0,020	0,020
Al_2O_3	24,175	24,616	24,347	24,512	24,774	23,004	24,342	24,562	23,567	24,400	24,667	24,010	19,002	18,373	19,657	18,723
FeO	0	0,027	0,047	0,093	0,024	0,042	0,117	0,139	0,064	0,063	0,050	0,057	0,047	0,045	0,002	0,010
MnO	0	0	0	0,040	0	0,074	0,041	0,010	0,025	0,001	0	0	0,002	0	0	0
MgO	0,018	0,008	0	0	0	0,004	0	0	0,005	0	0	0	0,002	0,001	0	0,001
SrO	0,096	0,088	0,102	0,076	0,057	0,074	0,105	0,143	0,095	0,041	0,036	0,126	0,090	0,071	0,105	0,098
BaO	0,012	0,012	0,013	0,100	0	0,050	0,053	0,059	0,014	0,019	0,116	0,024	0,719	0,855	0,751	0,998
CaO	6,230	5,978	5,889	6,136	6,142	4,323	5,780	6,239	5,067	5,800	5,778	6,024	0,051	0,015	0,048	0,056
Na_2O	7,807	8,000	7,729	7,864	7,626	8,854	8,105	7,456	8,153	7,846	7,957	7,634	1,721	1,566	1,566	2,050
K_2O	0,399	0,409	0,326	0,380	0,347	0,296	0,370	0,422	0,463	0,391	0,302	0,350	13,692	14,037	13,857	13,385
Total	98,73	100,04	99,44	99,02	99,19	99,31	99,80	99,23	99,33	99,36	99,00	98,47	100,21	99,01	98,97	99,38
Si	10,817	10,836	10,894	10,769	10,790	11,157	10,856	10,805	11,045	10,871	10,801	10,879	11,913	11,947	11,750	11,896
Al	5,139	5,158	5,121	5,200	5,231	4,832	5,116	5,192	4,956	5,139	5,222	5,107	4,111	4,038	4,320	4,096
Ti	0,008	0	0	0,006	0,005	0,004	0,007	0	0,003	0,003	0,001	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003
Fe_2	0	0,004	0,006	0,013	0,003	0,006	0,016	0,019	0,009	0,008	0,007	0,008	0,006	0,006	0	0,001
Mn	0	0	0	0,006	0	0,011	0,006	0,002	0,004	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0,005	0,002	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0
Sr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ba	0,001	0,001	0,001	0,007	0	0,003	0,004	0,004	0,001	0,001	0,008	0,002	0,052	0,063	0,055	0,073
Ca	1,205	1,140	1,127	1,184	1,180	0,826	1,105	1,200	0,969	1,111	1,113	1,166	0,010	0,003	0,010	0,011
Na	2,732	2,760	2,677	2,747	2,651	3,062	2,804	2,595	2,823	2,721	2,773	2,674	0,613	0,567	0,567	0,738
K	0,092	0,093	0,074	0,087	0,079	0,067	0,084	0,097	0,105	0,089	0,069	0,081	3,209	3,342	3,299	3,172
Cátions	20,010	20,005	19,911	20,036	19,949	19,982	20,012	19,928	19,927	19,944	20,002	19,931	19,981	20,043	20,069	20,073
Z	4,035	3,996	3,879	4,031	3,910	3,970	4,003	3,898	3,903	3,922	3,963	3,923	3,885	3,975	3,931	3,994
Ab	67,8	69,1	69,0	68,4	67,8	77,4	70,2	66,7	72,4	69,4	70,1	68,2	16,0	14,5	14,6	18,8
An	29,9	28,5	29,1	29,5	30,2	20,9	27,7	30,8	24,9	28,3	28,1	29,7	0,3	0,1	0,3	0,3
Or	2,3	2,3	1,9	2,2	2,0	1,7	2,1	2,5	2,7	2,3	1,7	2,1	83,7	85,4	85,1	80,9

TABELA 5.5 – (Continuação) QUÍMICA MINERAL DOS FELDSPATOS PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	Mag52	Mag52	Mag52	Mag52
ANÁLISE	C1	C1	C1	C1
LOCAL	P1	P2	P3	P4
MINERAL	FEL	FEL	FEL	FEL
SiO_2	57,798	57,783	57,550	57,796
TiO_2	0,000	0,000	0,000	0,035
Al_2O_3	25,636	25,529	25,500	25,549
FeO	0,190	0,190	0,129	0,193
MnO	0,000	0,013	0,000	0,000
MgO	0,009	0,021	0,000	0,010
SrO	0,000	0,000	0,033	0,019
BaO	0,000	0,099	0,000	0,040
CaO	7,790	7,773	7,784	7,573
Na_2O	6,828	6,794	6,996	7,279
K_2O	0,144	0,133	0,109	0,140
Total	98,40	98,33	98,10	98,63
Si	2,624	2,626	2,623	2,622
Al	1,371	1,367	1,369	1,365
Ti	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe_2	0,006	0,006	0,004	0,007
Mn	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,000	0,001
Sr	0	0	0	0
Ba	0,000	0,002	0,000	0,001
Ca	0,379	0,379	0,380	0,368
Na	0,601	0,599	0,618	0,640
K	0,008	0,008	0,006	0,008
Cátions	4,990	4,991	5,000	5,014
Z	0,989	0,990	1,004	1,018
Ab	60,800	60,800	61,600	63,000
An	38,400	38,400	37,800	36,200
Or	0,800	0,800	0,600	0,800

TABELA 5.6 – QUÍMICA MINERAL DO ÓXIDO PARA O CALCULO DA FORMULA ESTRUTURAL

AMOSTRA	P4	JN33b	JN33b	JN33b	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	Mag52	Mag52	Mag52	Mag52
ANÁLISE	c1opaco1	ilm-2a	ilm-2b	ilm-2c	c1ilm1	c1ilm2	c2ilm	C2ilm	C2	C2	C2	C2
LOCAL	bor	bor	bor	bor	cen	cen	bor	cen	P1	P2	P3	P4
MINERAL	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI
SiO_2	0,028	0,0726	0,032	0,048	0,081	0,065	0,044	0,056	0,000	0,030	0,010	0,045
TiO_2	0,01	42,5127	43,130	48,888	50,133	49,004	48,894	48,275	49,638	49,400	47,955	49,457
Al_2O_3	0,176	0,7257	2,4846	0,083	0,016	0,014	0	0	0,014	0,055	0,054	0,028
Cr_2O_3	0,988	0,0771	0,094	0,037	0,005	0,022	0,041	0	0,046	0,043	0,000	0,000
FeO	88,05	50,804	49,37	46,665	48,260	48,699	48,512	47,234	46,378	48,129	46,691	46,180
MnO	-	1,669	1,790	2,099	0,542	0,380	0,409	0,302	0,342	0,382	0,361	0,390
MgO	-	0,070	0,171	0,015	0,108	0,109	0,278	0,283	1,148	1,122	1,131	1,171
CaO	0,004	0,021	0,013	0,037	0,019	0,027	0,043	0,037	0,020	0,038	0,063	0,033
Nb_2O_5	-	-	-	-	0,080	0,136	0,077	0,044	0,005	0,094	0,002	0,036
Total	89,26	95,95	97,09	97,86	99,24	98,49	98,34	96,26	97,59	99,31	96,28	97,35
Si	0,004	0,006	0,003	0,004	0,007	0,006	0,004	0,005	0,000	0,003	0,001	0,004
Al	0,028	0,075	0,253	0,008	0,002	0,001	0	0	0,001	0,006	0,006	0,003
Ti	0,001	2,816	2,803	3,168	3,234	3,201	3,195	3,214	3,231	3,181	3,182	3,227
Fe_2	9,793	3,638	3,488	3,326	3,461	3,536	3,525	3496	3,356	3,445	3,444	3,350
Cr	0,104	0,005	0,006	0,003	0	0,002	0,003	0	0,003	0,003	0,000	0,000
Mn	-	0,125	0,131	0,153	0,039	0,028	0,030	0,023	0,025	0,028	0,027	0,029
Mg	-	0,009	0,022	0,002	0,014	0,014	0,036	0,037	0,148	0,143	0,149	0,151
Ca	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003	0,006	0,003
Cátions	9,931	6,676	6,707	6,667	6,757	6,788	6,793	6,775	6,766	6,812	6,815	6,767
Nb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



LABORATÓRIO DE GEOQUÍMICA

Departamento de Petrologia e Metalogenia
IGCE - UNESP, Rio Claro, SP.

RELATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS

Interessado: Anna Paula Lima Costa.

MATERIAL ENTREGUE DECLARADO: VERDE NETUNO (CIP); VERDE SANTA CRUZ (CGP); VERDE CHORÓ (CCO).

Natureza do Trabalho : Elementos Maiores.
Referência: LABOGEO.9733 a 9738

Resultados

amostra	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Soma
VERDE CHORÓ ANTES	65,58	0,47	15,12	5,05	0,07	2,97	4,98	3,81	1,33	0,18	0,44	100,01
VERDE CHORÓ DEPOIS	63,73	0,53	15,51	5,53	0,06	3,48	5,24	3,86	1,39	0,20	0,46	99,99
VERDE SANTA CRUZ ANTES	71,40	0,34	14,76	3,16	0,04	0,95	3,18	4,70	1,24	0,08	0,17	100,02
VERDE SANTA CRUZ DEPOIS	71,03	0,36	14,46	3,67	0,05	1,06	3,23	4,57	1,25	0,08	0,25	100,02
VERDE NETUNO ANTES	62,35	1,57	14,77	7,13	0,07	1,75	4,84	3,54	3,38	0,54	0,07	100,01
VERDE NETUNO DEPOIS	63,14	1,41	14,41	7,47	0,10	1,52	4,36	3,40	3,65	0,51	0,06	100,03

Rio Claro, 14 de fevereiro 2007.

ANÁLISE QUÍMICA DAS SOLUÇÕES DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO CONTINUA COM EXTRATOR SOXHLET

Elemento Cálcio (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	5,33	5,43	5,27	5,47	4,96	4,87	5,07	5,13	4,90	4,93
Verde Santa Cruz	2,90	2,51	2,43	2,30	2,75	2,68	2,72	2,65	2,92	3,10
Verde Choró	4,58	4,23	4,06	4,05	4,15	4,06	3,75	4,04	3,93	4,10

Elemento Potássio (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	7,97	12,25	8,47	6,95	6,31	5,95	3,68	2,96	2,84	2,82
Verde Santa Cruz	4,80	2,79	2,11	1,72	1,72	1,35	0,91	0,50	0,42	0,83
Verde Choró	14,16	7,98	7,50	5,01	5,84	6,59	4,35	2,78	2,66	2,88

Elemento Magnésio (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Verde Santa Cruz	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Verde Choró	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

Elemento Sódio (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	13,85	12,52	13,06	12,51	11,79	11,38	8,49	6,95	6,04	6,50
Verde Santa Cruz	8,49	6,97	6,80	6,92	7,20	7,58	4,69	3,79	3,58	4,40
Verde Choró	11,79	8,77	9,46	8,68	9,72	8,99	5,63	4,22	4,29	4,16

Elemento Ferro (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Verde Santa Cruz	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10
Verde Choró	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10

Elemento Silício (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	96,22	96,91	102,43	83,05	102,78	86,29	104,17	84,38	73,19	79,65
Verde Santa Cruz	67,94	47,90	52,21	51,51	50,59	60,53	44,47	42,53	40,68	42,72
Verde Choró	90,88	76,67	86,34	71,58	73,98	74,81	60,72	56,05	56,25	49,05

Elemento Alumínio (mg/l)

Amostra	500h	1000h	1500h	2000h	2500h	3000h	3500h	4000h	4500h	5000h
Verde Netuno	0,06	0,10	0,74	0,19	0,00	0,00	0,30	0,98	1,08	1,35
Verde Santa Cruz	0,41	0,17	1,56	0,79	1,04	1,78	2,12	2,60	2,60	2,37
Verde Choró	3,61	3,41	3,60	3,91	4,01	4,04	4,46	5,01	5,66	5,33

APÊNDICE B

ENSAIOS E DETERMINAÇÕES

ÍNDICES FÍSICOS 166
COMPRESSÃO UNIAXIAL 169
RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) 179
RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO 189
DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR 195
ALTERAÇÃO ACELERADA POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA 198
LIXIVIAÇÃO CONTÍNUA COM EXTRATOR SOXHLET 198
EXPOSIÇÃO AO DIÓXIDO DE ENXOFRE 198
PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS 199

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766/92

Amostra: CGP - Enderbito

Início: 11/10/2003

Término: 11/12/2003

Procedência: Granja - Ceará

CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm^3)		Porosidade	Abs. d'água
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada	%	%
1	237,78	377,28	376,88	2,7016	2,7045	0,2867	0,1061
2	221,68	352,02	351,79	2,6990	2,7008	0,1765	0,0654
3	247,87	394,34	394,02	2,6901	2,6923	0,2185	0,0812
4	234,43	372,98	372,70	2,6900	2,6920	0,2021	0,0751
5	224,44	357,01	356,72	2,6908	2,6930	0,2188	0,0813
6	241,75	384,37	384,07	2,6930	2,6951	0,2103	0,0781
7	247,53	394,73	394,04	2,6769	2,6816	0,4687	0,1751
8	244,57	387,55	387,25	2,7084	2,7105	0,2098	0,0775
9	231,48	367,26	367,03	2,7031	2,7048	0,1694	0,0627
10	232,00	369,53	369,27	2,6850	2,6869	0,1890	0,0704
Valores Médios:				2,694	2,696	0,23	0,09
Desvio Padrão:				0,009	0,009	0,088	0,033

Fórmulas utilizadas: m.e.seca = C/ (B - A)

m.e.satur. = B/ (B - A)

porosidade = (B-C) / (B-A) x 100

abs. d'água = (B-C) / C x 100

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766/92

Amostra: CCP - Enderbito

Início: 27/07/2000

Término: 29/07/2000

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm^3)		Porosidade	Abs. d'água
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada	%	%
1				2,754	2,756	0,11	0,00
2				2,727	2,731	0,30	0,11
3				2,723	2,725	0,13	0,05
4				2,754	2,757	0,21	0,07
5				2,701	2,703	0,13	0,05
6				2,716	2,719	0,19	0,07
7				2,763	2,765	0,13	0,05
8				2,685	2,686	0,00	0,01
9				2,722	2,724	0,08	0,03
10				2,729	2,732	0,14	0,05
Valores Médios:				2,727	2,730	0,14	0,05
Desvio Padrão:				0,024	0,025	0,08	0,03

Fórmulas utilizadas: m.e.seca = C/ (B - A)
m.e.satur. = B/ (B - A)
porosidade = (B-C) / (B-A) x 100
abs. d'água = (B-C) / C x 100

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CIP - Enderbito data: 25/11/2003

Procedência: Itapipoca - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,50	71,37	71,33	71,45	71,25	71,35	73,38	73,61	73,33	73,70	73,51	801,55	152,83
2	72,89	72,98	72,99	72,73	73,08	72,95	73,46	73,48	73,44	73,44	73,46	1100,75	205,43
3	73,21	73,61	73,90	73,65	73,70	73,72	73,61	73,51	73,95	74,03	73,78	816	150,05
4	71,26	74,13	74,23	74,29	74,22	74,22	73,45	73,51	73,50	73,44	73,48	984,05	180,46
5	74,48	74,52	74,47	74,47	74,31	74,44	73,85	74,07	74,02	74,15	74,02	1028,6	186,66
Média:						73,33					73,65	946,19	175,09
Desvio Padrão:						1,25					0,25	132,272	23,484

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	12,5	73,50	5880,00
2	12,3	72,89	5926,02
3	13,2	73,21	5546,21
4	12,3	71,26	5793,50
5	12,4	74,48	6006,45
Média:			5830,44
Desvio Padrão:			176,579624

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CIP - Enderbito data: 26/11/2003

Procedência: Itapipoca - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,12	73,01	72,72	72,69	73,07	72,87	72,91	73,27	73,01	72,96	73,04	764,95	143,72
2	73,87	73,55	73,56	73,49	73,52	73,53	73,36	73,37	73,66	73,57	73,49	885,05	163,79
3	72,95	73,05	72,87	73,07	73,27	73,07	71,93	72,35	71,99	71,95	72,06	815,1	154,82
4	73,42	74,04	74,10	74,03	74,02	74,05	73,56	73,54	73,49	73,46	73,51	970,6	178,31
5	73,87	73,28	73,39	73,53	73,39	73,40	72,93	73,04	72,86	72,77	72,90	857,7	160,30
Média:						73,38					73,00	858,68	160,19
Desvio Padrão:						0,45					0,59	77,3094	12,661

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	12,1	72,12	5960,33
2	12,5	73,87	5909,60
3	11,2	72,95	6513,39
4	12,5	73,42	5873,60
5	11,9	73,87	6207,56
Média:			6092,90
Desvio Padrão:			268,899555

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = Força de ruptura / Área do Corpo

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

Campus de Rio Claro — Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CGP - Enderbito — data: 25/11/2003

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,07	71,58	71,30	71,11	71,44	71,36	73,03	73,02	73,16	72,79	73,00	945,55	181,52
2	73,41	73,15	72,90	72,78	72,81	72,91	72,72	72,86	72,72	72,66	72,74	1009,7	190,38
3	71,17	70,63	70,60	70,58	70,62	70,61	72,66	72,62	72,58	72,71	72,64	993	193,60
Média:						71,63					72,79	982,75	188,50
Desvio Padrão:						1,17					0,18	33,2807	6,2573

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,0	72,07	6551,82
2	11,1	73,41	6613,51
3	11,0	71,17	6470,00
Média:			6545,11
Desvio Padrão:			71,9915011

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão = Força de ruptura / Área do Corpo

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 25/11/2003

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,60	71,55	71,55	71,51	71,38	71,50	73,64	73,75	73,59	73,51	73,62	1038,35	197,26
2	70,03	72,32	72,18	72,15	72,12	72,19	72,48	72,53	72,66	72,56	72,56	1037,45	198,06
3	72,14	72,62	72,62	72,7	72,63	72,63	71,65	71,69	71,77	71,71	71,71	1059,1	203,36
Média:						72,11					72,63	1044,97	199,56
Desvio Padrão:						0,57					0,96	12,2481	3,3166

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,1	72,60	6540,54
2	10,7	70,03	6544,86
3	11,0	72,14	6558,18
Média:			6547,86
Desvio Padrão:			9,19552982

Obs.:	
paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 26/11/2003

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,60	70,03	70,29	70,43	70,25	70,25	73,40	73,54	73,72	73,54	73,55	760,95	147,27
2	72,24	72,45	72,39	72,49	72,37	72,43	73,38	72,78	73,50	73,69	73,34	823,15	154,98
3	73,32	72,80	73,26	73,00	73,22	73,07	72,58	72,65	72,79	72,85	72,72	884,8	166,52
Média:						71,92					73,20	822,967	156,26
Desvio Padrão:						1,48					0,43	61,9252	9,6867

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,2	72,60	6482,14
2	11,1	72,24	6508,11
3	11,1	73,32	6605,41
Média:			6531,89
Desvio Padrão:			64,9802715

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 26/11/2003

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,14	73,32	73,55	72,96	73,02	73,21	73,15	73,64	73,23	72,83	73,21	986,75	184,09
2	72,86	74,21	74,20	73,97	74,28	74,17	73,31	73,55	73,21	73,11	73,30	1076,45	198,03
3	72,82	73,94	74,08	74,17	74,27	74,12	72,42	72,43	72,54	72,64	72,51	1141,45	212,41
Média:						73,83					73,01	1068,22	198,17
Desvio Padrão:						0,54					0,43	77,6779	14,157

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,3	73,14	6472,57
2	11,1	72,86	6563,96
3	11,1	72,82	6560,36
Média:			6532,30
Desvio Padrão:			51,7595245

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Obs.:

paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 25/11/2003

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,52	73,64	73,56	73,62	73,52	73,59	73,70	73,61	73,45	73,47	73,56	877,05	162,03
2	72,99	74,64	75,09	74,70	74,01	74,61	73,00	72,70	73,08	73,02	72,95	1021,35	187,65
3	72,54	72,56	72,53	72,69	72,62	72,60	72,00	73,12	71,97	72,00	72,27	777,1	148,10
Média:						73,60					72,93	891,833	165,93
Desvio Padrão:						1,01					0,64	122,794	20,059

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,3	73,52	6506,19
2	11,5	72,99	6346,96
3	11,4	72,54	6363,16
Média:			6405,44
Desvio Padrão:			87,6344716

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 25/11/2003

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,15	72,38	72,60	72,61	72,56	72,54	71,56	71,66	71,46	71,56	71,56	888,85	171,24
2	72,48	71,69	71,67	71,52	71,54	71,61	72,43	73,01	72,58	72,53	72,64	887,35	170,60
3	73,14	72,60	72,54	72,6	72,63	72,59	73,06	73,09	73,29	73,15	73,15	940,4	177,12
Média:						72,24					72,45	905,53	172,99
Desvio Padrão:						0,55					0,81	30,20	3,5929

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,2	73,15	6531,25
2	11,2	72,48	6471,43
3	10,5	73,14	6965,71
Média:			6656,13
Desvio Padrão:			269,77033

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Obs.:

paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 26/11/2003

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,16	73,49	73,48	73,36	73,54	73,47	73,55	73,27	73,27	73,55	73,41	725,1	134,45
2	72,82	74,06	73,99	73,95	73,89	73,97	72,08	72,78	72,75	72,91	72,63	768,05	142,96
3	71,42	73,47	73,72	73,73	73,61	73,63	72,28	72,56	72,40	72,42	72,42	656,7	123,16
Média:						73,69					72,82	716,61	133,52
Desvio Padrão:						0,26					0,52	56,1576	9,9306

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	11,4	72,16	6329,82
2	10,6	72,82	6869,81
3	11,0	71,42	6492,73
Média:			6564,12
Desvio Padrão:			276,982362

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 26/11/2003

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	72,09	72,58	72,64	72,56	72,55	72,58	73,61	73,38	73,75	73,58	73,58	786,25	147,22
2	72,72	72,61	72,83	72,60	72,59	72,66	72,58	72,51	72,69	72,59	72,59	611,35	115,91
3	70,65	72,91	73,41	73,55	72,87	73,19	71,80	72,48	72,02	72,01	72,08	681,4	129,18
Média:						72,81					72,75	693,0	130,77
Desvio Padrão:						0,33					0,76	88,02	15,716

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	10,6	72,09	6800,94
2	10,5	72,72	6925,71
3	10,4	70,65	6793,27
Média:			6839,98
Desvio Padrão:			74,350925

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$$

Obs.:	
paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CIP - Enderbito data: 27/11/03

Procedência: Itapipoca - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,77	50,89	50,51	50,84	50,75	100,42	100,62	100,50	100,49	100,51	180	12578	13,118
2	50,74	50,87	50,97	50,82	50,85	100,02	100,21	100,15	100,41	100,20	180	16382	17,072
3	50,40	50,05	50,06	50,09	50,15	100,22	100,55	100,29	100,76	100,46	180	15742	16,823
4	50,10	50,04	50,08	50,04	50,07	100,82	100,60	100,99	100,66	100,77	180	14094	15,066
5	50,09	50,18	50,01	50,03	50,08	99,97	100,04	100,30	100,71	100,26	180	12320	13,231
Média:					50,38					100,44		14223	15,062
Desvio Padrão:					0,39					0,226		1824,33	1,89

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	35,6	200,00	5617,98
2	35,0	200,00	5714,29
3	35,7	200,00	5602,24
4	34,2	200,00	5847,95
5	34,8	200,00	5747,13
Média:			5705,92
Desvio Padrão:			100,52938

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CIP - Enderbito data: 28/11/03

Procedência: Itapipoca - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,67	51,08	50,79	50,40	50,74	100,87	100,77	100,83	100,75	100,81	180	15838	16,480
2	50,23	50,72	50,10	50,55	50,40	100,11	100,39	100,59	100,69	100,45	180	13192	13,960
3	49,93	50,20	50,55	50,13	50,20	100,12	100,68	100,30	100,33	100,36	180	11782	12,577
4	50,90	50,94	50,45	50,50	50,70	100,83	100,83	100,17	100,07	100,48	180	9770	10,215
5	50,10	50,07	50,01	50,06	50,06	100,44	100,08	100,35	100,06	100,23	180	14254	15,322
Média:					50,42					100,46		12967	13,711
Desvio Padrão:					0,3					0,213		2322,43	2,44

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	32,8	200,00	6097,56
2	32,5	200,00	6153,85
3	32,4	200,00	6172,84
4	34,2	200,00	5847,95
5	32,3	200,00	6191,95
Média:			6092,83
Desvio Padrão:			141,3651123

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 27/11/03

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,79	50,62	50,45	50,71	50,64	100,79	100,61	100,62	100,95	100,74	180	19836	20,729
2	50,03	50,28	50,29	50,45	50,26	100,45	100,36	100,50	100,40	100,43	180	17984	19,139
3	50,97	50,67	50,52	50,99	50,79	99,74	100,83	100,56	100,67	100,45	180	21586	22,494
Média:					50,56					100,54		19802	20,787
Desvio Padrão:					0,27					0,176		1801,24	1,68

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	32,2	200,00	6211,18
2	32,9	200,00	6079,03
3	32,3	200,00	6191,95
Média:			6160,72
Desvio Padrão:			71,39766868

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:

paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 27/11/03

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,02	50,35	50,07	50,30	50,19	100,74	100,98	100,31	100,71	100,69	180	19540	20,805
2	50,44	50,00	50,28	50,32	50,26	100,79	100,30	100,57	100,93	100,65	180	21242	22,559
3	50,11	50,02	50,04	50,23	50,10	100,91	100,89	101,04	101,07	100,98	180	18142	19,326
Média:					50,18					100,77		19641	20,897
Desvio Padrão:					0,08					0,181		1552,48	1,62

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	32,8	200,00	6097,56
2	32,4	200,00	6172,84
3	32,4	200,00	6172,84
Média:			6147,75
Desvio Padrão:			43,46207988

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 28/11/03

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,42	50,70	50,23	50,69	50,51	100,77	100,72	100,96	101,17	100,91	180	25110	26,336
2	50,48	50,76	50,20	50,33	50,44	100,71	100,49	100,92	100,79	100,73	180	21716	22,877
3	50,69	50,81	50,79	50,61	50,73	100,07	100,53	100,17	100,93	100,43	180	21966	22,952
Média:					50,56					100,69		22931	24,055
Desvio Padrão:					0,15					0,243		1891,49	1,98

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	31,8	200,00	6289,31
2	31,9	200,00	6269,59
3	32,0	200,00	6250,00
Média:			6269,63
Desvio Padrão:			19,65412024

Obs.:	
paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CGP - Enderbito data: 28/11/03

Procedência: Granja - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,01	50,58	50,25	50,64	50,37	100,11	100,05	99,91	100,03	100,03	180	23578	25,085
2	50,88	50,62	50,77	50,44	50,68	100,97	100,97	100,31	100,69	100,74	180	20990	21,906
3	50,05	50,55	50,07	50,73	50,35	100,79	100,01	100,49	100,23	100,38	180	26530	28,148
Média:					50,47					100,38		23699	25,047
Desvio Padrão:					0,18					0,355		2771,99	3,12

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	31,6	200,00	6329,11
2	31,5	200,00	6349,21
3	31,7	200,00	6309,15
Média:			6329,16
Desvio Padrão:			20,02907554

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 27/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,10	50,40	50,33	50,11	50,24	100,13	100,08	99,83	100,05	100,02	180	16102	17,224
2	50,13	50,05	50,25	50,15	50,15	100,85	100,22	100,71	100,37	100,54	180	16086	17,180
3	49,65	50,04	50,08	50,02	49,95	100,46	100,70	100,94	100,24	100,59	180	14300	15,386
Média:					50,11					100,38		15496	16,597
Desvio Padrão:					0,15					0,312		1035,80	1,05

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	33,0	200,00	6060,61
2	33,3	200,00	6006,01
3	33,3	200,00	6006,01
Média:			6024,21
Desvio Padrão:			31,52335622

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 27/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,18	50,86	50,36	50,58	50,50	100,90	100,26	100,65	100,33	100,54	180	15462	16,286
2	50,12	50,18	50,60	50,45	50,34	100,57	100,58	100,16	100,23	100,39	180	14020	14,882
3	50,18	50,10	50,17	49,95	50,10	100,09	100,33	100,17	100,13	100,18	180	16786	18,024
Média:					50,31					100,37		15423	16,397
Desvio Padrão:					0,2					0,178		1383,42	1,57

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	33,6	200,00	5952,38
2	33,5	200,00	5970,15
3	33,3	200,00	6006,01
Média:			5976,18
Desvio Padrão:			27,31625155

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	**X**
saturado em água	

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 28/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,05	50,58	50,15	50,56	50,34	99,34	100,26	99,76	99,58	99,74	180	21680	23,165
2	50,58	50,55	50,05	50,25	50,36	100,14	99,78	99,87	99,81	99,90	180	20868	22,241
3	50,45	50,15	50,69	50,40	50,42	100,73	100,41	100,14	100,09	100,34	180	24206	25,618
Média:					50,37					99,99		22251	23,675
Desvio Padrão:					0,05					0,314		1740,80	1,75

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	31,5	200,00	6349,21
2	32,1	200,00	6230,53
3	31,7	200,00	6309,15
Média:			6296,29
Desvio Padrão:			60,37344527

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:	
paralelo a foliação	**X**
perpendicular a foliação	
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP Instituto de Geociências e Ciências Exatas Departamento de
Campus de Rio Claro Petrologia e Metalogenia Laboratório de Rochas Ornamentais

Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763/1992

Amostra: CCP - Enderbito data: 28/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Dist. L (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média		N	MPa
num	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,66	50,96	50,12	50,17	50,48	100,61	100,75	100,70	100,30	100,59	180	22744	23,960
2	50,13	50,18	50,01	50,79	50,28	100,36	100,40	100,32	100,67	100,44	180	22640	24,077
3	50,12	50,72	50,17	50,91	50,48	100,45	101,00	100,96	100,99	100,85	180	21006	22,070
Média:					50,41					100,63		22130	23,369
Desvio Padrão:					0,12					0,209		974,80	1,13

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	31,7	200,00	6309,15
2	31,0	200,00	6451,61
3	31,8	200,00	6289,31
Média:			6350,02
Desvio Padrão:			88,53683482

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Taxa de carregamento
4450 N/min

Obs.:

paralelo a foliação	
perpendicular a foliação	**X**
seca em estufa à 110º C	
saturado em água	**X**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CIP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Itapipoca - Ceará

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média	Média
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(500m)	(1000m)
1	1	6,34	1	5,93	1	5,52	0,41	0,82	0,38	0,75
	2	6,31	2	6,05	2	5,60	0,26	0,71		
	3	6,31	3	5,97	3	5,64	0,34	0,67		
	4	6,41	4	5,89	4	5,63	0,52	0,78		
2	1	6,17	1	5,79	1	5,33	0,38	0,84	0,35	0,80
	2	6,10	2	5,73	2	5,40	0,37	0,70		
	3	6,24	3	5,88	3	5,46	0,36	0,78		
	4	6,16	4	5,89	4	5,30	0,27	0,86		
								média entre os corpos de prova	0,36	0,77
								desvio padrão	0,03	0,04

OBS: Ensaio realizado no estado **SECO**
CP1 com 72.79 X 73.12 mm e CP2 com 73.52 X 73.92mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CIP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Itapipoca - Ceará

Corpo de	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média	Média
Prova	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(500m)	(1000m)
1	1	6,33	1	5,77	1	5,32	0,56	1,01	0,51	0,95
	2	6,36	2	5,82	2	5,48	0,54	0,88		
	3	6,33	3	5,87	3	5,42	0,46	0,91		
	4	6,35	4	5,88	4	5,36	0,47	0,99		
2	1	5,73	1	5,28	1	4,73	0,45	1,00	0,41	0,93
	2	5,86	2	5,36	2	4,89	0,50	0,97		
	3	5,80	3	5,46	3	4,97	0,34	0,83		
	4	5,85	4	5,50	4	4,95	0,35	0,90		
								média entre os corpos de prova	0,46	0,94
								desvio padrão	0,07	0,02

OBS: Ensaio realizado no estado **SATURADO**
CP1 com 72.11 X 73.01 mm e CP2 com 72.63 X 72.60mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CGP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Granja - Ceará

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto					
1	1	6,04	1	5,72	1	5,30	0,32	0,74	0,41	0,81
	2	5,93	2	5,68	2	5,22	0,25	0,71		
	3	6,23	3	5,80	3	5,42	0,43	0,81		
	4	6,35	4	5,70	4	5,36	0,65	0,99		
2	1	5,94	1	5,60	1	5,26	0,34	0,68	0,35	0,78
	2	5,92	2	5,58	2	5,26	0,34	0,66		
	3	6,09	3	5,79	3	5,24	0,30	0,85		
	4	6,16	4	5,74	4	5,23	0,42	0,93		
								média entre os corpos de prova	0,38	0,80
								desvio padrão	0,04	0,02

OBS: Ensaio realizado no estado **SECO**
CP1 com 71.89 X 73.35 mm e CP2 com 71.66 X 72.06mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CGP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Granja - Ceará

Corpo de	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média	Média
Prova	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(500m)	(1000m)
1	1	5,25	1	4,87	1	4,40	0,38	0,85	0,32	0,71
	2	5,07	2	4,90	2	4,45	0,17	0,62		
	3	5,11	3	4,82	3	4,51	0,29	0,60		
	4	5,34	4	4,89	4	4,56	0,45	0,78		
2	1	5,13	1	4,67	1	4,22	0,46	0,91	0,32	0,77
	2	5,00	2	4,68	2	4,25	0,32	0,75		
	3	4,92	3	4,73	3	4,28	0,19	0,64		
	4	5,07	4	4,78	4	4,31	0,29	0,76		
								média entre os corpos de prova	0,32	0,74
								desvio padrão	0,01	0,04

OBS: Ensaio realizado no estado **SATURADO**
CP1 com 71.89 X 73.35 mm e CP2 com 71.66 X 72.06mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CCP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto					
1	1	6,25	1	5,75	1	5,29	0,50	0,96	0,39	0,82
	2	6,34	2	5,96	2	5,32	0,38	1,02		
	3	5,62	3	5,32	3	4,96	0,30	0,66		
	4	5,58	4	5,22	4	4,93	0,36	0,65		
2	1	6,96	1	6,37	1	5,90	0,59	1,06	0,35	0,86
	2	6,77	2	6,41	2	6,00	0,36	0,77		
	3	6,65	3	6,51	3	5,96	0,14	0,69		
	4	6,85	4	6,53	4	5,92	0,32	0,93		
								média entre os corpos de prova	0,37	0,84
								desvio padrão	0,02	0,03

OBS: Ensaio realizado no estado **SECO**

CP1 com 71.24 X 71.51 mm e CP2 com 72.34 X 72.81mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042/92

Amostra: CCP - Enderbito data: 14/11/03

Procedência: Chorozinho - Ceará

Corpo de	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média	Média
Prova	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(500m)	(1000m)
1	1	6,30	1	5,84	1	5,25	0,46	1,05	0,38	0,83
	2	5,78	2	5,41	2	5,08	0,37	0,70		
	3	5,65	3	5,37	3	4,98	0,28	0,67		
	4	6,37	4	5,98	4	5,46	0,39	0,91		
2	1	6,12	1	5,93	1	5,37	0,19	0,75	0,38	0,86
	2	6,41	2	5,90	2	5,44	0,51	0,97		
	3	6,34	3	5,81	3	5,43	0,53	0,91		
	4	6,11	4	5,81	4	5,31	0,30	0,80		
								média entre os corpos de prova	0,38	0,85
								desvio padrão	0,01	0,02

OBS: Ensaio realizado no estado **SATURADO**
CP1 com 71.57 X 71.52 mm e CP2 com 73.80 X 72.94mm

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Dilatação Térmica Linear (NBR 12765/92)

Amostra: CIP - Enderbito

Procedência: Itapipoca - Ceará

Início: 20/05/2004

Final: 22/05/2004

Pulso				**MÉDIA**
Comprimento (mm)	89,94	89,96	89,95	89,95
Orientação	A	B	C	
Pulso cp seco	15,50	19,40	15,70	16,87
Pulso cp saturado	13,90	15,90	14,20	14,67
Pulso depois do teste	14,10	15,70	14,50	14,77
Pulso depois seco	16,00	20,60	16,70	17,77
Dilatação				
Temperatura inicial	0,70	0,50	0,00	0,40
Temperatura final	50,40	50,10	50,60	50,37
L. inicial	1,0030	0,9950	0,9950	0,9977
L. final	1,0220	1,0190	1,0250	1,0220
Resfriamento				
Temperatura inicial	50,40	50,10	50,60	50,37
Temperatura final	-0,10	0,60	0,30	0,27
L. inicial	1,0220	1,0190	1,0250	1,0220
L. final	1,0010	1,0020	0,9930	0,9987
Dilatação Encontrada				
b aquecimento	4,3350	5,3250	6,5620	5,4073
b resfriamento	4,8090	3,8820	7,0770	5,2560

Desvio Padrão	0,3352	1,0204	0,3642	0,1070

Dilatação Final	**4,572**	**4,6035**	**6,8195**	**5,3317**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Dilatação Térmica Linear (NBR 12765/92)

Amostra: CGP - Enderbito

Procedência: Granja - Ceará

Início: 18/05/2004

Final: 20/05/2004

Pulso				**MÉDIA**
Comprimento (mm)	89,52	89,74	89,67	89,64
Orientação	A	B	C	
Pulso cp seco	14,30	14,60	14,60	14,50
Pulso cp saturado	13,90	13,90	13,90	13,90
Pulso depois do teste	13,80	13,80	14,40	14,00
Pulso depois seco	14,40	14,90	15,10	14,80
Dilatação				
Temperatura inicial	1,00	1,00	0,70	0,90
Temperatura final	50,20	50,40	49,80	50,13
L. inicial	0,9980	1,0020	0,9990	0,9997
L. final	1,0230	1,0290	1,0310	1,0277
Resfriamento				
Temperatura inicial	50,20	50,40	49,80	50,13
Temperatura final	-0,10	0,20	-0,20	-0,03
L. inicial	1,0230	1,0290	1,0310	1,0277
L. final	0,9940	1,0030	0,9880	0,9950
Dilatação Encontrada				
b aquecimento	5,7670	6,1740	7,4560	6,4657
b resfriamento	6,3720	5,4500	7,3280	6,3833

Desvio Padrão	0,4278	0,5119	0,0905	0,0582

Dilatação Final	**6,0695**	**5,812**	**7,392**	**6,4245**

UNESP
Campus de Rio Claro

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Petrologia e Metalogenia
Laboratório de Rochas Ornamentais

Dilatação Térmica Linear (NBR 12765/92)

Amostra: CCP - Enderbito

Procedência: Chorozinho - Ceará

Início: 24/05/2004

Final: 29/05/2004

Pulso				**MÉDIA**
Comprimento (mm)	89,96	89,81	89,61	89,79
Orientação	A	B	C	
Pulso cp seco	14,40	15,30	14,60	14,77
Pulso cp saturado	13,90	14,20	13,90	14,00
Pulso depois do teste	13,60	14,00	13,60	13,73
Pulso depois seco	14,70	15,50	15,10	15,10
Dilatação				
Temperatura inicial	0,00	-0,10	0,00	-0,03
Temperatura final	50,20	50,40	49,90	50,17
L. inicial	0,9980	0,9880	0,9920	0,9927
L. final	1,0180	1,0200	1,0210	1,0197
Resfriamento				
Temperatura inicial	50,20	50,40	49,90	50,17
Temperatura final	0,70	0,30	0,40	0,47
L. inicial	1,0180	1,0220	1,0210	1,0203
L. final	0,9960	0,9890	0,9880	0,9910
Dilatação Encontrada				
b aquecimento	4,4850	7,4740	6,3980	6,1190
b resfriamento	4,9780	7,2760	7,3370	6,5303

Desvio Padrão	0,3486	0,1400	0,6640	0,2909

Dilatação	**4,7315**	**7,375**	**6,8675**	**6,3247**

RESULTADOS DO ENSAIO ALTERAÇÃO ACELERADA POR EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA

Pesos (g) / Data / Amostra	Peso inicial 11/10/05	1º ciclo 12/12/05	2ºciclo 17/01/06	3º ciclo 20/02/06	4º ciclo 28/04/06	5º ciclo 10/07/06	6º ciclo 17/11/06	7º ciclo 10/01/07	ΔM (%)
Verde Netuno	65,6544	65,6026	65,6143	65,6352	65,5882	65,5687	65,5213	65,5235	0,1994
VerdeSanta Cruz	59,5437	59,5212	59,5264	59,5296	59,5076	59,4864	59,4553	59,4510	0,1557
Verde Choró	66,6786	66,6411	66,6570	66,6632	66,6330	66,6018	66,5530	66,5470	0,1974

RESULTADO DO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO CONTÍNUA COM EXTRATOR SOXHLET

Peso / Amostras	Peso Inicial (g)	Peso Final(g)	ΔM (%)
Verde Netuno	254,1461	250,8242	1,307083
VerdeSanta Cruz	228,5905	227,6248	0,422459
Verde Choró	233,7487	232,0202	0,739469

RESULTADO DO ENSAIO DE EXPOSIÇÃO AO DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO_2)

Peso / Amostras	Peso Rocha Sã (Seca)	25º Ciclo	50º Ciclo	75º Ciclo	ΔP (%)
Verde Netuno	151,41	151,31	151,31	150,97	0,2906
VerdeSanta Cruz	184,57	184,54	184,43	184,20	0,2005
Verde Choró	165,84	165,65	165,60	165,49	0,2110

Parâmetros Colorimétricos do Gnaisse Enderbito Verde Netuno																						
	Leituras	L	L (25º)	L (50º)	L(75º)	a*	a* (25º)	a* (50º)	a* (75º)	b*	b* (25º)	b* (50º)	b* (75º)	c*	c* (25º)	c* (50º)	c*(75º)	E*	E* (25º)	E* (50º)	E(75º)	E(75º)-E	ΔE
1(47)	1	32,250	31,58	32,93	34,29	-0,170	0,48	-0,44	-0,50	2,170	2,14	1,68	3,68	2,177	2,1932	1,7367	3,7138	32,323	31,6561	32,9758	34,4905	2,1672	2,2777
2(48)	2	32,200	30,6	34,89	35,10	0,090	-0,2	-0,25	-0,15	2,230	0,31	2,41	4,24	2,232	0,3689	2,4229	4,2427	32,277	30,6022	34,9740	35,3555	3,0782	
3(49)	3	32,550	31,92	35,01	36,99	0,450	0,22	-0,39	0,16	2,110	1,42	2,94	5,03	2,157	1,4369	2,9658	5,0325	32,621	31,9523	35,1354	37,3308	4,7094	
4(50)	4	42,020	33,97	34,56	39,59	0,260	-0,27	-0,39	-0,71	9,410	3,12	1,88	5,12	9,414	3,1317	1,9200	5,1690	43,062	34,1140	34,6133	39,9260	-3,1355	
5(51)	5	34,060	34,26	36,23	36,21	-0,190	0,14	-0,48	-0,43	4,160	3,22	5,37	5,52	4,164	3,2230	5,3914	5,5367	34,314	34,4113	36,6290	36,6309	2,3172	
6(52)	6	33,400	33,42	34,79	34,68	-0,190	-0,45	-0,13	-0,01	1,060	2,03	2,72	1,18	1,077	2,0793	2,7231	1,1800	33,417	33,4846	34,8964	34,7001	1,2827	
7(53)	7	33,590	36,15	36,33	33,75	-0,140	0,47	0,16	-0,35	3,580	3,31	3,31	3,39	3,583	3,3432	3,3139	3,4080	33,781	36,3043	36,4808	33,9216	0,1411	
8(54)	8	33,170	34,6	35,44	35,42	-0,020	0,11	-0,29	-0,55	3,140	2,57	2,41	4,20	3,140	2,5724	2,4274	4,2359	33,318	34,6955	35,5230	35,6724	2,3541	
9(55)	9	31,870	34,16	38,93	37,41	0,050	0,36	-1,42	-0,09	0,990	2,29	5,57	5,24	0,991	2,3181	5,7482	5,2408	31,885	34,2386	39,3521	37,7753	5,8899	
Media	9	33,901	33,407	35,457	35,938	0,016	0,096	-0,403	-0,292	3,206	2,268	3,143	4,178	3,215	2,296	3,183	4,195	34,111	33,495	35,620	36,200	2,089	

ΔL	Δa*	Δb*	ΔE
2,037	−0,308	-0,972	2,2777

Parâmetros Colorimétricos do Gnaisse Enderbito Verde Santa Cruz																						
	Leituras	L	L (25º)	L (50º)	L(75º)	a*	a* (25º)	a* (50º)	a*(75º)	b*	b* (25º)	b* (50º)	b*(75º)	c*	c* (25º)	c* (50º)	c*(75º)	E*	E* (25º)	E* (50º)	E(75º)	E(75º)-E	ΔE
1(57)	1	28,54	29,48	30,61	29,69	-0,08	-0,07	-0,28	-0,18	-0,16	-0,04	-0,01	-0,32	0,179	0,0806	0,2802	0,3672	28,541	29,4801	30,6113	29,6923	1,1517	0,8049
2(58)	2	29,76	29,59	31,24	29,66	-0,33	-0,2	-0,45	-0,14	-0,13	0,04	0,23	-0,15	0,355	0,2040	0,5054	0,2052	29,762	29,5907	31,2441	29,6607	-0,1014	
3(59)	3	28,66	29,56	29,80	29,72	-0,15	-0,21	-0,28	-0,23	-0,44	-0,09	-0,25	-0,26	0,465	0,2285	0,3754	0,3471	28,664	29,5609	29,8024	29,7220	1,0583	
4(60)	4	28,45	29,12	30,31	29,41	-0,13	-0,12	-0,21	-0,19	-0,39	-0,13	-0,05	-0,36	0,411	0,1769	0,2159	0,4071	28,453	29,1205	30,3108	29,4128	0,9598	
5(61)	5	28,66	29,19	30,73	29,32	-0,17	-0,18	-0,37	-0,19	-0,28	-0,14	-0,09	-0,28	0,328	0,2280	0,3808	0,3384	28,662	29,1909	30,7324	29,3220	0,6601	
6(62)	6	29,12	30,92	31,29	30,04	-0,25	-0,33	-0,39	-0,25	-0,31	0,01	-0,03	-0,28	0,398	0,3302	0,3912	0,3754	29,123	30,9218	31,2924	30,0423	0,9196	
7(63)	7	29,79	30,08	30,52	29,79	-0,28	-0,33	-0,34	-0,23	-0,21	-0,07	-0,01	-0,14	0,350	0,3373	0,3401	0,2693	29,792	30,0819	30,5219	29,7912	-0,0008	
8(64)	8	29,18	30,24	31,78	31,11	-0,07	-0,15	-0,44	-0,29	0,22	0,06	0,38	0,03	0,231	0,1616	0,5814	0,2915	29,181	30,2404	31,7853	31,1114	1,9305	
9(65)	9	29,87	31,21	32,04	30,53	-0,06	-0,12	-0,24	-0,06	-0,1	0,27	0,08	-0,13	0,117	0,2955	0,2530	0,1432	29,870	31,2114	32,0410	30,5303	0,6601	
Media	9	29,114	29,932	30,924	29,919	-0,169	-0,190	-0,333	-0,196	-0,200	-0,010	0,028	-0,210	0,315	0,227	0,369	0,305	29,116	29,933	30,927	29,921	0,8042	

ΔL	Δa*	Δb*	ΔE
0,804	−0,027	-0,010	0,80495

Parâmetros Colorimétricos do Gnaisse Enderbito Verde Choró																							
	Leituras	L	L (25º)	L (50º)	L(75º)	a*	a* (25º)	a* (50º)	a* (75º)	b*	b* (25º)	b* (50º)	b* (75º)	c*	c* (25º)	c* (50º)	c* (75º)	E*	E* (25º)	E* (50º)	E* (75º)	E(75º)-E	ΔE
1(37)	1	31,11	35,95	33,80	34,09	0,24	-0,13	0,02	0,12	0,93	2,06	0,82	1,60	0,9605	2,0641	0,8202	1,6045	31,1248	36,0092	33,8100	34,1277	3,0029	2,4767
2(38)	2	29,85	32,12	31,85	36,65	0,23	-0,02	0,02	-0,49	0,56	-0,02	0,53	2,00	0,6054	0,0283	0,5304	2,0592	29,8561	32,1200	31,8544	36,7078	6,8517	
3(39)	3	31,79	33,15	33,85	35,63	0,09	0,18	-0,14	-0,14	0,72	1,25	0,39	1,86	0,7256	1,2629	0,4144	1,8653	31,7983	33,1740	33,8525	35,6788	3,8805	
4(40)	4	36,38	37,51	38,27	37,64	-0,35	-0,41	-0,45	-0,37	1,33	1,94	1,45	2,02	1,3753	1,9829	1,5182	2,0536	36,4060	37,5624	38,3001	37,6960	1,2900	
5(41)	5	34,66	36,53	37,25	35,19	0,04	-0,16	-0,35	0,00	2,25	2,16	2,18	1,38	2,2504	2,1659	2,2079	1,3800	34,7330	36,5942	37,3154	35,2170	0,4841	
6(42)	6	32,52	31,51	32,38	31,99	0,01	0,14	-0,04	0,05	1,16	0,23	0,25	0,20	1,1600	0,2693	0,2532	0,2062	32,5407	31,5112	32,3810	31,9907	-0,5500	
7(43)	7	32,93	33,05	35,65	35,37	0,27	0,05	-0,08	-0,45	1,33	0,5	0,87	0,27	1,3571	0,5025	0,8737	0,5248	32,9580	33,0538	35,6607	35,3739	2,4159	
8(44)	8	32,07	35,7	35,58	34,60	0,04	-0,11	-0,17	-0,19	1,37	1,9	1,38	0,90	1,3706	1,9032	1,3904	0,9198	32,0993	35,7507	35,6072	34,6122	2,5130	
9(45)	9	32,09	34,77	35,61	34,40	-0,12	-0,22	-0,56	-0,34	0,8	1,73	1,23	1,04	0,8089	1,7439	1,3515	1,0942	32,1002	34,8137	35,6356	34,4174	2,3172	
Medias	9	32,600	34,477	34,916	35,062	0,050	-0,076	-0,194	-0,201	1,161	1,306	1,011	1,252	1,179	1,325	1,040	1,301	32,624	34,510	34,935	35,091	2,467	

ΔL	Δa*	Δb*	ΔE
2,462	−0,251	-0,091	2,47667