



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)**

ANA CLAUDIA SODRÉ ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E  
SIGNIFICADO DAS ROCHAS CALCISILICÁTICAS E  
CARBONÁTICAS DA REGIÃO DE GROAÍRAS –  
CEARÁ.**

**GEOCIÊNCIAS**  
U F P A

BELÉM  
2011

ANA CLAUDIA SODRÉ ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E  
SIGNIFICADO DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E  
CARBONÁTICAS DA REGIÃO DE GROAÍRAS –  
CEARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia da  
Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.  
Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Paulo Gorayeb.

BELÉM  
2011

ANA CLAUDIA SODRÉ ARAÚJO

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E  
SIGNIFICADO DAS ROCHAS CALCÍSSILICÁTICAS E  
CARBONÁTICAS DA REGIÃO DE GROAÍRAS –  
CEARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia da  
Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca examinadora:

---

Orientador: Paulo Gorayeb

---

Relator: Ronaldo Lima Lemos

---

3º Membro

*“À minha família inteira (irmã, sobrinho, tios, avós e primos) e em especial a minha mãe e ao meu pai”.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primordialmente agradeço a Deus, por sempre ter iluminado minha vida, minha família e toda minha trajetória até aqui.

À minha família que sempre esteve presente com amor, incentivo e oportunidade para que eu siga uma trajetória profissional de sucesso. Agradeço especialmente á meus pais Cláudio dos Santos Araújo e Carmem Lúcia de Carvalho Sodré Araújo e a meus padrinhos que são meus tios Zeca e Sônia, além de minha irmã Ana Paula Sodré Araújo e minha prima Marciene Gabriela de Araújo, que nos momentos difíceis seja financeiro ou psicológico nunca duvidaram e me apoiaram em minhas decisões. Vocês, indubitavelmente, são o motivo para que eu seja uma pessoa melhor e queira proporcionar orgulho a vocês, pois vocês são meu orgulho.

A turma de 2006 do curso de geologia, em especial aos meus amigos do curso Amanda Rocha, Eduardo Albuquerque, Rose Assunção, Ediane Batista e Keila Sardinha pelos momentos de alegria, tristeza e superação. Além de outras amizades que construir com Marilúcia Teixeira, Alan Campos, Wágner Araújo, Rodrigo, Jéssica Negrão, Suzana e Mirlane Almeida.

A todos os professores que me ensinaram os conhecimentos básicos nesses cinco anos de geologia.

Aos companheiros da CPRM, os geólogos Lúcia Travassos, Cesár Chaves, Jaime Passos, Cíntia Gaia e Eliana Moura pelos exemplos de profissionalismo e pela experiência e oportunidade de trabalhar em uma empresa de reconhecimento e respeito pelo que faz.

A geóloga Márcia Valadares por seu apoio, broncas, exigências e dedicação durante a disciplina estágio de campo II, que orientou minha equipe com paciência e realizou um brilhante trabalho não só no âmbito acadêmico como na minha postura profissional.

Aos meus amigos e professores em geral, pelo apoio, ensinamentos e felicidades que compartilhamos as diversas etapas de nossas vidas.

A toda secretaria e diretoria do Instituto de Geociências e a Universidade Federal do Pará por todo suporte burocrático que me dedicou no período do curso.

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo Gorayeb, por ter ajudado a confeccionar esse trabalho de conclusão de curso.

A todos discentes e docentes da disciplina estágio de campo II dos estágios de Groaíras-1992, Cariré-2005 e Sobral-2006 pelos dados que extraíram do seu mapeamento, os quais serviram de base para esse trabalho.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho e que por ventura eu não tenha citado nesse texto.

## RESUMO

A região noroeste do estado do Ceará reúne uma grande variedade de rochas metamórficas orto e paraderivadas, metamorfisadas nas fácies anfibolito e granulito. O conjunto paraderivado inclui seqüências carbonáticas puras e impuras, que, genericamente, são chamadas calcissilicáticas, havendo, entretanto, grande variedade de tipos ainda desconhecidos.

O principal objetivo desse trabalho é caracterizar, sob o enfoque petrográfico, as rochas carbonáticas e calcissilicáticas, com caráter metamórfico. O estudo estará apoiado nos vários mapeamentos dos estágios de campo II (Groaíras, Cariré e Sobral), que identificaram unidades com rochas calcissilicáticas e carbonáticas disponibilizando uma grande quantidade de amostras no acervo da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Por essas razões e devido à carência de estudos na literatura geológica desses tipos de rocha, a caracterização das mesmas levará a melhor compreensão do significado dessas rochas no contexto geológico à que elas se encontram e contribuirá para o entendimento da evolução geológica da região.

Palavras-chave: Rochas calcissilicáticas – Rochas carbonáticas – Mármore – Anfibolitos – Província Borborema – Caracterização petrográfica.

## ABSTRACT

The northeast region of Ceará state assembles a various kinds of metamorphic ortho and paraderived rocks, metamorphosed under amphibolite to granulite facies conditions. The paraderived group includes pure and impure carbonatic sequences, which, generally, are known as calcsilicate, having, however, a lot of unknown types.

The main objective of this work is characterizing, in a petrography view, the carbonatic and calcissilicate rocks with metamorphic character. The study will focus in a several mapping obtained in a "*field stage II*" discipline of Groaíras, Cariré and Sobral, who identified units with calcissilicate and carbonatic rocks providing a great amount of samples patrimony of Federal University of Pará (UFPa).

Because of this reasons and a lack of researches on geological literature about this kind of rocks, the characterization of them will bring a best understanding about signification on geological context which they appears, also cooperating for geological evolution of the region.

**Keywords:** Calsissilicate rocks – carbonatic rocks – Borborema province, marbles – Amphibolites – Petrographic characterizing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	-Localização da área do estudo na região de Sobral e Groaíras. Fonte: Dnit.....	5
Figura 2.1	-Diagrama triangular de definição para rochas carbonáticas, calcissilicáticas e rochas silicáticas com pouco carbonato.....	7
Figura 2.2	-Campo de anfibolitos de acordo com as definições da SCMR.....	8
Figura 3.1	-Domínios lito-estruturais da Província Borborema. Fonte: Brito Neves et al. 2000.....	10
Figura 3.2	-Mapa da porção norte da Província Borborema localizando os principais domínios, além de feições tectônicas. Cobertura fanerozóica = branco; IG = Grupo Independência; MCD = domínio Médio Coreau; MG = Grupo Martinópolis; SJCM = Maciço São José de Campestre (Arqueano); SQC = Complexo Santa Quitéria; TM = Maciço de Tróia (Arqueano), Fo = Fortaleza; Na = Natal; Or = Orós; So = Sobral.Fonte: Adaptado de Fetter et al. 2003.....	12
Figura 5.1	-Textura granoblástica mostrando os contatos suturados e retos entre os minerais diopsídio e plagioclásio A-luz natural LN e B-nicóis cruzados NC. (EGO-X-68).....	25
Figura 5.2	-Aspecto textural granoblástico definida por cristais subédricos e anédricos dos minerais do titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático A- LN e B- NC (EGO-II-81).....	26
Figura 5.3	-Aspecto textural granoblástico definida por cristais subédricos e anédricos dos minerais do titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático A- LN e B- NC (EGO-II-81).....	28
Figura 5.4	-Aspecto textural granoblástico com a granada e o plagioclásio e localmente poiquiloblástico com o quartzo e a granada A – LN, B– NC. (EGO-V-19).....	29
Figura 5.5	-Textura poiquiloblástica com cristais de diopsídio inclusos em cristais de granada. (EGO-VI-16) NC.....	30
Figura 5.6	-Orientação dos cristais de Biotita e pargasita definindo a textura granoblástica orientada evidenciado no Biotita-pargasita calcissilicático com escapolita NC. (ECA-VI-63).....	31
Figura 5.7	-Microfotografia do aspecto textural do mármore puro definido por pontos tríplices de porções recristalizadas de carbonato e pelos contatos suturados entre os carbonatos maiores NC (EGO-V-49).....	32
Figura 5.8	-Textura granoblástica poligonal, com olivina disseminada entre os carbonatos mostrando substituição parcial por serpentina e os agregados de quartzo entre si NC. (EGO-III-14a).....	32
Figura 5.9	-Arranjo textural granoblástico com contatos retos e suturados entre os carbonatos e cristais de diopsídio e plagioclásio isolados e disseminados no Diopsídio mármore com biotita NC (EGO-VI-18).....	35
Figura 5.10	-Cristal de granada entre a hornblenda e o plagioclásio compondo subordinadamente os níveis desses minerais neste grupo anfibolito com granada LN. (EGO-VI-51).....	36
Figura 5.11	-Arranjo nematoblástico com níveis de clinopiroxênio (diopsídio) e anfibólio (hornblenda) seguindo a orientação principal A – LN e B – NC. (EGO-VIII-4).....	38
Figura 5.12	-Arranjo granoblástico mostrando a distribuição dos cristais de hornblenda e diopsídio bordejando os cristais de granada que estão anedrais A – LN e B – NC. (EGO-VIII-47).....	39
Figura 5.13	-Textura nematoblástica com pequenas lamelas de biotita nos níveis de hornblenda orientada concordantemente A – LN e B - NC. (ECS-III-26).....	40

Figura 6.1	-Mapa geológico mostrando a distribuição dos grupos e litotipos de rochas calcissilicáticas (triângulos vermelhos), mármore (quadrados rosas) e anfibolitos em preto classificados na região (vide mapa maior e completo no anexo 1).....	42
Figura 7.1	-Diagrama isobárico $TX_{CO_2}$ a pressão de 5 kbar, onde se observa reação 5 que define a formação do Diopsídio e na reação 17 a formação de forsterita e diopsídio com o aumento da temperatura no metamorfismo de rochas carbonáticas. Fonte: Slaughter et al. (1975), citado por Yardley (2004).....	49
Figura 8.1	-Diagrama P-T mostrando todas as fácies metamórficas. O quadrado azul mostra a faixa que compreende as condições do metamorfismo das rochas calcissilicáticas, carbonáticas e anfibolitos da região de Groaíras. Fonte: Yardley (2004).....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	2
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.3	ATIVIDADES E MÉTODOS.....	3
1.4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>6</b>
2.1	ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E CARBONÁTICAS.....	6
2.2	ANFIBOLITO.....	8
<b>3</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>10</b>
3.1	DOMÍNIOS LITO-ESTRUTURAIS.....	10
3.1.1	<b>Domínio Médio Coreaú (MDC).....</b>	<b>11</b>
3.1.1	<b>Domínio Ceará Central (MCC).....</b>	<b>11</b>
3.2	A POROVÍNCIA BORBOREMA.....	12
<b>4</b>	<b>LITOESTRATIGRAFIA DO NOROESTE DO CEARÁ.....</b>	<b>14</b>
4.1	DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ (DMC).....	14
4.1.1	<b>Complexo Granja.....</b>	<b>14</b>
4.1.1	<b>Sequencia Vulcânica Saquinho.....</b>	<b>15</b>
4.1.3	<b>Grupo Martinópole.....</b>	<b>15</b>
4.1.4	<b>Grupo Ubajara.....</b>	<b>16</b>
4.1.5	<b>Suíte Parapuí.....</b>	<b>16</b>
4.1.6	<b>Grupo Jaibaras.....</b>	<b>17</b>
4.1.7	<b>Formação Aprazível.....</b>	<b>18</b>
4.2	DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL (DCC).....	18
4.2.1	<b>Maciço Tróia-Tauá.....</b>	<b>18</b>
4.2.2	<b>Complexo Ceará.....</b>	<b>19</b>
4.2.3	<b>Complexo Tamboril-Santa Quitéria.....</b>	<b>20</b>
4.3	GRANITÓIDES PÓS-TECTÔNICOS.....	21
4.3.1	<b>Suíte Granítica do Meruoca.....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E CARBONÁTICAS.....</b>	<b>23</b>

5.1	ROCHAS CALCISSILICÁTICAS.....	23
A.	Titanita-diopsídio calcissilicático.....	23
B.	Titanita-diopsídio-escapolita calcissilicático.....	25
C.	Anfibólio-diopsídio calcissilicático.....	26
D.	Hornblenda-granada calcissilicático.....	28
E.	Diopsídio-granada calcissilicático.....	29
F.	Biotita-pargasita calcissilicática com escapolita.....	30
5.2	ROCHAS CARBONÁTICAS.....	31
A.	Mármore puro.....	32
B.	Olivina-mármore.....	32
C.	Diopsídio mármore com biotita.....	34
5.3	ANFIBOLITOS.....	35
A.	Anfibolito com granada.....	35
B.	Diopsídio anfibolito.....	37
C.	Granada-diopsídio anfibolito.....	38
D.	Granada-biotita anfibolito.....	39
6	<b>DISTRIBUIÇÃO DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS, MÁRMORES E ANFIBOLITOS.....</b>	<b>41</b>
7	<b>CONSIDERAÇÕES METAMÓRFICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>43</b>
7.1	ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E ANFIBOLITOS.....	44
7.2	MÁRMORE.....	47
7.3	CONDIÇÕES METAMÓRFICAS.....	49
8	<b>ORIGEM DAS ROCHAS CALSSILICÁTICAS, CARBONÁTICAS E ANFIBOLITOS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>52</b>
8.1	PROTÓLITOS DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E ANFIBOLITOS.....	52
8.2	PROTÓLITOS DOS MÁRMORES.....	53
9	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A porção noroeste do estado Ceará, onde se encontra a região de Groaíras está inserida no contexto geológico do noroeste da Província Borborema. Esta província cuja denominação foi introduzida por Almeida et al. (1977) é considerada uma colagem de terrenos de diferentes conjuntos litológicos com idades distintas (Arqueano ao Neoproterozóico), separados por grandes lineamentos representados por falhas ou zonas de cisalhamento.

Esta relevante região foi alvo de diversos trabalhos de mapeamento geológico ou de pesquisas acadêmicas, desenvolvidas por professores e discentes do Instituto de Geociências\Universidade Federal do Pará (IG/UFPA), nas décadas de 80 e 90, e outros mais recentes a partir do ano de 2005. Foram estes trabalhos que proporcionaram a obtenção de uma série de dados geológicos que fazem parte do acervo do Estágio de Campo II da Faculdade de Geologia, que contém relatórios e mapas de cada subárea ou integrados por estágio\ano, amostras de mão e lâminas petrográficas dos vários estágios desenvolvidos na região noroeste do Ceará.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo principal a caracterização petrográfica das rochas calcissilicáticas e carbonáticas de uma área da região de Groaíras, que compreendem um dos grupos litológicos importantes do Complexo Ceará.

Neste trabalho, utilizaram-se parte das informações de três estágios de mapeamento e acrescentou-se também, dados petrográficos obtidos neste trabalho através da triagem de mais de 200 lâminas petrográficas de rochas. Este trabalho proporcionou uma melhor individualização dos litotipos desse grupo de rochas, com determinação espécies e associações minerais e análises texturais que subsidiaram discussões e interpretações sobre o significado petrográfico dessas rochas e as condições metamórficas, pelas quais essas rochas foram submetidas, e de seus protólitos.

A partir da integração de todas essas informações, foi feito o mapa geológico da área em estudo, com destaque às rochas calcissilicáticas e carbonáticas, objeto principal dessa investigação.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa aperfeiçoar o conhecimento das rochas calcissilicáticas e carbonáticas para o melhor entendimento das mesmas na evolução do Complexo Ceará, visto que um refinamento petrográfico e as características peculiares dessas rochas não são abordadas nos estudos existentes na Província Borborema.

Tal trabalho contribuirá com o melhor conhecimento dessas rochas que atualmente é praticamente desconhecido, para dispor à comunidade científica geológica, dados petrográficos mais detalhados e que servirá como base para estudos mais profundos sobre essas rochas.

Diante de toda a informação adquirida, este trabalho foi desenvolvido para tornar o estudo petrográfico das rochas calcissilicáticas e carbonáticas, da região de Groaíras, uma ferramenta para o melhor entendimento da história geológica da Província Borborema e assim contribuir para o conhecimento mais profundo da geologia do Brasil e contribuir para futuros estudos geológicos nos terrenos do Paleoproterozóico da Província Borborema.

## 1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho é caracterizar petrograficamente as rochas calcissilicáticas e carbonáticas da área de Groaíras, disponibilizando um banco de dados com a descrição petrográfica dos principais tipos de rochas calcissilicática, carbonática e anfibolitos, contendo aspectos texturais e mineralógicos para definir e classificar os litotipos, e com isso, interpretar a origem dessas rochas, já que estas aparecem em grande quantidade nessa área intercaladas em seqüências gnáissicas, e discutir seu significado no contexto da evolução do noroeste da Província Borborema.

Outros objetivos incluem:

- A caracterização petrográfica das rochas calcissilicáticas, carbonáticas e anfibolitos, envolvendo aspectos texturais, mineralógicos, microestruturais e classificatórios;

- A interpretação e discussão visando à definição dos protólitos e o entendimento dos processos metamórficos que atuaram nessas rochas;
- Com base nesse estudo discutir o significado dessas rochas no contexto evolutivo do noroeste da Província Borborema.

### 1.3 ATIVIDADES E MÉTODOS

As principais atividades consistiram em pesquisas bibliográficas, organização de um banco de dados, a partir do material disponível dos estágios de campo realizados na área, (amostras de mão, lâminas petrográficas, mapas e relatórios) e estudos em laboratórios, incluindo fundamentalmente a análise petrográfica e elaboração de mapas com posterior interpretação dos dados.

Neste trabalho não foram realizados trabalhos de campo específicos, entretanto no desenvolvimento referente a disciplina Estágio de Campo II – Ipueiras-2009, ao qual a autora participou como discente, foi realizado o mapeamento de uma área adjacente inserida no mesmo contexto geológico da atual área de estudo. Os trabalhos foram desenvolvidos com o acervo dos estágios de mapeamento Groaíras (1992), Cariré (2005) e Sobral (2006), da disciplina Estágio de Campo II.

Este trabalho consistiu em recuperar esses dados e estudar mais detalhadamente estas rochas para, posteriormente, disponibilizar material para melhor identificação e caracterização de rochas calcissilicáticas e carbonáticas da região de Groaíras.

O primeiro procedimento constou do levantamento bibliográfico e cartográfico (artigos em periódicos, anais de eventos técnico-científicos, relatórios de projetos e material cartográfico disponível) sobre as informações já existentes sobre a área do trabalho, além de livros e artigos de periódicos relacionados às rochas calcissilicáticas e carbonáticas.

A segunda atividade foi à organização e sistematização do material dos diversos estágios, coletados e produzidos pelos discentes da disciplina Estágio de Campo II, com identificação e triagem das melhores amostras e lâminas para estudos petrográficos, bem como mapas e relatórios para contribuir no estudo.

A terceira etapa consistiu da análise petrográfica das amostras e lâminas disponíveis, em que envolveu a caracterização textural-microestrutural, definição do conteúdo mineralógico, das fases minerais e na quantificação, e classificação dos tipos petrográficos.

Após o desenvolvimento das atividades acima foram realizados trabalhos de integração para a obtenção dos dados e interpretação dos resultados.

Mapas e outras figuras foram elaborados a partir da compilação dos dados cartográficos e outras informações disponíveis, além da elaboração do banco de dados do presente trabalho.

Os equipamentos utilizados na etapa de análise petrográfica das lâminas selecionadas foi realizado nos laboratório disponíveis na Faculdade de Geologia. Esses estudos laboratoriais consistiram de:

- a) Descrição petrográfica realizada em microscópio petrográfico, do Laboratório de Microscopia da graduação do IG/UFPA.
- b) A captura de fotomicrografias das lâminas foi realizada no Laboratório da Pós-graduação do IG/UFPA, com a utilização de software específico (LAS EZ).
- c) Confecção de mapa geológico foi processado em software ArcGis 9.2 e 9.3, a partir de dados fornecidos pelo Laboratório GeoCart da Faculdade de Geologia.

#### 1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no estado do Ceará, nordeste do Brasil, no Domínio Ceará Central (DCC), nas adjacências do Município de Groaíras. A área de trabalho está inserida predominantemente na folha Sobral, Frecheirinha, Ipu e Santa Quitéria.

A cidade de Groaíras dista cerca de 220 Km de Fortaleza, está encravada no semi-árido nordestino e o acesso a partir de Belém, por malha rodoviária, é realizado pela rodovia BR-316, até a cidade de Santa Maria-Pará. Em Santa Maria, utiliza-se a rodovia BR-010 até Imperatriz-Maranhão onde, segue-se pela BR – 222 até Tianguá-Ceará. Para Groaíras segue-se pelas rodovias estaduais CE – 178 ou CE – 403 e depois CE-253.

A área de estudo tem aproximadamente 1500 km<sup>2</sup>, sendo limitada pelas latitudes 3°40'S e 4°02'S e longitude 40°10'W e 40°33'W (Figura 1.1).

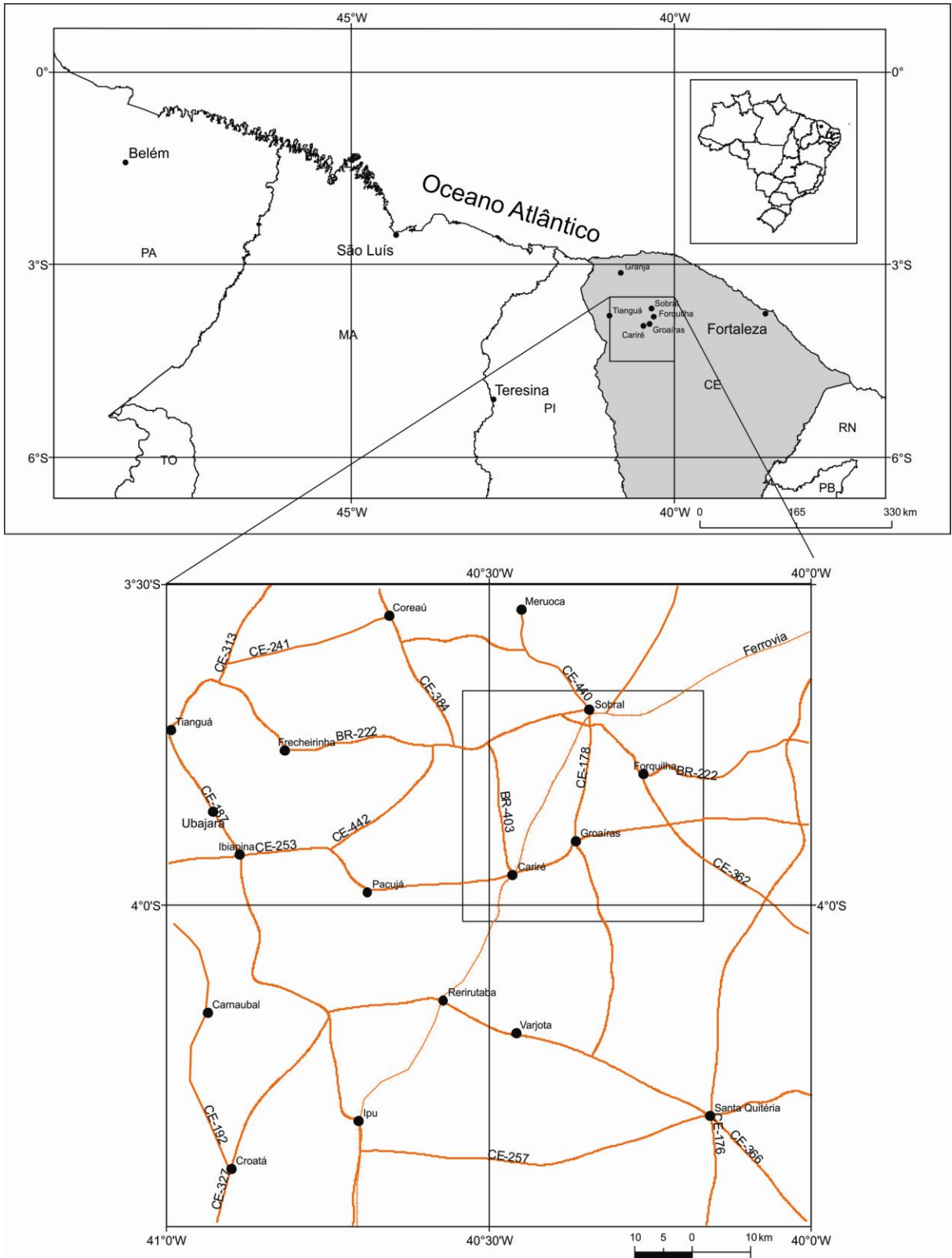


Figura 1.1 – Localização da área do estudo na região de Sobral e Groaíras.  
Fonte: Dnit.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A fundamentação teórica consiste em rever e aprofundar os conceitos sobre rochas calcissilicáticas, carbonáticas metamórficas, além de aferir uma breve explanação sobre as diferenças dessas rochas com os anfibolitos.

### 2.1 ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E CARBONÁTICAS

As informações a seguir foram baseadas na classificação da IUGS (International Union of Geological Sciences) / SCMR (Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks) editada por Fettes e Desmons (2007) e a nomenclatura derivada é aplicada a rochas carbonatadas metamorfisadas incluindo as rochas calcissilicáticas e carbonáticas.

As classificações da SCMR para rochas desse tipo são baseados em características visíveis ou mensuráveis na escala da amostra. Nas rochas metacarbonáticas o conteúdo modal de minerais de carbonato é o critério mais evidente e confiável e podem ser escolhidos como base de classificação. A análise do banco de dados mostrou os limites significativos em 95, 50 e 5% do conteúdo modal dos minerais de Ca e Mg, e esses limites são usados para definir os principais campos de nomenclatura.

A definição de rochas metamórficas calcissilicáticas e carbonáticas de Fettes e Desmons (2008) é sintetizada no diagrama triangular da Figura 2.1, onde seus extremos são estabelecidos pelas variáveis C (minerais carbonáticos) como calcita, dolomita, aragonita; CS (minerais calcissilicáticos) como: diopsídio, titanita, escapolita e S (demais silicatos).

No extremo superior do vértice C situa-se a separação do campo dos mármore puros (superior a 95% de carbonato) do campo dos mármore impuros (inferior a 95% de carbonato). A segunda divisão é a separação dos mármore impuros (superior a 50% de carbonato) das rochas carbonato-silicáticas (inferior a 50% de carbonato). Na base do diagrama triangular situa-se a terceira divisão separando rochas carbonato-silicáticas (superior a 5% de carbonato) de rochas

calcissilicáticas e rochas silicáticas com pouco carbonato (inferior a 5% de carbonato). A quarta divisão marca a separação de rochas calcissilicáticas (superior a 50% de minerais calcissilicáticos) de rochas silicáticas com pouco carbonato (inferior a 50% de minerais calcissilicáticos).

Assim, o valor modal de 5% de carbonato separa rochas carbonáticas (>5%) de rochas calcissilicáticas (<5%) e o valor de 50% de minerais calcissilicáticos separa rochas calcissilicáticas (>50%) de rochas silicáticas com pouco carbonato (<50%).

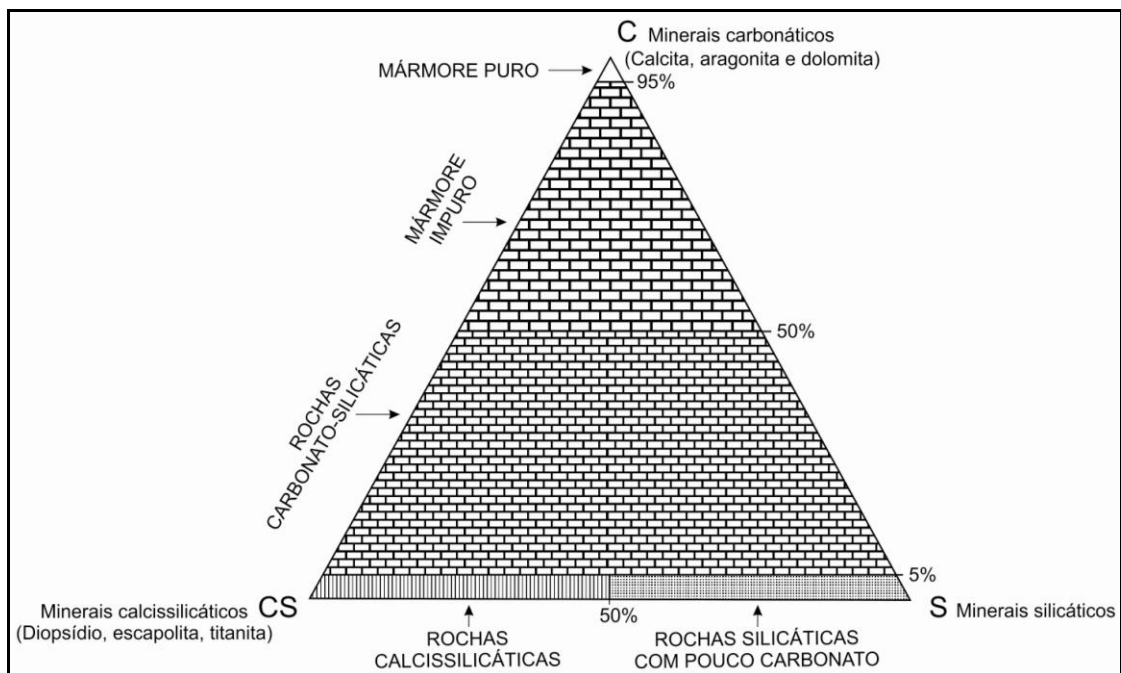


Figura 2.1 – Diagrama triangular de definição para rochas carbonáticas, calcissilicáticas e rochas silicáticas com pouco carbonato.

A IUGS/SCMR observou que não houve definição precisa dos minerais calcissilicáticos que poderiam ser usados para definir esse limite último, portanto, propõe a seguinte lista como os principais minerais calcissilicáticos: granada cálcica (grossulária ou hidrogrossulária), plagioclásio cálcico, escapolita cálcica, diopsídio, minerais do grupo do epidoto, titanita e wollastonita.

## 2.2 ANFIBOLITO

As informações a seguir foram baseadas na classificação da IUGS\SCMR editada por Fettes e Desmons (2007) e a nomenclatura derivada é aplicada a anfibolitos.

O anfibolito é uma rocha metamórfica com estrutura gnáissica ou granofélsica que consiste principalmente de anfibólio verde, marrom ou preto e plagioclásio (incluindo albita), os quais juntos constituem aproximadamente o valor de  $\geq 75\%$  da composição da rocha e ambos estão presentes como componentes principais. O anfibólio constitui valor  $\geq 50\%$  do total de constituintes máficos e está presente num montante de  $\geq 30\%$ . Outros minerais comuns incluem quartzo, clinopiroxênio, granada, minerais do grupo do epidoto, biotita, titanita e escapolita.

Os limites do campo do anfibolito podem ser visualizado no diagrama triangular da Figura 2.2.

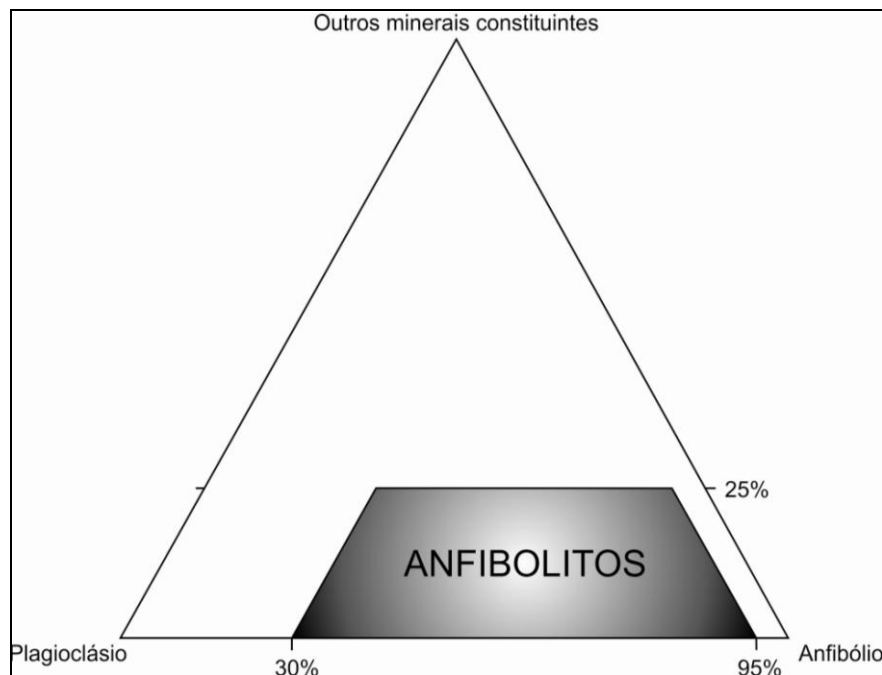


Figura 2.2 – Campo de anfibolitos de acordo com as definições da SCMR.

Abaixo estão as mais relevantes características para classificar os anfibolitos de acordo com Fettes e Desmons (2007).

- a)** Na petrografia, o termo anfibolito, é utilizado para definir uma rocha metamórfica cuja composição mineralógica seja predominantemente de anfibólio e plagioclásio;
- b)** As composições modais de anfibolitos mostram que a maioria deles contém mais de 50% de anfibólio, mas aqueles com proporções entre 50 e 30% não são incomuns. O conteúdo do anfibólio e plagioclásio junto é superior a 90%, e não pode ser inferior a 75%. O valor de 75% é, portanto, considerado o menor limite do somatório de plagioclásio + anfibólio;
- c)** A presença de outros minerais constituintes maiores (> 5%) é expressa pelo correspondente prefixo de acordo com as regras do IUGS/SCMR por exemplo: granada anfibolito, piroxênio anfibolito, quartzo anfibolito, etc.
- d)** O anfibolito é caracterizado pela presença de minerais portadores de hidroxila (anfibólio, biotita), que prevalecem sobre as hidroxilas livres (granada, diopsídio). A fronteira com o alto grau de metamórfico da fácies granulito é determinada pelo aparecimento de ortopiroxênio.
- e)** A transição de um anfibolito para rochas metacarbonáticas (calcissilicáticas e carbonáticas) geralmente é marcado pelo aumento da quantidade de piroxênio e plagioclásio cálcico na rocha. O limite crítico é novamente o teor de 25% modal de outros minerais que não anfibólio e plagioclásio.

### 3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região de Groaíras, onde foi desenvolvido esse estudo, se localiza no noroeste da Província Borborema, na porção leste do Domínio Tectônico Ceará-Central. O contexto lito-estrutural e as generalidades da mesma será explorado nos tópicos abaixo.

#### 3.1 DOMÍNIOS LITO-ESTRUTURAIS

Conforme uma síntese apresentada por Brito Neves et al. (2000), a Província Borborema é subdividida em três segmentos tectônicos denominados de Subprovíncia Setentrional, Subprovíncia da Zona Transversal ou Central e Subprovíncia Externa ou Meridional. Baseada em uma ampla revisão de artigos anteriores acrescidos de novos dados sobre os aspectos geológicos e as informações geocronológicas disponíveis, a Província ainda pode ser subdividida em cinco domínios tectônicos principais: Domínio Médio Coreau, Domínio Ceará Central (área de estudo), Domínio Rio Grande do Norte, Domínio da Zona Transversal e Domínio Externo ou Meridional (Figura 3.1).

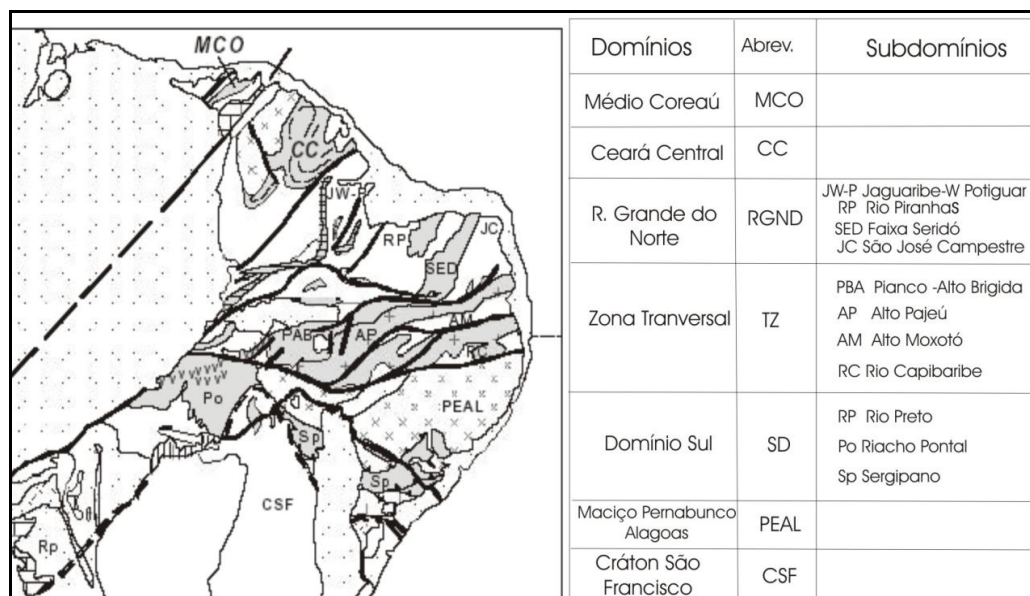


Figura 3.1 – Domínios lito-estruturais da Província Borborema.

Fonte: Brito Neves et al. 2000.

### 3.1.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)

Este domínio localiza-se na parte noroeste da Província Borborema, entre a margem do Cráton São Luis – Oeste Africano e a Zona de Cisalhamento Sobral–Pedro II (BRITO NEVES et al. 2000) (Figura 3.2).

As feições estruturais mais marcantes no DMC são as zonas de cisalhamento que exibem expressiva linearidade de seus traços em superfície, e se dispõem geralmente segundo direção NE-SW (NOGUEIRA NETO et al. 1997b). O destaque no contexto estrutural desse domínio é o Lineamento Sobral – Pedro II, uma megaestrutura de direção NE–SW, de caráter transcorrente dextral e idade neoproterozóica.

O Lineamento Transbrasiliano, que o separa do Domínio Ceará Central, exhibe ainda uma série de bacias transtensionais e plútons pós-orogênicos, alguns deste parcial ou totalmente cobertos pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba.

### 3.1.2 Domínio Ceará Central (DCC)

Este domínio limita-se, ao norte, pela zona de cisalhamento Sobral–Pedro II, que o separa do Domínio Médio Coreaú, e pela Província Costeira; a oeste, pela Província Sedimentar do Parnaíba; a leste e ao sul faz fronteira com a Faixa Orós–Jaguaribe por meio da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Figura 3.2).

No embasamento desse domínio é onde encontra-se sequências do tipo *greenstone* com metabasaltos toleíticos e komatiíticos, metavulcânicas ácidas com associações de Fe – metachertes e mármore impuros, e ainda lacólitos de metaperidotitos gabróicos. Dentro desse contexto merece destaque o maciço Tróia-Tauá encontrado na faixa central do DCC, que representa terrenos granito-*greenstone* e granito-gnáissico arqueanos, envolvidos na colagem orogênica paleoproterozóica.

As rochas calcissilicáticas na região de Groaíras são encontradas, principalmente no Complexo Ceará, nas Unidades Canindé e Independência e é no

contexto desse domínio estrutural que esta inserida a área de trabalho, onde se propôs um modelo de caracterização das rochas calcissilicáticas e carbonáticas.

A tectônica predominante é do tipo tangencial de baixo ângulo, evidenciada por um empilhamento complexo de *nappes* de idades variadas, seguida por uma intensa tectônica transcorrente pós-datando o pico do metamorfismo brasileiro (FETTER et al. 2000).

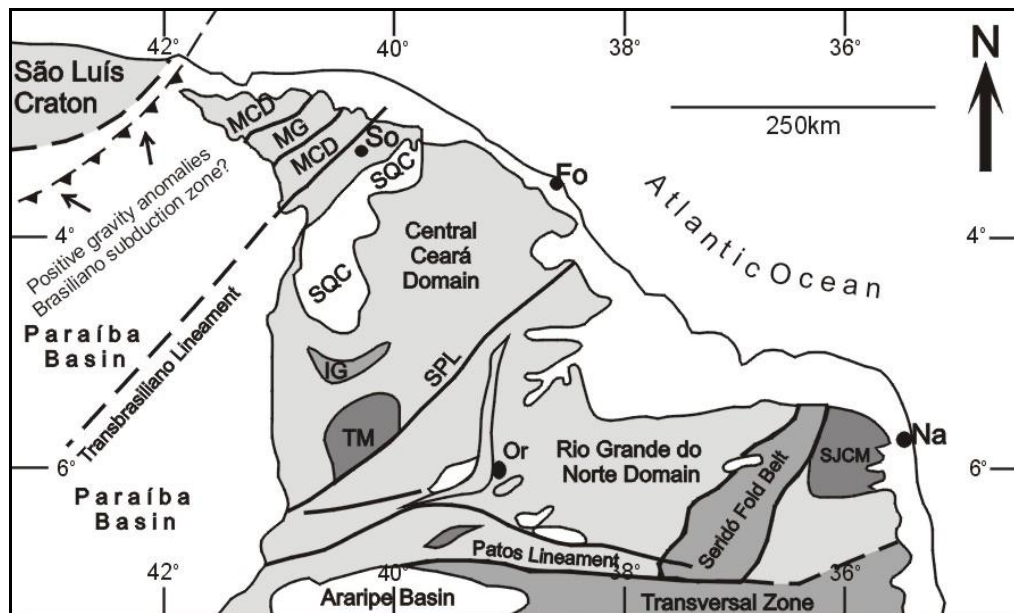


Figura 3.2 – Mapa da porção norte da Província Borborema localizando os principais domínios, além de feições tectônicas. Cobertura fanerozóica = branco; IG = Grupo Independência; MCD = domínio Médio Coreáú; MG = Grupo Martinópole; SJC = Máçio São José de Campestre (Arqueano); SQA = Complexo Santa Quitéria; TM = Máçio de Tróia (Arqueano), Fo = Fortaleza; Na = Natal; Or = Orós; So = Sobral. Fonte: Adaptado de Fetter et al. 2003.

### 3.2 A PROVÍNCIA BORBOREMA

Este setor da Província Borborema está inserido numa complexa história evolutiva, cuja esquematização atual aponta para uma história policíclica de seu embasamento, com registros de rochas formadas do Paleoproterozóico ao Neoproterozóico, representados por conjuntos litológicos, estruturas e outras feições importantes relacionadas a grandes colagens orogênicas, que foram os potenciais condicionadores da fusão/aglutinação de supercontinentes e dos eventos de tafrogênese e fissão subseqüentes (BRITO NEVES et al. 1984). De acordo com Fetter et. al. (2003) a Província Borborema foi originada na colisão dos crátoms Amazônico, Oeste Africano e São Francisco-Congo, há aproximadamente 600 Ma.

A Província Borborema cobre uma vasta área de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco e norte da Bahia. Em sua maior parte é formada por um embasamento, apresentando, contudo, importantes seqüências sedimentares de cobertura que consistem de sucessivos pediplanos cenozóicos, desenvolvidos a partir de elevações progressivas das regiões costeiras (BRITO NEVES; VAN SCHMUS; FETTER 2001). A Província constituiu-se de um retalho de terrenos de diferentes conjuntos litológicos delimitados por importantes lineamentos. Constitui-se a parte mais ocidental, em território brasileiro, de uma unidade geotectônica bem maior que compreende os crátons Oeste-Africano, Amazônico e São Francisco-Congo, sendo representada na África pelas províncias Oeste-Nigeriana, Leste-Nigeriana, Camarões e possivelmente Touareg (ALMEIDA et al. 1977).

Esta província representa, segundo Brito Neves et al. (1995), uma ampla região de dobramentos do tipo *branching system of orogens*, com supracrustais vulcano-sedimentares do Paleoproterozóico tardio, Mesoproterozóico (grande maioria) e Neoproterozóico, arranjadas entre frações do embasamento e com estruturação final auferida ao final do Neoproterozóico III ao Cambriano (Ciclo Brasileiro), durante a articulação e fusão do Gondwana Ocidental. Sua configuração final, com linhas estruturais distribuídas em leques por todo o quadrante nordeste só foi só consignada nas últimas fases deformacionais, consorciada com o movimento direcional dos grandes lineamentos (Sobral/Transbrasiliiano, Senador Pompeu, Patos, Pernambuco).

O embasamento da província parece ter sido majoritariamente consolidado no Paleoproterozóico (períodos Riaciano e Orosiriano) (BRITO NEVES et al. 1995), sendo constituído de terrenos formados por rochas gnáissico-migmatítico-graníticas, além das faixas ou sistemas de dobramentos, onde incluem rochas supracrustais termo-tectonizadas, representadas por rochas metassedimentares, alternadas com os terrenos gnáissico-migmatíticos (BRITO NEVES et al. 1984).

A Província Borborema vem sendo entendida como uma complexa faixa colisional, produto da movimentação convergente de placas, envolvendo possíveis processos de amalgamação e acreção de micropalacas e terrenos, consolidados ao final do evento Brasileiro. Os dados geológicos apontam para um contexto geodinâmico acrescionário, envolvendo colisões oblíquas, suturas transcorrentes/transformantes e cisalhamentos intracontinentais profundos.

## **4 LITOESTRATIGRAFIA DO NOROESTE DO CEARÁ**

A seguir, apresenta-se uma descrição sumarizada das unidades litoestratigráficas da região, de acordo com a proposta de vários autores (GORAYEB et al. 1988; FETTER et al. 2003; SANTOS 1999 ) com modificações e organizadas por domínios estruturais.

### **4.1 DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ (DMC)**

As unidades referentes ao DMC são representadas pelo Complexo Granja, Seqüência Vulcânica Saquinho, Grupo Martinópolis, Grupo Ubajara, Suíte Parapuí, Grupo Jaibaras e Formação Aprazível.

#### **4.1.1 Complexo Granja**

O Complexo Granja é localizado no extremo oeste do DMC e consiste na unidade mais antiga encontrada nesta região. Segundo Santos et al. (2001) é composto por ortogneisses TTG, gnaisses kinzigíticos, granulíticos, migmatitos e, subordinadamente, quartzitos e anfibolitos. A maior parte das rochas dessa seqüência é classificada como biotita-gnaisses e anfibólio-gnaisses. Essas rochas encontram-se pouco deformadas, apresentando em alguns locais uma leve foliação. Intercalados concordantemente aos gnaisses e são observados corpos anfibolíticos com espessura inferior a 3 m.

As idades disponíveis são segundo Fetter et al. (1995) relacionam-se ao Paleoproterozóico (Sideriano) através do método U-Pb em zircão de gnaisses e Sm-Nd em rocha total sendo respectivamente 2,20 e 2,38 Ma.

#### **4.1.2 Seqüência Vulcânica Saquinho**

A seqüência vulcânica Saquinho localizada mais a sul do DMC, próximo a cidade de Frecheirinha e é constituída de rochas vulcânicas intermediárias e félsicas, incluindo traqui-andesitos, riodacitos, riolitos, brechas e tuffos vulcânicos com fácies miloníticas e cataclásticas (SANTOS 1999).

Os dados U-Pb em zircão de um metariolito nesta unidade mostraram idade de 1785 Ma, interpretada como a idade de cristalização da rocha vulcânica, segundo Fetter (1999). Esta idade corresponde a um evento extensional de 1,8-1,7 Ga, reconhecido em toda a América do Sul, de acordo com Brito Neves et al. (1995), que também encontra-se registrado nas seqüências vulcano-sedimentares de Orós e do Jaguaribeano na parte oriental do estado de Ceará (JARDIM DE SÁ et al. 1995).

#### **4.1.3 Grupo Martinópole**

O Grupo Martinópole está situado no DMC e Segundo Neves (1975) é constituído predominantemente por xistos e filitos, quartzitos, lentes de calcário e metabasitos intercalados na seqüência de xistos e filitos, representando uma seqüência metassedimentar incluindo xistos, quartzitos puros ou sillimaníticos/cianíticos, paragnaisses, mármore e rochas calcissilicáticas.

Santos et al. (2004) subdividiu o Grupo Martinópole em quatro formações: Goiabeiras, São Joaquim, Covão e Santa Terezinha.

Fetter et al. (2003) sugeriram que o Grupo Martinópole pode representar uma bacia frente arco que se formou durante o crescimento do Arco de Santa Quitéria no Neoproterozóico Inferior, situado ao sudeste do DCC.

#### **4.1.4 Grupo Ubajara**

O Grupo Ubajara é situado no extremo sul do DMC, paralelo ao lineamento Sobral-Pedro II. Consiste de uma seqüência sedimentar plataformar, constituído por sedimentos clastopelíticos (Formações Trapiá e Caiçaras), com uma importante fácies carbonática (Formação Frecheirinha), a qual é superposta por uma recorrência clastopelítica (Formação Coreau), toda a seqüência sendo interpretada como de ambiente flúvio-marinho.

Segundo Gorayeb et al. (1988), o Grupo Ubajara é a unidade basal do sistema deposicional Ubajara-Jaibaras, os quais o subdividiram, da base para o topo, nas formações: Formação Trapiá, Formação Caiçaras e Formação Frecheirinha. E de acordo com Gorayeb et al. op cit., o Grupo Ubajara apresenta idade neoproterozóica.

O Grupo Ubajara, segundo Novais (1979) desenvolveu um metamorfismo de idade em torno de 610 Ma pelo método Rb-Sr, que originou minerais de muito baixo grau metamórfico que foram desenvolvidos em um mesmo evento deformacional, dividido em três fases distintas e seqüenciadas. A sua deformação foi completada durante o evento Brasileiro.

#### **4.1.5 Suíte Parapuí**

A Suíte Parapuí é localizada no DMC e segundo Nascimento e Gorayeb (2004), a Suíte Parapuí constitui uma unidade vulcânica, provavelmente do final do Neoproterozóico/início do Paleozóico, que se encontra inserida no Graben Jaibaras, com direção NE-SW, paralelo ao lineamento Sobral-Pedro II.

É uma importante atividade vulcânica basáltica que compreende três grupos principais de rochas: basaltos (labradorita/andesina basaltos, traquibasaltos e magnetita-ilmenita basaltos), riolitos e rochas vulcanoclásticas que ocorrem intercalados aos arenitos arcóianos do Grupo Jaibaras, em que todo o conjunto acha-se afetado por incipiente metamorfismo (NASCIMENTO e GORAYEB 2004).

Gorayeb et al. (1988) descreveram relações intrusivas entre o Granito Meruoca com as rochas do Grupo Jaibaras e observaram a presença de xenólitos de rochas vulcânicas, parcialmente assimilados pelo granito Meruoca, o que levou a posicionar estratigraficamente a Suíte Parapuí e o Grupo Jaibaras abaixo da Suíte Meruoca, concluindo que a idade dessas unidades deve ser Proterozóica Superior ou no mínimo Cambriana.

#### **4.1.6 Grupo Jaibaras**

O Grupo Jaibaras está inserido no DMC, no Graben Jaibaras, acompanhando paralelamente o lineamento Sobral-Pedro II. Gorayeb et al. (1988) dividiu o Grupo nas formações Massapê e Pacujá considerando-as cronoequivalentes e formadas essencialmente por conglomerados polimíticos, arenitos arcoseanos e siltitos.

A Formação Massapê é composta por brechas e metaconglomerados polimíticos intercalados a arenitos arcoseanos finos. Sobreposta a esta, em contato transicional, jaz a Formação Pacujá que apresenta-se constituída de rochas psamíticas: metarenitos arcoseanos, grauvacas, metasiltitos de cores avermelhadas e esverdeadas (com lentes conglomeráticas), ocorrendo esporadicamente folhelhos micáceos e, mais raramente, rochas carbonáticas. Os sedimentos estão estratificados predominantemente em bancos finos e médios, plano-paralelos.

A sua área de ocorrência está intimamente relacionado com o Lineamento Transbrasiliano em um contexto de bacia *pull apart* (GORAYEB et al. 1988).

Várias propostas de empilhamento estratigráfico tem sido apresentada para as unidades que compõe o Graben Jaibaras, como os encontrados em Hackspacher (1988); Gorayeb et al. (1988), Torquato e Nogueira Neto (1996) e Oliveira (1999).

#### 4.1.7 Formação Aprazível

A Formação Aprazível, inserida no Graben Jaibaras, guarda grandes similaridades em relação à Formação Massapê, sobretudo em termos de ambientes sedimentares e controle tectônico é constituída de ortonglomerados polimíticos de aspecto brechóide, compostos por seixos de tamanhos variados, angulosos e levemente imbricados. Os seixos são principalmente de fragmentos líticos, incluindo metarenito, metacalcários, filitos, quartzitos, xistos, vulcânicas e granitos. Estão envoltos em matriz arenosa, mal selecionada, granulação variando de média a grossa, constituída de quartzo, feldspato e fragmentos líticos. Em adição, pedaços oriundos de rochas plutônicas e vulcânicas da Suite Parapuí, podem autorizar a inclusão dessa unidade como estratigraficamente a mais nova na coluna do Graben Jaibaras (GORAYEB et al. 1988, OLIVEIRA 2001).

#### 4.2 DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL (DCC)

As unidades referentes ao DCC são o Maciço Tróia-Tauá, Complexo Ceará e Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

##### 4.2.1 Maciço Tróia-Tauá

O maciço Tróia – Tauá está localizado no sul do do DCC, próximo as cidades de Mombaça e Pedra Branca e corresponde a terrenos granito-*greenstone* e granito-gnáissicos arqueanos. Estratigraficamente é representado pelo Complexo Cruzeta que é subdividido nas unidades Tróia, Pedra Branca e Mombaça:

a) Unidade Tróia – compõe-se de metabasalto, metagabro, metadacito e metarriolito intercamadados com quartzito, grafita xisto, metacalcário, metachert e formação ferrífera bandada.

b) Unidade Pedra Branca – ocorre associada com a Unidade Tróia e se constitui de ortognaisses TTGs primitivos, característicos de crosta juvenil gerada em ambiente de arco magmático, com idade U-Pb entre 2,77 e 2,85 Ga e idade modelo TDM entre 3,04 e 2,92 Ga (FETTER 1999).

c) Unidade Mombaça – é composta por ortognaisse granodiorítico a granítico, gnaisses diversos, migmatito e restos de rochas paraderivadas metamórfisada em alto grau. Os ortognaisses da Unidade Mombaça, de acordo Fetter (1999), datam de 2150 Ma.

Segundo Martins (2000) a porção E–SE do maciço Tróia-Pedra Branca é constituída de mais uma unidade, a Unidade Algodões, que corresponde a uma associação de rochas metassedimentares, metamáficas e ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, com idade U-Pb entre 2,13 e 2,23 Ga e idades modelo TDM entre 2,44 e 2,24 Ga.

#### 4.2.2 Complexo Ceará

O Complexo ou Grupo Ceará se estende numa ampla área, sendo a principal unidade litoestratigráfica do DCC. Apresenta dois tipos básicos de associações litológicas: a) sequências supracrustais essencialmente paraderivadas, principalmente pelíticas e b) associações do tipo TTG eventualmente associadas a supracrustais do tipo *greenstone belt* (CABY et al. 1995).

Segundo Cavalcante et al. (2003), o Complexo Ceará é composto por paragnaisses e micaxistos aluminosos, parcialmente migmatizados, ortognaisses, quartzitos, metacarbonatos, rochas calcissilicáticas, granulitos máficos, enderbitos, metagabros e metaultramáficas. Estratigraficamente é dividido em quatro unidades abaixo indicadas:

a) Unidade Independência – Constituída por paragnaisses e micaxistos aluminosos, metacalcários e rochas calcissilicáticas;

b) Unidade Canindé – Composta por paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo, migmatização, ortognaisses ácidos, rochas matabásicas, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, anfibólio-gnaisse e anfibolitos;

- c) Unidade Quixeramobim – Formada por paragneisses e micaxistos aluminosos, níveis de quartzitos, rochas calcissilicáticas e metacalcários;
- d) Unidade Arneiroz – Constituída por paragneisses diversos, em parte migmatizado e micaxistos;

Os ortogneisses granítico-granodioríticos e os migmatitos da Unidade Canindé foram formados e metamorfisados no Paleoproterozóico (idade U-Pb entre 2,15–2,10 Ga; FETTER 1999) e parecem corresponder à unidade mais inferior do Complexo Ceará. A distribuição das idades-modelo TDM entre 2,4–2,3 Ga, relativas à residência crustal do material, evidenciam que a colocação dos protólitos desta unidade ocorreu após 2,3 Ga e pode estar relacionada à formação dos primeiros arcos magmáticos do sistema de orógenos do Paleoproterozóico (BRITO NEVES et al. 2001).

#### **4.2.3 Complexo Tamboril-Santa Quitéria**

Esse Complexo possui uma forma levemente ovalada com maior diâmetro na direção N-S cobrindo área em torno de 40.000 km<sup>2</sup>, e está localizado no centro do domínio Ceará Central. Segundo Fetter (1999) o Complexo Tamboril-Santa Quitéria compreende um complexo de plútons, migmatitos e granitóides, composto por uma grande variedade de granitóides sendo flanqueadas por rochas vulcanoclásticas e rochas calcissilicáticas.

São distinguidos quatro grupos principais de granitóides: (1) Diorítico a granodiorítico (rochas com elevado Mg e K); (2) Granitóides migmatíticos contendo grandes enclaves de gneisses e anfibolitos dioríticos; (3) Granodioritos a monzogranitos megaporfíricos fracamente deformados; e (4) Granitóides com elevado teor de K equigranulares megaporfíricos e subordinadamente monzogranitos (FETTER et al. 2003).

A idade mais antiga obtida pelo método U-Pb em zircão das rochas vulcânicas que flanqueiam o batólito é de 665 Ma. Outros dados U-Pb disponíveis em plútons mais deformados uma variação entre 637 Ma e 614 Ma e, enquanto nos granitóides do estágio tardios associados com a convergência tangencial, sugerem que este magmatismo pode ter continuado até 591 Ma (FETTER et al. 2003). As

rochas plutônicas do Batólito Santa Quitéria apresentam idades Sm-Nd TDM entre 0,9-0,8 Ga com assinaturas isotópicas que são consistentes com as misturas variáveis entre magmas juvenis do Neoproterozóico e os gnaisses circunvizinhos do Paleoproterozóico, indicando que o Complexo representa provavelmente os restos de um arco magmático do Brasileiro (FETTER et al. 2003).

#### 4.3 GRANITÓIDES PÓS-TECTÔNICOS

Na região noroeste da Província Borborema ocorre uma grande variedade de plútons graníticos alojados nas áreas do DMC e DCC. Os mais conhecidos foram reunidos por Gorayeb et al. (1988) na Suíte Meruoca.

##### 4.3.1 Suíte Granítica Meruoca

Esta suíte compõe-se uma variedade de granitóides situados tanto no DMC como no DCC. Abrange os corpos graníticos Meruoca e Mucambo situados no DMC, intrusivos nas sequencias do graben Jaibaras, próximos do lineamento Pedro-Sobral II, além dos plútons do Pajé, Anil e Serra do Barriga situados no DCC que cortam as sequências metassedimentares do Complexo Ceará.

O Granito Meruoca apresenta idades Rb-Sr de  $520 \pm 6$  Ma (SIAL 1989), e o Granito Mucambo tem idades de U-Pb em zircão de  $532 \pm 6$  Ma e Ar-Ar de  $527 \pm 3$  Ma (FETTER 1999).

O Granito do Pajé constitui-se de monzogranitos e segundo Gorayeb et al. 1991 foi datado com idade  $524 \pm 12$  Ma.

O Granodiorito Anil, identificado por Gorayeb et al. 1988, compreende um corpo de dimensões batolíticas, de forma elíptica, com direção NNE-SSW, foi interpretado como uma fase precoce da Suíte Meruoca em Gorayeb et al. (1994). Tem composição granodiorítica com variações para monzogranito, datado pelo método Rb-Sr com idade de  $587 \pm 19$  Ma (GORAYEB e LAFON 1995).

O Granito Serra do Barriga constitui um pequeno *stock* composto de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfiríticos, que apresentam caráter polintrusivo. A idade U-Pb efetuada em monazitas de sienogranitos é de  $522,2 \pm 7,6$  Ma, e datações Rb-Sr e U-Pb disponibilizadas na literatura fornecem uma idade de  $475 \pm 15$  Ma a 522 Ma para os corpos graníticos do mesmo segmento crustal (Pajé e Morrinho), segundo Mattos et al. (2007).

## **5 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA DAS ROCHAS CALCISILICÁTICAS E CARBONÁTICAS**

O estudo petrográfico desenvolvido no presente trabalho envolveu um grupo de lâminas delgadas e que foi feita após uma triagem das lâminas existentes das subáreas dos estágio de campo Groaíras, Cariré e Sobral. Separaram-se 48 lâminas de rochas calcissilicáticas e carbonáticas incluindo os anfibolitos.

O detalhamento petrográfico envolvendo o conteúdo mineralógico e sua quantificação, os aspectos texturais e microestruturais e sua classificação serão expostos a seguir com a classificação dos grupos e tipos petrográficos.

### **5.1 ROCHAS CALCISILICÁTICAS**

As rochas calcissilicáticas apresentam-se em lentes concordantes com os gnaisses do Complexo Ceará. Macroscopicamente possuem cor verde, granulação média e levemente foliadas. Foram identificadas em 28 lâminas delgadas e subdivididas em 6 grupos petrográficos. Essas rochas apresentam similaridades texturais, microestruturais e variações no tipo e conteúdo mineral subdividindo-se em:

#### **A. Titanita-diopsídio calcissilicático**

Esse litotipo foi identificado em 9 lâminas petrográficas (EGO-I-05, EGO-I-25a, EGO-I-55, EGO-III-23, EGO-VI-36, EGO-VIII-22, EGO-X-68, ECA-II-38 e ECA-VI-60) e se destaca pela presença predominante do clinopiroxênio (diopsídio) e por quantidade expressiva de titanita.

Este tipo petrográfico apresenta textura granoblástica e por vezes granoblástica orientada. Os contatos são ligeiramente suturados entre os minerais de diopsídio, quartzo e plagioclásio e mais retos com os cristais de titanita (Figura 5.1A e B).

A mineralogia essencial consiste de clinopiroxênio 40-45%, plagioclásio 35-40%, titanita 5-10%, quartzo 1-5% e zoisita 1-5%. Acessoriamente são encontrados k-feldspato, escapolita, carbonato, biotita e zircão em <1%. As fases secundárias são clorita e sericita.

O clinopiroxênio é subédrico e a clorita substitui incipientemente principalmente as bordas do clinopiroxênio. Com nicóis cruzados sua extinção é inclinada de 45° e a cor de interferência exibida é azul amarelada de 2ª ordem de 750 e birrefringência entre 0,033. Na conosopia o sinal ótico é positivo e ângulo 2v de aproximadamente 60°. Estas propriedades permitem classificar o clinopiroxênio como do tipo diopsídio.

O plagioclásio é subédrico e a sericita substitui incipientemente o plagioclásio e com nicóis cruzados apresenta maclamento albita com maclas deformadas ou sem maclas. O plagioclásio é do tipo labradorita com an<sub>51</sub>.

A titanita apresenta cor marrom e apresenta-se com formas subédricas e euédricas e relevo alto. Distribui-se com cristais disseminados na lâmina entre os cristais de diopsídio e plagioclásio.

O quartzo é anédrico, com contatos suturados distribuído entre os cristais de plagioclásio e diopsídio e forte extinção ondulante.

O epidoto é subédrico a anédrico, apresenta relevo alto e na luz refletida sua extinção é reta. O mineral do grupo do epidoto é a zoisita.

O k-feldspato (microclina) é anédrico e com nicóis cruzados possui maclamento xadrez difuso e também está distribuído nos interstícios dos minerais de diopsídio e plagioclásio.

A escapolita exhibe relevo muito baixo. Com nicóis cruzados sua extinção é reta e apresenta cor de interferência amarelo-laranja de 2ª ordem alta em 950 e birrefringência próxima de 0,034.

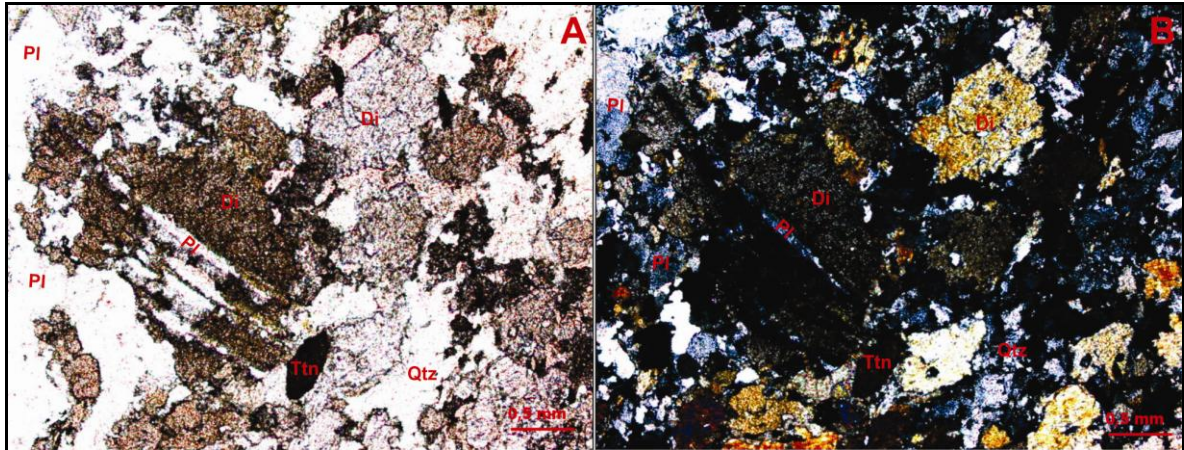


Figura 5.1 – Textura granoblástica mostrando os contatos suturados e retos entre os minerais diopsídio e plagioclásio A-luz natural LN e B-nicóis cruzados NC (EGO-X-68).

## B. Titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático

Esse grupo petrográfico foi identificado em 9 lâminas petrográficas (EGO-II-81, EGO-II-85a, EGO-III-19, EGO-VI-48, EGO-VII-55, EGO-VIII-62c, EGO-XI-25, ECA-VI-62 e ECS-VI-11) e se destaca pela presença predominante do clinopiroxênio (diopsídio), titanita e diferencia-se do anterior pela presença da escapolita.

Este tipo petrográfico apresenta textura granoblástica e por vezes granoblástica orientada. Os contatos entre os minerais de diopsídio, escapolita e plagioclásio são ligeiramente suturados e retos com a titanita (Figura 5.2A e B).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de clinopiroxênio 40-45%, escapolita 25-30%, plagioclásio 15-20%, titanita 1-5% e quartzo 1-5%. Acessoriamente são encontrados k-feldspato, carbonato, apatita e opacos em  $\leq 1\%$ . As fases secundárias são clorita, carbonato e sericita.

O clinopiroxênio é verde bem claro com formas subédricas e a substituição é moderada para clorita e carbonato principalmente na borda ou no centro dos cristais de diopsídio. Sua extinção, com nicóis cruzados, é inclinada em aproximadamente  $45^\circ$  e a cor de interferência exibida é azul esverdeada de 2ª ordem em 730 e birrefringência aproximada em 0,028. Na conosopia o sinal ótico é positivo e ângulo  $2v$  de aproximadamente  $55^\circ$ . Essas características são inerentes ao piroxênio diopsídio.

A escapolita é semelhante do grupo petrográfico anterior, porém a quantidade é superior e o contato com o diopsídio é ligeiramente suturado nas bordas anédricas do diopsídio.

O plagioclásio é subédrico e a sericita substitui fortemente seus cristais diferentemente do grupo anterior. O maclamento é albita e suas maclas são deformadas ou não apresenta maclas. O plagioclásio é a labradorita  $an_{50}$ .

A titanita e o quartzo são bastante semelhante ao do primeiro grupo petrográfico.

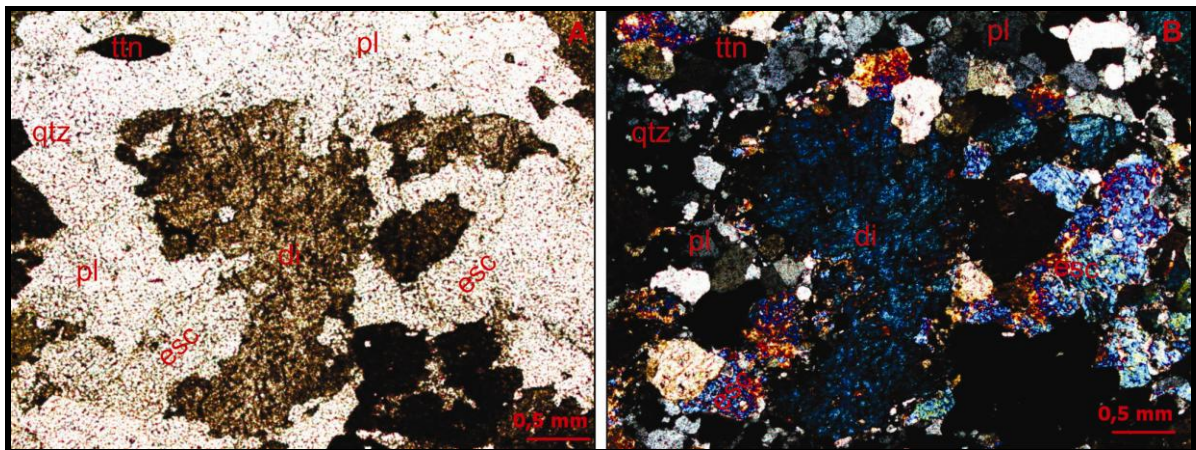


Figura 5.2 – Aspecto textural granoblástico definida por cristais subédricos e anédricos dos minerais do titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático A- LN e B- NC (EGO-II-81).

### C. Anfibólio-diopsídio calcissilicático

Esse grupo petrográfico foi identificado em 3 lâminas petrográficas (EGO-IV-93b, EGO-VI-47a e EGO-X-81a) e se destaca pela presença predominante do clinopiroxênio (diopsídio) juntamente com os anfibólios.

Este tipo petrográfico apresenta textura granoblástica orientada definido pelos contatos entre os minerais de diopsídio, hornblenda que são levemente suturados e com o plagioclásio e quartzo que apresentam contatos retos (Figura 5.3).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de clinopiroxênio (diopsídio) 35-40%, anfibólios 30-35%, quartzo 10-15%, plagioclásio 5-10% e titanita 1-5%. Acessoriamente são encontrados zircão, carbonato e Biotita em <1%. As fases secundárias são clorita, sericita e carbonato.

O clinopiroxênio é verde claro e a substituição por clorita é incipiente. Suas características seguem semelhantes aos piroxênios dos grupos anteriores, mas com

nicóis cruzados sua extinção é inclinada em  $43^\circ$  e a cor de interferência exibida é azul esverdeada de 2ª ordem próxima de 720 e birrefringência aproximada em 0,028. O clinopiroxênio apresenta características do tipo diopsídio.

O anfibólio apresenta duas cores distintas verde e marrom, além de anfibólio incolor. À luz natural o anfibólio verde exibe forte pleocroísmo, o marrom exibe médio pleocroísmo e o incolor não possui pleocroísmo. No anfibólio verde a maior, intermediária e menor absorção, são respectivamente verde escura (Z), verde (Y) e verde amarelada (X) e no anfibólio marrom é castanha clara (Z), marrom (Y) e incolor (X). Com nicóis cruzados, a extinção é inclinada com ângulo variável de  $13^\circ$  a  $27^\circ$  e na conosopia o anfibólio verde é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$  e o anfibólio marrom é biaxial positivo com  $2v$  de aproximadamente  $55^\circ$ . O anfibólio verde é a hornblenda *sensu stricto*, o anfibólio marrom é a pargasita e o anfibólio incolor é a tremolita.

O quartzo é anédrico com contatos retos e seus cristais apresentam forte extinção ondulante.

O plagioclásio é subédrico e está com forte substituição para sericita, clorita e carbonato. O maclamento albita é característico deste mineral a nicóis cruzados com maclas deformadas. O plagioclásio é a labradorita  $an_{53}$ .

A titanita está com forma euédrica e contatos retos com o plagioclásio e o quartzo principalmente.

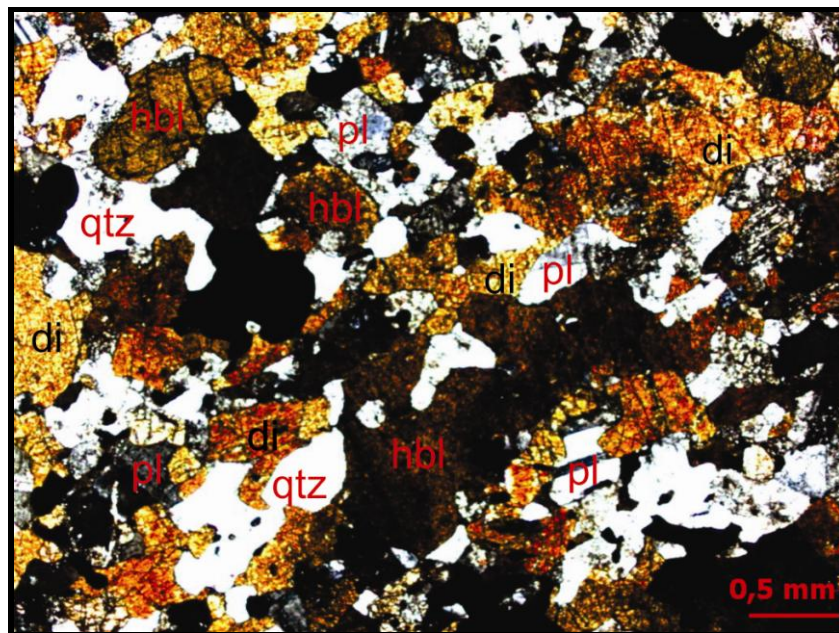


Figura 5.3 – Aspecto textural granoblástico definida por cristais subédricos e anédricos dos minerais do titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático A- LN e B- NC (EGO-IV-93B).

#### D. Hornblenda-granada calcissilicático

Esse grupo petrográfico foi identificado em 4 lâminas (EGO-V-19, EGO-VI-45, EGO-VII-15 e ECA-VI-41), onde se destacam a presença de granada e anfibólio (hornblenda).

Este tipo petrográfico apresenta textura granoblástica e localmente a textura poiquiloblástica com cristais de quartzo englobados por cristais de granada. Os contatos são ligeiramente suturados entre os minerais de hornblenda, quartzo e plagioclásio e mais retos com os cristais de granada (Figura 5.4A eB).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de granada 30-25%, anfibólio (hornblenda) 20-25%, quartzo 15-20%, plagioclásio 10-15% e titanita 5-10%. Acessoriamente são encontrados escapolita, diopsídio e apatita em  $\leq 1\%$ . As fases secundárias são clorita e sericita.

A granada tem cor rosa pálida com formas subédricas e anédricas. À luz natural apresenta relevo alto e à nicóis cruzados é isotrópica.

O anfibólio é verde e a substituição é moderada\fraca para clorita. O forte pleocroísmo, à luz natural, é bem evidente e a maior, intermediária e menor absorção são, respectivamente verde escuro (Z), verde amarelado (Y) e verde (X). Com nicóis cruzados, a extinção é inclinada em  $15^\circ$  e na conosopia o anfibólio é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$ . O anfibólio apresenta características da hornblenda.

O quartzo é anédrico e a forte extinção ondulante é freqüente nos quartzos dos grupos identificados, sendo estes sempre associados aos plagioclásio e\ou diopsídio e hornblenda.

O plagioclásio é subédrico e a substituição é moderada para sericita. As maclas deformadas e o maclamento albita, à nicóis cruzados, também estão presente neste grupo petrográfico. O plagioclásio é a labradorita  $an_{52}$ .

A titanita é marrom e apresenta-se com formas subédricas e euédricas além do relevo alto. Está distribuída com cristais disseminados na rocha entre os cristais de diopsídio e quartzo.

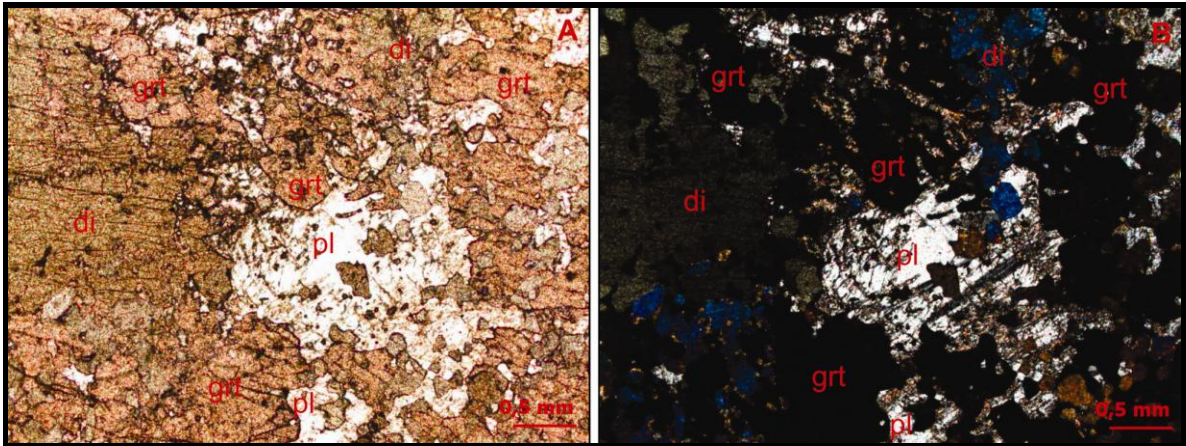


Figura 5.4 – Aspecto textural granoblástico com a granada e o plagioclásio e localmente poiquiloblástico com o quartzo e a granada A – LN B– NC (EGO-V-19).

### E. Diopsídio-granada calcissilicático

Esse grupo petrográfico foi identificado em 2 lâminas (EGO-VI-16 e EGO-VIII-64), a presença que se destaca é a granada e clinopiroxênio (diopsídio).

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica com contatos ligeiramente suturados entre os minerais de clinopiroxênio (diopsídio), quartzo, plagioclásio e granada a textura poiquiloblástica com cristais de granada englobando cristais de diopsídio localmente (Figura 5.5).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de granada 25-30%, plagioclásio 20-25%, clinopiroxênio (diopsídio) 15-20%, quartzo 5-10%, titanita 1-5% e zoisita 1-5%. Acessoriamente são encontrados opacos e apatita em  $\leq 1\%$ . As fases secundárias são o anfibólio, sericita e clorita.

A granada é semelhante a granada do grupo petrográfico anterior. Seus contatos estão levemente suturados com o clinopiroxênio e com o plagioclásio e o quartzo tem contatos retos.

No plagioclásio ocorre forte substituição para sericita e clortita em alguns cristais, porém outros estão com fraca substituição. A composição do plagioclásio evidenciado nesse grupo petrográfico é a labradorita com  $an_{60}$ .

O clinopiroxênio é verde claro e a substituição é moderada/fraca para anfibólio. Sua extinção, com nicóis cruzados, é inclinada em  $42^\circ$  e a cor de interferência exibida é verde de 2ª ordem próxima de 747 e birrefringência aproximada em 0,025. O clinopiroxênio apresenta características do tipo diopsídio.

O quartzo e a titanita estão semelhante ao do grupo petrográfico anfibólio-diopsídio calcissilicático.

O epídoto apresenta formas subédricas e anédricas, com relevo alto e com nicóis cruzados sua extinção é reta e exibe cor de interferência anômala. O mineral do grupo do epídoto tem características da zoisita.

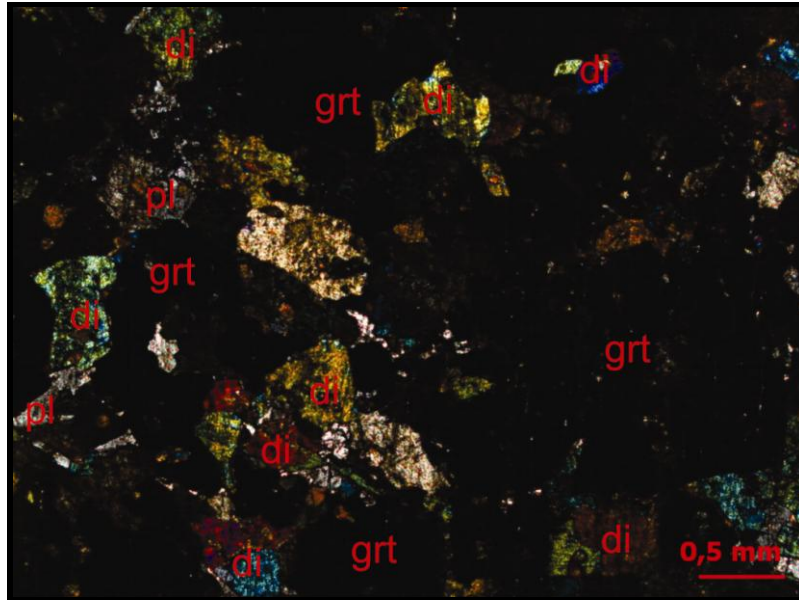


Figura 5.5 – Textura poiquiloblástica com cristais de diopsídio inclusos em cristais de granada - NC. (EGO-VI-16).

#### F. Biotita-pargasita calcissilicática com escapolita

Esse grupo petrográfico foi identificado em 1 lâminas (ECA-VI-63), e o que distingue esse grupo dos demais é a presença de Biotita e pargasita.

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica orientada com contatos ligeiramente suturados, além de esses minerais estarem levemente deformados e orientados (Figura 5.6).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste do anfibólio (pargasita) 40-45%, Biotita 35-40%, plagioclásio 10-15% e escapolita em 1- 5%. A fase secundária é a sericita.

O anfibólio apresenta cor marrom e à luz natural exibe forte pleocroísmo e a maior, intermediária e menor absorção são, respectivamente, castanha clara (Z), marrom (Y) e incolor (X). Com nicóis cruzados, a extinção é inclinada em 27° e na conosopia expressa-se biaxial positivo com 2v de aproximadamente 55°. o anfibólio apresenta características do tipo pargasita.

A Biotita apresenta cor marrom avermelhada e formas subédricas. À luz natural seu pleocroísmo é forte e a maior e menor absorção são, respectivamente, vermelha acastanhada (Z=Y) e amarela pálida (X). Sua extinção, à nicóis cruzados, é reta picotada e apresenta cor de interferência azul rosada de 3ª ordem alta em 1350 e birrefringência de 0,045.

O plagioclásio possui substituição moderada para sericita, porém há cristais de plagioclásio que estão com fraca substituição. A labradorita é o plagioclásio com  $an_{54}$ .

A escapolita exibe relevo muito baixo e a nicóis cruzados sua extinção é reta com cor de interferência verde rosada de 3ª ordem alta em 1440 e birrefringência próxima de 0,048.

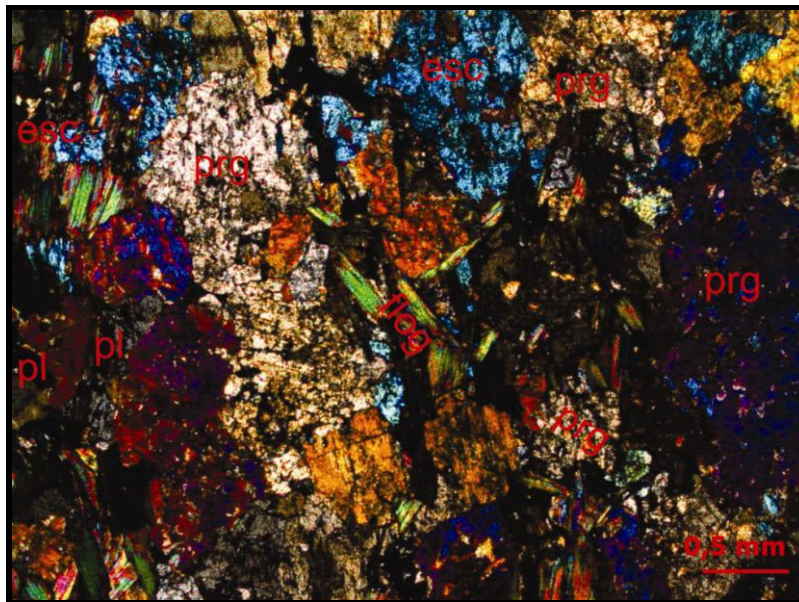


Figura 5.6 – Orientação dos cristais de Biotita e pargasita definindo a textura granoblástica orientada evidenciado no Biotita-pargasita calcissilicático com escapolita - NC. (ECA-VI-63).

## 5.2 ROCHAS CARBONÁTICAS

Os mármore apresentam-se em lentes associadas a rochas calcissilicáticas também nas seqüências orto e paragnáissicas do Complexo Ceará. Foram identificados em 10 lâminas delgadas e subdivididos em 3 grupos petrográficos. Essas rochas apresentam similaridades no arranjo textural, porém com variação composicional sendo subdivididas em:

### A. Mármore puro

Esse grupo petrográfico foi identificado em 3 lâminas (EGO-V-49, EGO-IX-22c e EGO-X-82e), sendo a presença monominerálica do carbonato uma forte característica.

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica poligonal. Os contatos são suturados entre os minerais de carbonato, demonstrando o deformação destes cristais, porém há contatos retos em pequenas porções intersticiais onde esses carbonatos foram recristalizados formando pontos tríplexes (Figura 5.7).

A mineralogia essencial deste tipo consiste de carbonato perfazendo 100%, da rocha.

O carbonato possui formas anédricas e subédricas e com nicóis cruzados maclaamento polissintético exibindo cor de interferência altíssima, acima da 4ª ordem.

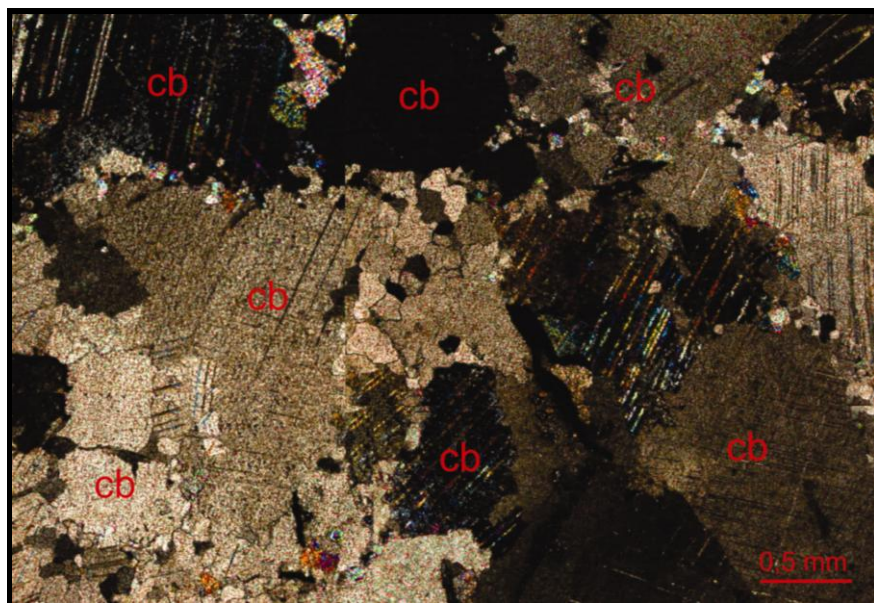


Figura 5.7 – Microfotografia do aspecto textural do mármore puro definido por pontos tríplexes de porções recristalizadas de carbonato e pelos contatos suturados entre os carbonatos maiores – NC (EGO-V-49).

### B. Olivina mármore

Esse grupo petrográfico foi identificado em 4 lâminas (EGO-III-14a, EGO-III-14b, EGO-III-30 e EGO-III-82), com quantidade grande de carbonato, porém impurezas como a olivina também tem quantidade relevante.

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica poligonal definida pelos contatos são retos entre os minerais de carbonato e os minerais de olivina formando pontos tríplices (Figura 5.8).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de carbonato 65-70%, olivina 20-25% e quartzo 5-10%. Acessoriamente foi identificada titanita, opacos e plagioclásio perfazendo  $\leq 1\%$ . A fase secundária é serpentina.

O carbonato apresenta formas subédricas e a nicóis cruzados como no grupo anterior possui maclamento polissintético com a cor de interferência altíssima, acima da 4ª ordem.

A olivina possui relevo alto, não exhibe clivagem e a substituição é totalmente ou parcialmente para serpentina. Sua extinção, à nicóis cruzados, é reta e apresenta cor de interferência azul esverdeada de 3ª ordem em 1140 e birrefringência de aproximadamente 0,037. Estão disseminadas nas rochas entre os carbonatos e não possuem contato com o quartzo.

O quartzo é anédrico e forma agregados entre si, com forte extinção ondulante e contatos suturados com o carbonato.

A titanita, os minerais opacos e o plagioclásio estão isolados, com formas subédricas e disseminados entre os carbonatos.

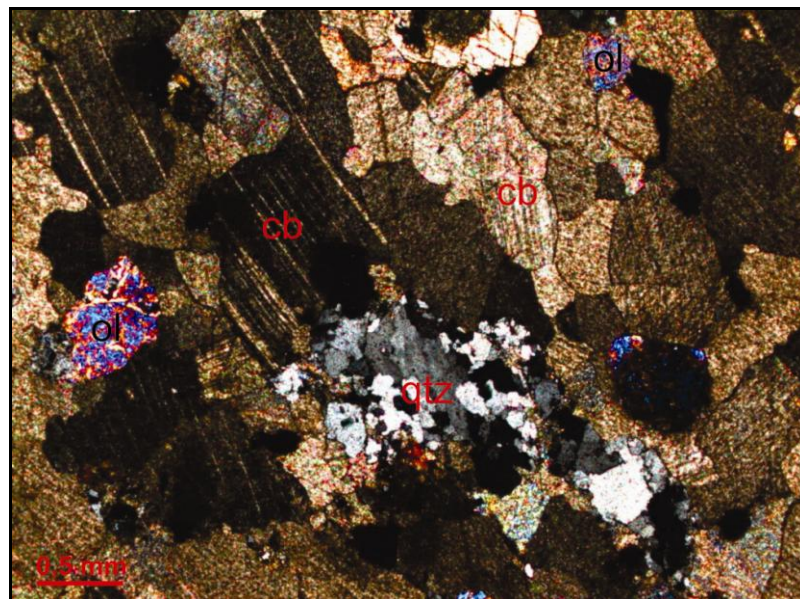


Figura 5.8 – Textura granoblástica poligonal, com olivina disseminada entre os carbonatos mostrando substituição parcial por serpentina e os agregados de quartzo entre si NC. (EGO-III-14a).

### C. Diopsídio Mármore com biotita

Esse grupo petrográfico foi identificado em 3 lâminas (EGO-VI-18, EGO-VIII-33 e EGO-VIII-34b), com a presença relevante do diopsídio e da biotita, além do carbonato.

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica poligonal também e é definida pelo arranjo tríplice no contato dos minerais de carbonato e clinopiroxênio (diopsídio) (Figura 5.9).

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de carbonato 40-45%, diopsídio 25-35%, plagioclásio 10-15% e Biotita 0-10%. Acessoriamente foi identificada titanita e quartzo em  $\leq 1\%$ . A fase secundária é a sericita.

O carbonato apresenta formas anédricas e subédricas e possui maclamento polissintético á nicóis cruzados exibindo cor de interferência acima da 4ª ordem.

O clinopiroxênio possui formas subédricas. A extinção é inclinada em aproximadamente 40° e a cor de interferência exibida é laranja avermelhada de 2ª ordem em 955 e birrefringência aproximada em 0,033 com nicóis cruzados. Na conosopia é biaxial positivo e ângulo 2v de aproximadamente 60°. O clinopiroxênio tem as características do diopsídio.

O plagioclásio é subédrico e a substituição é fraca para sericita. Sempre apresenta á nicóis cruzados o maclamento albita com maclas deformadas e sua composição é labradorita  $an_{56}$ .

A biotita apresenta formas subédricas e cor marrom avermelhada. O forte pleocroísmo é marcado pela maior e menor absorção que são, respectivamente, vermelha acastanhada (Z=Y) e amarela pálida (X). À nicóis cruzados sua cor de interferência é verde azulada de 3ª ordem alta em 1300 e birrefringência de aproximadamente 0,044. Está distribuída na rocha bordejando os cristais de diopsídio.

A titanita e o quartzo são minerais disseminados entre os carbonatos e em pequeno tamanho, sendo que a titanita segue leve orientação.

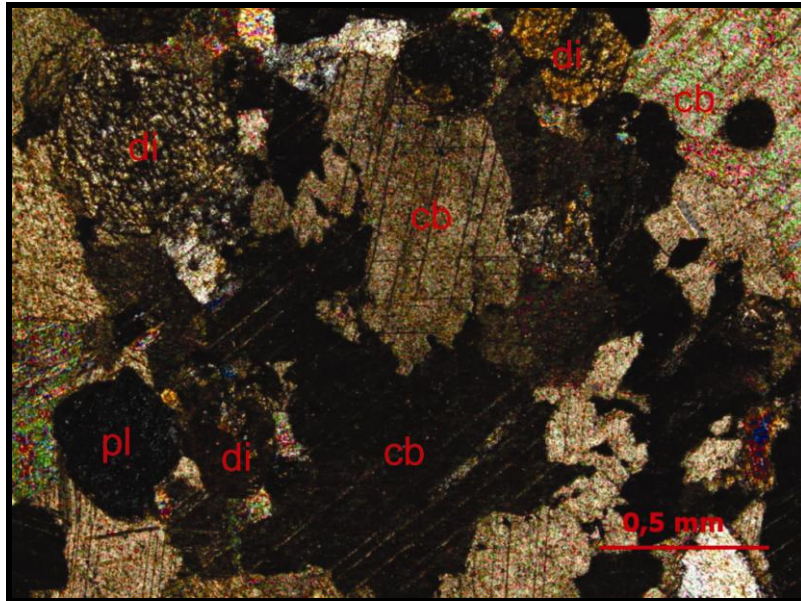


Figura 5.9 – Arranjo textural granoblástico com contatos retos e suturados entre os carbonatos e cristais de diopsídio e plagioclásio isolados e disseminados no Diopsídio mármore com biotita NC (EGO-VI-18).

### 5.3 ANFIBOLITOS

Os anfibolitos descritos nesta monografia são aqueles associados a rochas calcissilicáticas e mármore diferenciando-se das mesmas por uma quantidade de plagioclásio e hornblenda predominante (explicado no subitem 2.2 deste trabalho). Essas rochas também estão em lentes ou lajedos concordantes com os orto e paragneisses do Complexo Ceará e foram identificadas em 10 lâminas delgadas e subdivididas em 4 grupos petrográficos que serão descritos abaixo:

#### A. Anfibolito com granada

Esse grupo petrográfico foi identificado em apenas 1 lâmina (EGO-VI-51), onde se destaca além do anfibólio (hornblenda) e plagioclásio, quantidade relevante da granada.

Neste tipo petrográfico a textura é nematoblástica definida pela orientação dos níveis em anfibólio (hornblenda) e contatos suturados entre os minerais de anfibólio (hornblenda) e plagioclásio (Figura 5.10).

A mineralogia essencial consiste de carbonato 40-45%, diopsídio 25-35%, plagioclásio 10-15% e Biotita 0-10%. Acessoriamente foi identificada titanita e quartzo em  $\leq 1\%$ . A fase secundária é a sericita.

A mineralogia essencial deste tipo petrográfico consiste de anfibólio (hornblenda) 70-75%, plagioclásio 20-25% e granada 1-5%. Acessoriamente foram identificados opacos e quartzo perfazendo  $\leq 1\%$ . A fase secundária é a sericita.

O anfibólio é cor verde e exibe forte pleocroísmo sendo a maior, intermediária e menor absorção são, respectivamente, verde escura (Z), verde (Y) e verde amarelada (X). Com nicóis cruzados, a extinção é inclinada em  $18^\circ$  e na conosopia o anfibólio é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$ . As características acima indicam que o anfibólio é a hornblenda.

O plagioclásio é subédrico e a substituição é fraca para sericita. Com nicóis cruzados apresenta maclamento albita com maclas deformadas e os contatos com pontos tríplices entre os plagioclásios são mais evidentes. O plagioclásio é a labradorita  $an_{55}$ .

A granada tem cor rosa pálida com formas anédricas. Possui relevo alto e à nicóis cruzados é isotrópica.

Os minerais opacos e o quartzo estão disseminados entre os cristais de hornblenda e granada.

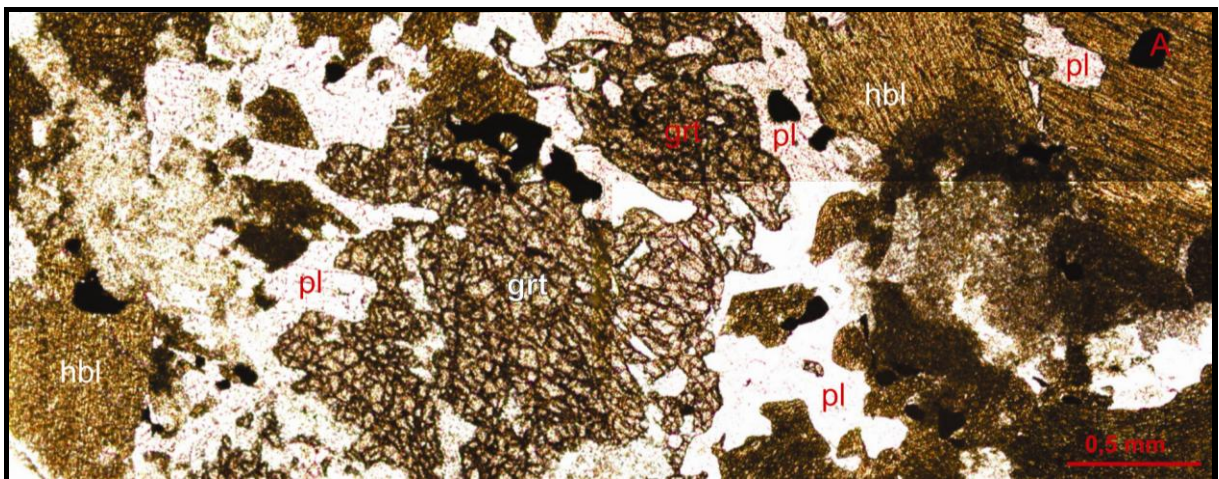


Figura 5.10 – Cristal de granada entre a hornblenda e o plagioclásio compondo subordinadamente os níveis desses minerais neste grupo anfibolito com granada LN. (EGO-VI-51).

## B. Diopsídio anfibolito

Esse grupo petrográfico foi identificado em 6 lâminas (EGO-V-61, EGO-VII-02, EGO-VII-31d, EGO-VIII-02, EGO-VIII-04 e EGO-XI-76 ), onde se destaca a presença do clinopirxênio (diopsídio) em meio ao anfibólio (hornblenda) e plagioclásio.

Neste tipo petrográfico a textura é nematoblástica definida principalmente pelos níveis orientados de anfibólio (hornblenda) e clinopiroxênio (diopsídio). Os contatos são suturados e por vezes retos entre os minerais de hornblenda e plagioclásio sempre obedecendo uma orientação principal (Figura 5.11).

A mineralogia essencial deste grupo petrográfico consiste de anfibólio (hornblenda) 40-45%, plagioclásio 30-35% e diopsídio 10-15%. Acessoriamente foram identificados titanita, apatita e quartzo em  $\leq 1\%$ . As fases secundárias são sericita e clorita.

O anfibólio é verde e a substituição por clorita é moderada. Exibe forte pleocroísmo semelhante ao do grupo petrográfico anterior. Com nicóis cruzados, a extinção do anfibólio é inclinada em  $15^\circ$  e na conosopia é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$ . O anfibólio tem características da hornblenda.

O plagioclásio é subédrico e a substituição é fraca para sericita. O maclamento albita com maclas deformadas ou sem maclas é a principal característica à nicóis cruzados. Sua composição é labradorita  $an_{52}$ .

O clinopiroxênio é verde claro com formas subédricas. Sua extinção, com nicóis cruzados, é inclinada em aproximadamente  $40^\circ$  e a cor de interferência exibida é verde amarelada de 2ª ordem em 800 e birrefringência aproximada em 0,026. Na conosopia é biaxial positivo e ângulo  $2v$  de aproximadamente  $60^\circ$ . O clinopiroxênio é o diopsídio.

A titanita, apatita e quartzo são minerais subédricos e presente entreos níveis de diopsídio\hornblenda e plagioclásio.

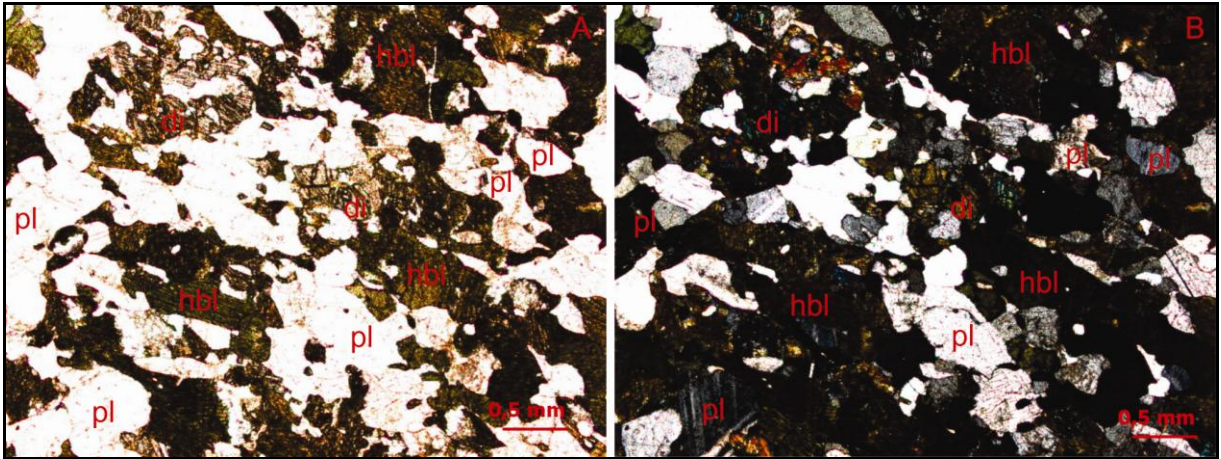


Figura 5.11 – Arranjo nematoblástico com níveis de clinopiroxênio (diopsídio) e anfibólio (hornblenda) seguindo a orientação principal A – LN e B – NC. (EGO-VIII-4).

### C. Granada-diopsídio anfibolito

Esse grupo petrográfico foi identificado em 2 lâminas (EGO-VIII-47 e ECA-VI-61), com destaque para a maior proporção mineral de granada e clinopiroxênio (diopsídio) que nos grupos anteriores de anfibolito.

Neste tipo petrográfico a textura é granoblástica definida pelo arranjo dos cristais anédricos de granada que possuem contatos ligeiramente suturados com os demais minerais do grupo. O anfibólio (hornblenda) e o clinopiroxênio (diopsídio) formam níveis sem orientação preferencial (Figura 5.12).

A mineralogia essencial deste grupo petrográfico consiste de hornblenda 40-35%, plagioclásio 30-35% e diopsídio 15-20% e granada 0-5%. Acessoriamente foram identificados titanita e epidoto em  $\leq 1\%$ . A fase secundária é clorita.

O anfibólio possui uma cor marrom esverdeada e exibe forte pleocroísmo e a maior, intermediária e menor absorção sendo, respectivamente, marrom esverdeada (Z), marrom (Y) e marrom amarelada (X). A extinção, com nicóis cruzados, é inclinada em  $15^\circ$  e na conosopia o anfibólio é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$ . A hornblenda é o anfibólio que apresenta essas características.

O plagioclásio é subédrico com fraca substituição para sericita e sua composição continua no campo da labradorita  $an_{50}$ .

O clinopiroxênio é verde claro com fraca substituição para clorita. Com nicóis cruzados, sua extinção é inclinada em  $41^\circ$  e a cor de interferência exibida é amarela

alaranjada de 2ª ordem em 948 e birrefringência aproximada em 0,032. Na conoscopia é biaxial positivo e ângulo 2v de aproximadamente 60°. O clinopiroxênio apresenta características do diopsídio.

A granada tem cor rosa pálida com forma anédrica. Apresenta relevo alto e à nicóis cruzados é isotrópa.

A titanita e epidoto são subédricos e dispostos entre os níveis de hornblenda\diopsídio.

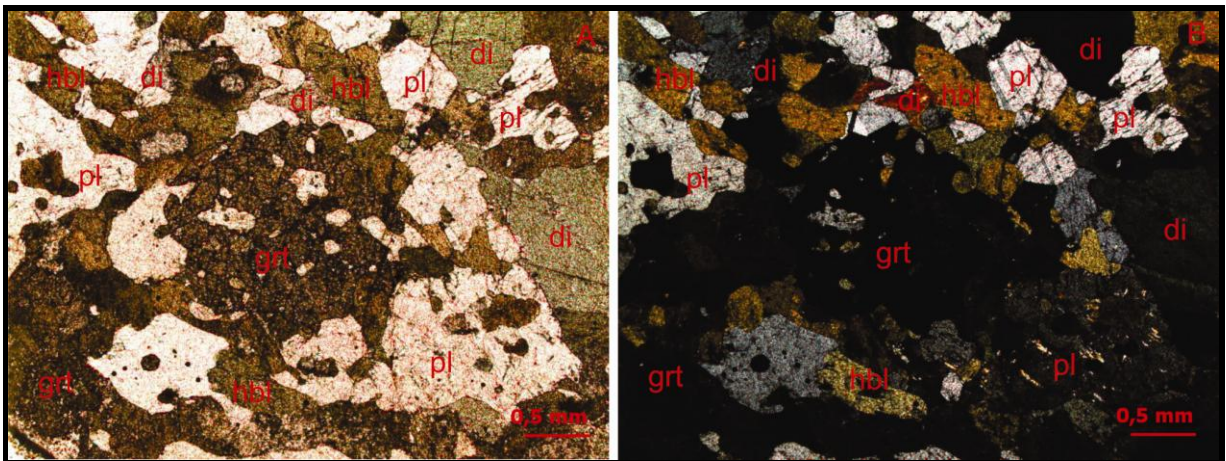


Figura 5.12 – Arranjo granoblástico mostrando a distribuição dos cristais de hornblenda e diopsídio bordejando os cristais de granada que estão anedrais A – LN e B – NC. (EGO-VIII-47).

#### D. Granada-biotita anfibolito

Esse grupo petrográfico foi identificado em apenas 1 lâmina (ECS-III-26), onde a biotita aparece com proporção relevante junto com anfibólio (hornblenda), plagioclásio e granada.

Neste tipo petrográfico a textura é nematoblástica definida pelos níveis de anfibólio (hornblenda) orientados. Porém a textura lepidoblástica está presente nos níveis mais enriquecidos em biotita. Os contatos são suturados devido a deformação da rocha e por vezes retos entre os minerais de hornblenda e plagioclásio e as lamelas de biotita seguem concordantes com a orientação da hornblenda (Figura 5.13 A e B).

A mineralogia essencial deste grupo petrográfico consiste de anfibólio (hornblenda) 35-40%, plagioclásio 30-35%, biotita 15-20% e granada (grt) 5-10%. Acessoriamente foram identificados titanita, apatita e quartzo em  $\leq 1\%$ . A fase secundária é sericita.

O plagioclásio é subédrico e a substituição é fraca para sericita. Possui, á nicóis cruzados, maclamento albita com maclas deformadas e sua composição é labradorita  $an_{54}$ .

O anfibólio é verde. Exibe forte pleocroísmo semelhante ao do grupo petrográfico Diopsídio anfibolito. A extinção, á nicóis cruzados, é inclinada em  $12^\circ$  e na conosopia o anfibólio é biaxial negativo com  $2v$  de aproximadamente  $80^\circ$ . O anfibólio tem propriedades da hornblenda.

A biotita é marrom escura com formas subédricas. Exibe forte pleocroísmo, à luz natural, apresentando maior e menor absorção respectivamente marrom escura ( $Z=Y$ ) e amarelo pálido ( $X$ ). Com nicóis cruzados possui cor de interferência é roxa azulada de 3ª ordem em 1128 e birrefringência de 0,038. Na conosopia é uniaxial negativo.

A granada é rosa clara com formas subédricas. À luz natural apresenta relevo alto e à nicóis cruzados é isotrópica.

A titanita, apatita e quartzo são subédricos e anédricos e estão entre os níveis de hornblenda e plagioclásio.

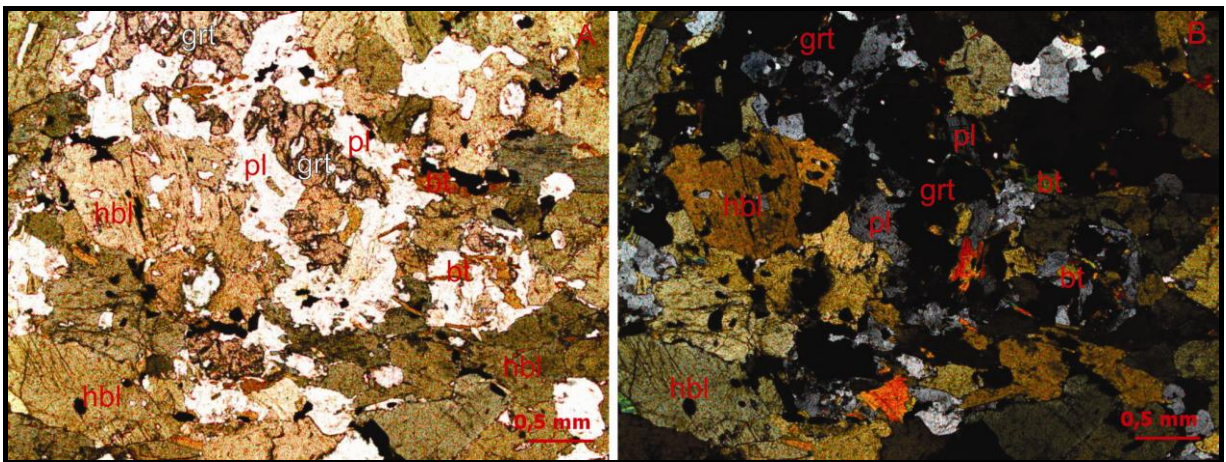


Figura 5.13 – Textura nematoblástica com pequenas lamelas de biotita nos níveis de hornblenda orientada concordantemente A – LN e B – NC. (ECS-III-26).

## **6 DISTRIBUIÇÃO DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS, MÁRMORES E ANFIBOLITOS**

A distribuição das rochas estudadas na região de Groaíras nos três grandes grupos de rochas, subdivididos a partir da análise petrográfica, está disseminada em toda a área de trabalho. Esses grupos de rochas fazem parte do Complexo Ceará, mais especificamente nas Unidades Canindé (ortognaisses) e Independência (paragnaisses) e encontram-se em formas de lentes ou camadas intercaladas concordantemente com a estruturação das rochas gnáissicas desse Complexo, do DCC. A distribuição de cada um dos três grandes grupos será melhor explicada abaixo:

- a) Rochas Calcissilicáticas - As rochas desse grupo de rocha estão mais concentradas na Unidade Independência do Complexo Ceará, porém também tem freqüência na Unidade Canindé associada a anfibolitos principalmente. É o mais expressivo grupo da área estudada e estão em maior quantidade a Sul, sudeste e oeste da cidade de Groaíras (Figura 6.1).
- b) Mármore – As rochas deste grupo de rocha estão em menor quantidade na área e são mais freqüentes na Unidade Independência também, mas existem lentes de mármore na Unidade Canindé. Não ocorrem associadas aos anfibolitos apenas associam-se as rochas calcissilicáticas e a maior concentração de mármore na área de estudo está a leste e Sul de Groaíras (Figura 6.1).
- c) Anfibolitos – As rochas desse grupo estão numa concentração intermediária e encontram-se equivalentes nas Unidades Independência e Canindé do Complexo Ceará. Na unidade Canindé ocorrem associadas às rochas calcissilicáticas e na Unidade Independência podem estar associadas ou ocorrerem próximas a essas rochas. A maior concentração de anfibolitos na área de estudo está a nordeste, sudeste e sul de Groaíras (Figura 6.1)

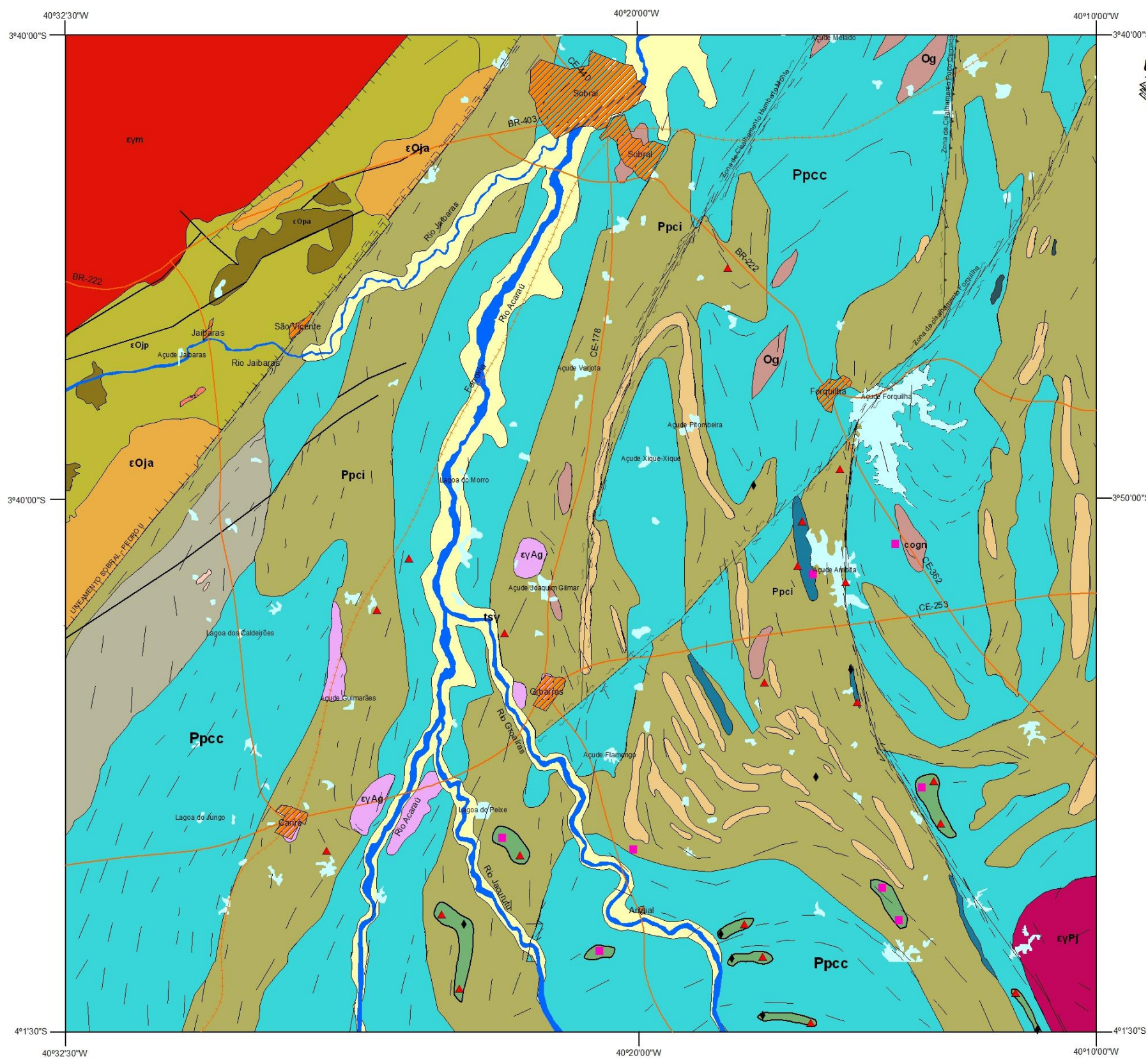


Figura 6.1 – Mapa geológico mostrando a distribuição dos grupos e litotipos de rochas calcissilicáticas (triângulos vermelhos), mármore (quadrados rosas) e anfíbolitos em preto classificados na região (vide mapa maior e completo no anexo 1).

## 7 CONSIDERAÇÕES METAMÓRFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O metamorfismo na região, de acordo com Abreu et al. 1988, é do tipo regional e que edificou uma ampla área de terrenos gnáissicos e migmatíticos do Complexo Ceará.

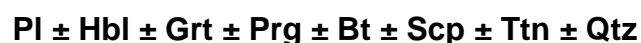
O presente estudo envolveu investigações petrográficas sobre o metamorfismo das rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos da região de Groaíras e as transformações metamórficas criaram associações minerais e variações texturais, porém com a presença constante de diopsídio e/ou hornblenda acompanhados de vários outros minerais como carbonatos, Biotita, biotita, granada, escapolita, quartzo, olivina, titanita e zoisita.

As paragêneses das rochas separados a partir do estudo petrográfico estarão organizados abaixo divididas nos três grandes grupos diferenciados.

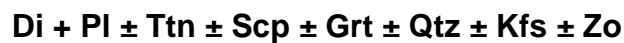
### 7.1 ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E ANFIBOLITOS

Vários autores estudaram o metamorfismo em rochas carbonáticas que geraram as rochas calcissilicáticas e conseqüentemente os anfibolitos associados a elas. Frequentemente possuem anfibólio ou clinopiroxênio em suas paragêneses. Primeiramente serão esclarecidas as paragêneses sobre as rochas calcissilicáticas que serão divididas aqui nas rochas calcissilicáticas com clinopiroxênio, com anfibólio e com os dois minerais para facilitar a visualização dos minerais em equilíbrio. As paragênese serão mostradas abaixo nas alíneas a), b) e c).

a) Rochas Calcissilicáticas com anfibólio – São os Hornblenda-granada calcissilicático e Biotita-pargasita calcissilicático com escapolita. Esses subgrupos apresentam anfibólios diferentes e composições mineralógicas diferenciadas também, porém sempre com a predominância de anfibólios sobre os demais minerais. A paragênese das rochas com anfibólio é:



b) Rochas calcissilicáticas com diopsídio – São os Titanita-diopsídio calcissilicático, Titanita-escapolita-diopsídio calcissilicático e o Diopsídio-granada calcissilicático. Esses subgrupos apresentam, principalmente, quantidades variáveis de titanita, escapolita e granada, além de outros minerais que aparecem em alguns subgrupos e não aparecem em outros como k-feldspato, quartzo e epidoto. A paragênese das rochas com diopsídio é:

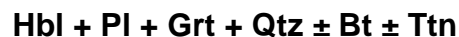


c) Rochas calcissilicáticas com diopsídio e anfibólio – Apenas o subgrupo Anfibólio-diopsídio calcissilicático que apresenta diopsídio em equilíbrio com um tipo de anfibólio (tremolita, hornblenda ou pargasita). A paragênese das com rochas com diopsídio e anfibólio é:



Os anfibolitos da região de Groaíras podem ter clinopiroxênio (diopsídio) ou granada em equilíbrio com a hornblenda e o plagioclásio. A presença de biotita, quartzo, titanita e epidoto são menos relevantes, porém variáveis. Os anfibolitos vão ser divididos aqui em anfibolitos com granada, anfibolitos com diopsídio e anfibolitos com granada e diopsídio. As paragêneses serão mostradas nas alíneas d), e) e f).

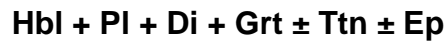
d) Anfibolitos com granada – São os subgrupos Anfibolito com granada e Granada-biotita anfibolito. Os minerais em equilíbrio nessas rochas são a granada, plagioclásio, hornblenda e quartzo. Os minerais de biotita e titanita são os minerais variáveis nessas rochas. A paragênese segue a seguir:



e) Anfibolitos com diopsídio – É o subgrupo Diopsídio anfibolito com diopsídio, plagioclásio e hornblenda em equilíbrio em todas as amostras e titanita e quartzo podendo ou não participarem dessa paragênese que está escrita abaixo:



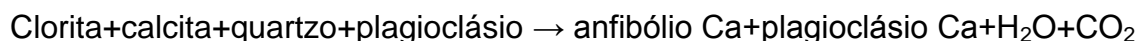
f) Anfibolitos com granada e diopsídio – É o subgrupo Granada-diopsídio anfibolito com ambos, granada e diopsídio, em equilíbrio metamórfico, além de hornblenda e plagioclásio. Os minerais que podem ou não ocorrer nessa paragênese é a titanita e o epidoto. Abaixo a paragênese dessas rochas:



As informações a cerca do metamorfismo dos anfibolitos na área de estudo seguem a mesma linha das rochas calcissilicáticas, uma vez que, nesse trabalho, observa-se que essas rochas são muito similares mineralogicamente as rochas calcissilicáticas, porém o que as diferencia principalmente são as quantidades de anfibólio e plagioclásio explicitado no item 2.2, do presente trabalho.

A cerca da formação dessas paragênese em rochas calcissilicáticas ainda na literatura não existem informações e grades petrogenéticas que apontem e expliquem melhor os processos e reações que ocorreram nessas rochas. O trabalho de Ferry 1983a<sup>1</sup> citado em Yardley (2004) dividiu em zonas, semelhantes às Zonas Barrovianas, os metassedimentos carbonáticos no centro-sul do Maine (EUA). Este estudo aplicado ao presente trabalho encontra características e transformações minerais semelhantes com duas zonas bem definidas por Ferry, que são as zonas do anfibólio e do diopsídio.

A zona do anfibólio é caracterizada pela presença de anfibólio e plagioclásio mais cálcicos oriundos a partir de clorita e calcita, além de biotita e quartzo em equilíbrio metamórfico. A reação inferida para a formação de anfibólio e plagioclásio mais cálcicos é a seguinte:



A zona do diopsídio é caracterizada pela associação mineral de diopsídio, zoisita, anfibólio Ca, plagioclásio, quartzo sendo biotita e microclina possíveis ou não de ocorrer. O aparecimento do diopsídio é oriundo da destruição do anfibólio cálcico segundo a reação:

---

<sup>1</sup> FERRY, J.M. *Mineral reaction and elements migration during metamorphism of calcareous sediments from the Vassalboro Formation, south-central Maine*. American Mineralogist, n. 68, p. 334-354, 1983a.



O plagioclásio é um mineral relevante na determinação do teor de cálcio para a caracterização de rochas calcissilicáticas. A composição do plagioclásio nessas rochas carbonatadas metamorfisadas alcança teores de anortita superiores a 50 ( $\text{An}_{>50}$ ) que são teores onde o teor cálcio é bastante elevado e são compatíveis com os plagioclásios oriundos de metamorfismo de rochas com carbonato.

Os outros minerais como biotita, epídoto, granada e escapolita também merecem considerações a cerca de suas formações uma vez que também atuam variando bastante a paragênese dessas rochas.

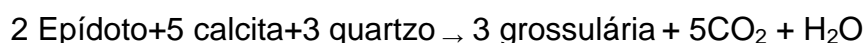
Segundo Zussman et al. (1992) a biotita não é muito comum no metamorfismo de rochas ricas em cálcio, porém no metamorfismo de calcários, dolomitos impuros e margas podem ter sido formadas a partir de reações em que atuam tanto como reagentes ou produtos. Uma possível reação que gera biotita nessas rochas é:



O epídoto é comum em rochas metamórficas geralmente como clinozoisita (epídoto) e zoisita. É um mineral que define temperatura de metamorfismo e também é importante na formação de minerais. De acordo com Yardley (2004) seu crescimento é devido à reação:



De acordo com Fettes e Desmons (2007) a granada também aparece no metamorfismo de rochas ricas em carbonatos e a mais provável é a que está inserida dentro da série grossulária/hidrogrossulária. Segundo Winkler (1977) a grossulária forma-se a partir do epídoto segundo a reação abaixo e também quando associada ao quartzo, determina temperatura de metamorfismo.



A escapolita é alumossilicato de sódio e cálcio que ocorre geralmente em rochas metamórficas de caráter cálcico e conforme o grau metamórfico se eleva o teor de cálcio também aumenta. A escapolita forma-se a partir da reação de olivina com o carbonato (reação abaixo) e evidencia um elevado grau metamórfico em rochas carbonatadas (ZUSSMAN et al. 1992).

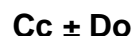


Esses processos podem ter ocorrido nos protólitos das rochas calcissilicáticas da região de Groaíras para a formação dos anfibólios, diopsídio, biotita, epídoto, granada e escapolita, uma vez que estes minerais apresentam-se associados nas paragêneses das rochas.

## 7.2 MÁRMORES

Os mármores da região de Groaíras podem ser puros, contendo apenas carbonato, ou conter impurezas. O mineral que são é freqüentes nos mármores impuros é o clinopiroxênio (diopsídio), a olivina e o outro mineral predominante nessas rochas e o anfibólio não foi observado nessa rocha. Os mármores vão ser divididos em mármores puros, mármores com olivina e mármores com diopsídio. As paragêneses serão mostradas nas alíneas a), b) e c).

a) Mármores puros – Apenas o subgrupo Mármore puro com composição monominerálica de carbonatos que podem ser calcita e dolomita. A paragênese está abaixo:



b) Mármores com olivina – É o Olivina mármore com carbonato, olivina, sendo a mais comum a forsterita, e quartzo em equilíbrio e plagioclásio e titanita podendo ou não ocorrer. A paragênese será escrita abaixo:

**Do + Cc + Fo + Qtz ± Pl ± Ttn**

c) Mármore com diopsídio – É o Diopsídio mármore com Biotita que possui carbonato, diopsídio e plagioclásio em equilíbrio e Biotita, titanita e quartzo podendo ou não estar na paragênese. A paragênese será escrita a seguir:

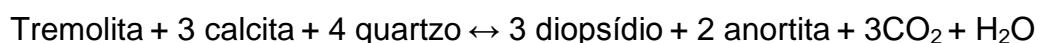
**Di + Cc + Do + Pl ± Flog ± Ttn ± Qtz**

O carbonato dos mármore é calcita e/ou dolomita. De acordo com Zussman et al. (1992) a calcita não se decompõe totalmente nos mármore durante o metamorfismo porque uma quantidade pequena de material sobreposto a esses calcários evitam sua decomposição e liberação de CO<sub>2</sub>. Em calcários impuros ou com muita sílica a reação de descarbonatação pode ocorrer e gerar mármore impuros e rochas calcissilicáticas, respectivamente. Já a dolomita possui uma quantidade considerável de Mg em sua composição e as reações com esse carbonato favorecem uma maior diferenciação mineralógica. Devido a essa característica dos carbonatos a maior quantidade de carbonatos em mármore do que nas rochas calcissilicáticas e anfibolitos.

A olivina comum em rochas metamórficas carbonatadas é a forsterita que é o membro mais magnesiano desta solução sólida e compatível com a composição desses tipos de rocha. De acordo com Yardley (2004) carbonatos com composição dolomítica formam olivina a partir da reação da dolomita com a sílica, conforme reação abaixo e também pode ser formadas de acordo com a reação 17 da Figura 7.1.



O clinopiroxênio dos mármore pertencentes às rochas estudadas da região de Groaíras é o diopsídio. Este é sempre precedido de tremolita a partir da reação entre tremolita, carbonato e sílica conforme a reação abaixo, e também como a reação 5 da Figura 7.1.



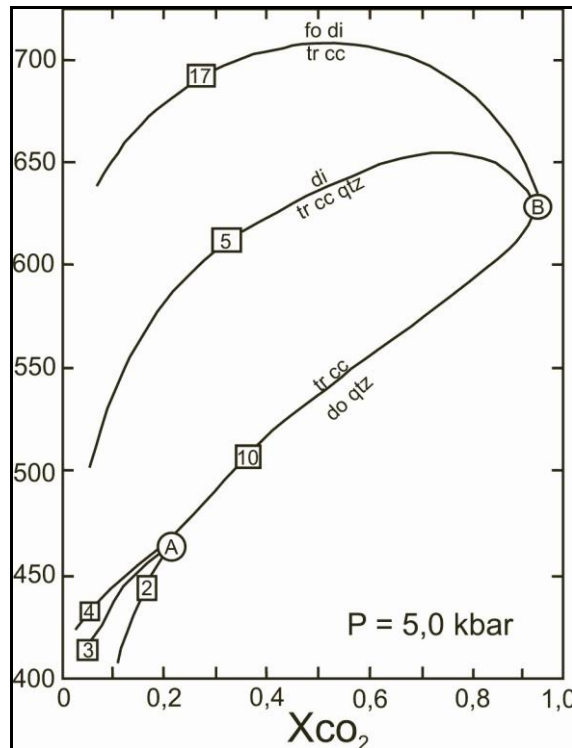


Figura 7.1 – Diagrama isobárico T $X_{CO_2}$  a pressão de 5 kbar, onde se observa reação 5 que define a formação do Diopsídio e na reação 17 a formação de forsterita e diopsídio com o aumento da temperatura no metamorfismo de rochas carbonáticas.

Fonte: Slaughter<sup>2</sup> et al. (1975), citado por Yardley (2004).

### 7.3 CONDIÇÕES METAMÓRFICAS

A discussão do grau metamórfico também se baseou na temperatura de estabilidade dos diferentes minerais e das paragêneses e informações expostas no subitem anterior.

Plagioclásio, biotita, hornblenda, carbonato e diopsídio são minerais que podem ocorrer a uma pressão entre 2 kbar e 5 kbar e a temperatura bastante variável de 380°C até 700°C em rochas calcissilicáticas e carbonáticas. Porém minerais como granada (grossulária), olivina (forsterita) e escapolita não são tão

<sup>2</sup>SLAUGHTER, J et al. Experimental and thermodynamic study of equilibria in system CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. *America Journal of Sciences*, n.275, p. 143-162, 1975.

variáveis assim possuindo uma determinante faixa de temperatura e estabilidade dos mesmos.

A grossulária, a granada dessas rochas, é associada com quartzo (evidenciado nos grupos que ela se encontra onde o quartzo aparece acessoriamente – tabela do anexo C). Sua temperatura de estabilidade nesse caso vai desde 400°C até 600°C a partir daí ela reagiria para formar outras associações mineralógicas compatíveis com a nova temperatura (ZUSSMAN et al. 1992).

A olivina começa a ser estável nas rochas calcissilicáticas e carbonáticas a partir da temperatura de aproximadamente 485°C e pode persistir até 600°C ou 700°C entre as pressões de 2 a 5 kbar ( ver Figura 7.1, reação 17) (YARDLEY 2004).

A escapolita rica em cálcio só é estável a altíssimas temperaturas (>800°C), porém essa é a temperatura da meionita (membro extremo cálcico) o que não é o caso desse mineral na área, já que os extremos da série da escapolita só foram sintetizados em laboratório. Em campo a temperatura que começa a ter teores de cálcio é aproximadamente 630°C e exige uma pressão relativamente alta (>3 kbar) (ZUSSMAN et al. 1992).

Portanto, depois de estabelecida todos esses parâmetros, concluiu-se que o grau metamórfico para as rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos da região de Groaíras e de 600°C a 700°C. A determinação da pressão não fica clara na associação mineral das rochas estudadas, porém a pressão de 5 kbar é estabelecida tanto por possuir minerais compatíveis com esta pressão como baseado na pressão estabelecida no trabalho de Rocha<sup>3</sup> (em preparação) que também estabeleceu uma pressão de 5 kbar devido a presença da sillimanita na associação mineral das demais rochas da área da região de Groaíras.

Esse intervalo compreende a fácies anfibolito. Na figura 8.1 estão plotados os grupos nas faixas da fácies anfibolito estabelecido para a área de estudo.

---

<sup>3</sup> ROCHA, A.V. da S. *Estudo do metamorfismo da região de Groaíras-Cariré – Noroeste da Província Borborema*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia. Belém - Pará. 2011.

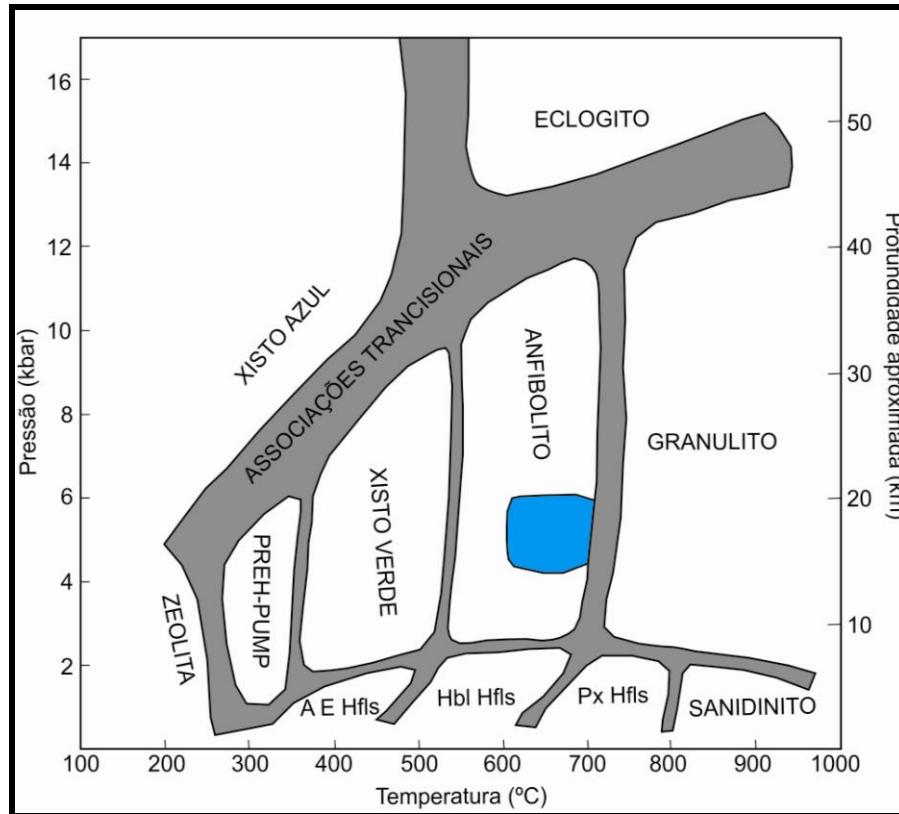


Figura 8.1 – Diagrama P-T mostrando todas as fácies metamórficas. O quadrado azul mostra a faixa que compreende as condições do metamorfismo das rochas calcissilicáticas, carbonáticas e anfibolitos da região de Groaíras.

Fonte: Yardley (2004).

## 8 ORIGEM DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS, CARBONÁTICAS E ANFIBOLITOS DA ÁREA DE ESTUDO

A identificação dos protólitos das rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos da região de Groaíras foi baseado na literatura existente sobre o metamorfismo de rochas calcissilicáticas e carbonáticas, principalmente nos livros de Winkler (1977), Zussman et al. (1992), Winter (2001) e Yardley (2004) e as interpretações foram adequadas as observações microscópicas das lâminas e suas associações minerais.

### 8.1 PROTÓLITOS DAS ROCHAS CALCISSILICÁTICAS E ANFIBOLITOS

Os principais minerais encontrados nas rochas calcissilicáticas e anfibolitos na área de estudo são o plagioclásio, diopsídio, hornblenda, granada, escapolita e biotita. Conforme o capítulo 7 desse relatório as reações metamórficas envolvidas para gerar esses minerais necessitam principalmente de sílica e carbonatos e por vezes  $H_2O$ .

Todos esses minerais são compostos principalmente de Ca, Mg, Fe, Si e Al. A composição do plagioclásio nas rochas estudadas foi labradorita  $An_{56}$ . Para formar essa complexidade de minerais, essa paragênese necessita de uma rocha com teores de carbonato e sílica suficientes para formar todos esses minerais calcissilicáticos.

Um protólito compatível para essas rochas são as margas que possuem de 35 a 60% de silicatos em sua composição, teores significativos de carbonato e sílica que poderiam ser as rochas originais existentes antes do processo metamórfico que originou as rochas calcissilicáticas e os anfibolitos.

## 8.2 PROTÓLITOS DOS MÁRMORES

Os mármore possuem uma quantidade de carbonato muito alta (acima de 50%), a quantidade de sílica não pode ser significativa em seus protólitos a ponto de gerar uma variedade de minerais calcissilicáticos. No campo dos mármore foi reconhecido 3 grupos: mármore puros, olivina-mármore e diopsídio-mármore com biotita.

Para os mármore puros da área de estudo, devido a sua composição monominerálica, foram originados pelo metamorfismo de calcários puros ou de calcários com pouquíssimas impurezas.

Todavia, nos mármore da região de Groaíras foi evidenciada a presença de forsterita e diopsídio em meio aos cristais eudrais de carbonato nos olivina-mármore e diopsídio-mármore com biotita. Esses mármore tiveram como protólito calcários impuros, com quantidade relevante de silicatos e predominância de dolomita como carbonato.

## 9 CONCLUSÃO

As rochas calcissilicáticas e carbonáticas da região de Groaíras-Ce, inseridas dentro do Domínio Ceará Central nas unidades Independência e Canindé do Complexo Ceará foram estudadas com base 48 lâminas petrográficas, adquiridas a partir de três mapeamentos de campo (estágios Groaíras, Cariré e Sobral) e foram divididas em três grandes grupos: rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolito e dentro desses grupos subdivididos em 13 litotipos, 6 grupos petrográficos de rochas calcissilicáticas, 3 grupos petrográficos de mármore e 4 grupos petrográficos de anfibolitos.

A caracterização petrográfica e as posteriores interpretações levantadas a cerca dessas rochas conseguiu aprimorar as informações que se conheciam da região estudada, porém as principais contribuições das informações deste trabalho versaram a cerca da individualização de grupos petrográficos das rochas metacarbonáticas.

Esta caracterização permitiu a melhor individualização de paragêneses e organização de idéias para possíveis processos metamórficos que resultaram nessas rochas metacarbonáticas.

O esclarecimento das associações minerais facilitou a determinação das condições metamórficas a que foram submetidos os protólitos dessas rochas sendo proveniente de um metamorfismo regional englobando as rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos dentro da fácies anfibolito sobre temperatura de 600° a 700°C e pressão de 5 kbar.

A composição mineralógica desses grupos petrográficos também mostrou-se concordante com a mineralogia de protólitos ricos em carbonato, margas para rochas calcissilicáticas, anfibolitos e calcários puros e impuros para mármore, que podem preservar esses carbonatos, no caso dos mármore, ou originar outros minerais calcissilicáticos ou silicáticos com pouco carbonato, no caso das rochas calcissilicáticas e anfibolitos.

Assim a composição diferenciada dessas rochas com carbonato na região de Groaíras gerou uma gama de rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos compondo um mosaico mineralógico complexo na área de estudo.

E por fim, um mapa geológico foi feito a partir da compilação dos dados dos estágios já mencionados acima, foi atualizado com a plotagem das amostras estudadas nessa monografia, além de um mapa de amostragem e constituirmos um acervo bibliográfico sobre as rochas metacarbonáticas da região noroeste da Província Borborema.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F.A.M. et al. *O Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará* In: Congresso Latino Americano de Geologia, 7. Belém, Anais. Belém, SBG. v. 1. 20 – 34 p, 1988.

ALMEIDA, F.F.M. et al. *Províncias estruturais brasileiras*. In: Simpósio Brasileiro de Geologia do Nordeste (SBG/NE). 1977.

BRITO NEVES, B.B.; DOS SANTOS, E.J. 1984 *Província Borborema* - In HASUI, Y. ; ALMEIDA, F.F.M de - *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, São Paulo, 123 – 186 p.

BRITO NEVES, B.B.; DOS SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS W.R. 2000. *Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil*, In CORDANI, U.G; MILANI E.J.; THOMAZ FILHO,A.; CAMPOS, D.A. - *Tectonic Evolution of South America* – In 31st international geological congress, Rio de Janeiro, 151 – 182 p.

BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; FETTER, A. *Noroeste África-Nordeste do Brasil (Província Borborema). Ensaio comparativo e problemas de correlação*. Revista do Instituto de Geociências da USP. São Paulo, v.1, p.59 – 78, 2001.

BRITO NEVES, B.B. et al. *O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas*. Revista Brasileira de Geociências, 25: 279 – 296, 1995.

CABY, R., ARTHAUD, M.H., ARCHANJO C.J. *Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications*. Journal of South American Earth Sciences, 8, 235 – 246, 1995.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, F.E.M. *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. In: Atlas digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará. Geologia, Recursos Minerais, Geoquímica, Geofísica, Geomorfologia e Sistema de Informações Geográficas-SIG. Mapas na escala 1:500.000. MME-CPRM (Serviço Geológico do Brasil), Edição 2003.

DNIT (Departamento Nacional de Infra Estrutura). Mapa Rodoviário do Estado do Ceará. 2002. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/mapas-multimodais/CE.pdf>. Acesso dia 17 de fevereiro de 2011.

FETTER, A. H. *U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of Gondwana*. Tese de Doutorado. University of Kansas, Kansas, EUA. 164 p, 1999.

FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; VAN SCHMUS, W. R. *Geocronologia U/Pb em zircão e Sm/Nd em rocha total do Estado do Ceará – resultados iniciais*. In: SBG, Simposio de Geologia do Nordeste, 16, Recife, Boletim de Resumos, 14: 418 – 422p. 1995.

FETTER, A. H. et al. *U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent “Atlântica”*. In: Revista Brasileira de Geociências 30 (1) :102 – 106, março de 2000.

FETTER, A. H. et al. *Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana*. *Gondwana Research*, v. 6, n 2, 265 – 273 p, 2003.

FETTES, D.; DESMONS, J. (Ed.) *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press. 243 p. 2007.

GORAYEB, P. S. S.; ABREU, F. A. M.; MOURA, C. A. V. *Relações estratigráficas entre o granito Meruoca ea sequência Ubajara - Jaibaras*. In: Cong. Bras. Geol., 35. Belém, 1988. Anais. Belém, SBG. v. 6. 2678 – 2688 p, 1988.

GORAYEB, P. S. S.; LAFON, J. M. *Geocronologia Rb-Sr do Granodiorito Anil-Ce*. In: 16º Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife. Atas 16 Simp. Geol. NE. Recife: SBG. V.1. 274 – 276 p, 1995.

GORAYEB, P. S. S.; LEMOS, R. L.; ABREU, F. A. M. *O granodiorito Anil: caracterização geológica e petrográfica*. In: Cong. Bras. Geol.; 38. Camboriú. Bol. Res. Exp. Camboriú, SBG. v. 1. p.156-158, 1994.

GORAYEB, P. S. S.; TAVARES JR.; S. S.; LAFON, J. M. *Novos dados geocronológicos na região entre forquilha e Santa Quitéria - NW do Ceará*. In: Atas. Recife, Bol. Soc. Bras. Geol. Nuc. Nordeste. v. 12. 260 – 263 p, 1991.

HACKSPACHER, P. C. *Geologia do Grupo Ubajara, Região de Frecheirinha – Ce* In: Cong. Bras. Geol., 35. Belém. Anais. Belém, SBG. v. 6, 1988.

JARDIM DE SÁ, E.F. et al. *Pre-Brasiliano orogenic evolution in the Seridó belt, NE Brazil: conflicting geochronological and structural data*. Revista Brasileira de Geociências 25: 307 – 314 p, 1995.

MARTNS, G. *Litogeoquímica e controles Geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodão-Choró, Ceará*. Tese (Doutorado em Geoquímica)-Universidade Estadual de Campinas, 2000.

MATTOS, I. C. et al. *Geologia e Geocronologia do Stock Granítico Serra do Barriga Sobral/CE*. In: XXII Simpósio de Geologia do Nordeste, 2007, Natal. Boletim de Resumos do XXII Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal - RN: SBG - Núcleo Nordeste. v. 1. 176 – 176 p, 2007.

NASCIMENTO, R. S.; GORAYEB, P. S. S. *Basaltos Da Suíte Parapuí, Gráben Jaibaras, Noroeste do Ceará: Caracterização, Petrografia, Geoquímica e Química Mineral*. Revista Brasileira de Geociências. Volume 34, 2004.

NOVAIS, F.R.G.; NEVES, B.B.B.; KAWASHITA, K. *Reconhecimento cronoestratigráfico na região noroeste do Ceará*. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 9. Natal. Atas. Natal, SBG. 93 – 110 p, 1979.

NEVES, B.B.B. *Regionalização geotectônica do Pré - Cambriano nordestino*. Tese de Doutorado em geologia. IG/USP. 177 p, 1975.

NOGUEIRA NETO, J. A et al. *Idade Neoproterozóica em Granulitos de Carire (NW do Ceará): U/Pb em Titanita e Idade Modelo (TDM) – Resultados iniciais*. In: SBG, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, Pirenópolis, Resumos Expandidos, 101 – 103 p. 1997b.

OLIVEIRA, D. C. *Stratigraphic interplays between igneous and sedimentary events in Early Palaeozoic Jaibaras Trough (Northeast Brazil)*. Revista Brasileira de Geociências, 30 (3) : 423–427, 1999.

OLIVEIRA, D. C. *Reavaliação da evolução tectono-magmática do Graben de Jaibaras (nordeste do Brasil)*. Acta Geologica Hispanica, 36(1/2), 53 – 95 p, 2001.

SANTOS, T.J.S. *Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema*. Curso de Pós Graduação em Geociências. IGCE/UNESP. Tese de doutorado, 186 p, 1999.

SANTOS, T. J. S. et al. *Petrografia e Litogeoquímica Das Rochas do Embasamento Cristalino da Região de Granja – CE*. Revista de Geologia. Vol. 14: 33 – 48 p, 2001.

SANTOS, T. J. S. et al. *Basaltos Da Suíte Parapuí, Gráben Jaibaras, Noroeste do Ceará: Caracterização, Petrografia, Geoquímica e Química Mineral*. Revista Brasileira de Geociências. Volume 34, 2004.

SIAL, A. N. *Petrologia, Geoquímica de elementos maiores, trações, Terras raras e isótopos (Sr, O, H, S) nos batólitos Meruoca e Mocambo, Ceará, Nordeste do Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco. Tese. Departamento de Geologia, Recife, 284p, 1989.

TORQUATO, J. R.; NOGUEIRA NETO, J. A. *Historiografia da região de dobramentos do Médio Coreaú*. Revista Brasileira de Geociências, 26, 303 – 314, 1996.

WINKLER, H.G.F. *Petrogênese das rochas metamórficas*. 4 ed. Ed. Edgard Blucher Ltda. (Tradução BURGER JR, C.), 253 p, 1977.

WINTER, J. D. *Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Department Whitman College, 699p. 2001.

YARDLEY, B.W.D. *Introdução à petrologia metamórfica*. 2 ed. Editora UnB. (Tradução REINHARDT A. F.), 432 p, 2004.

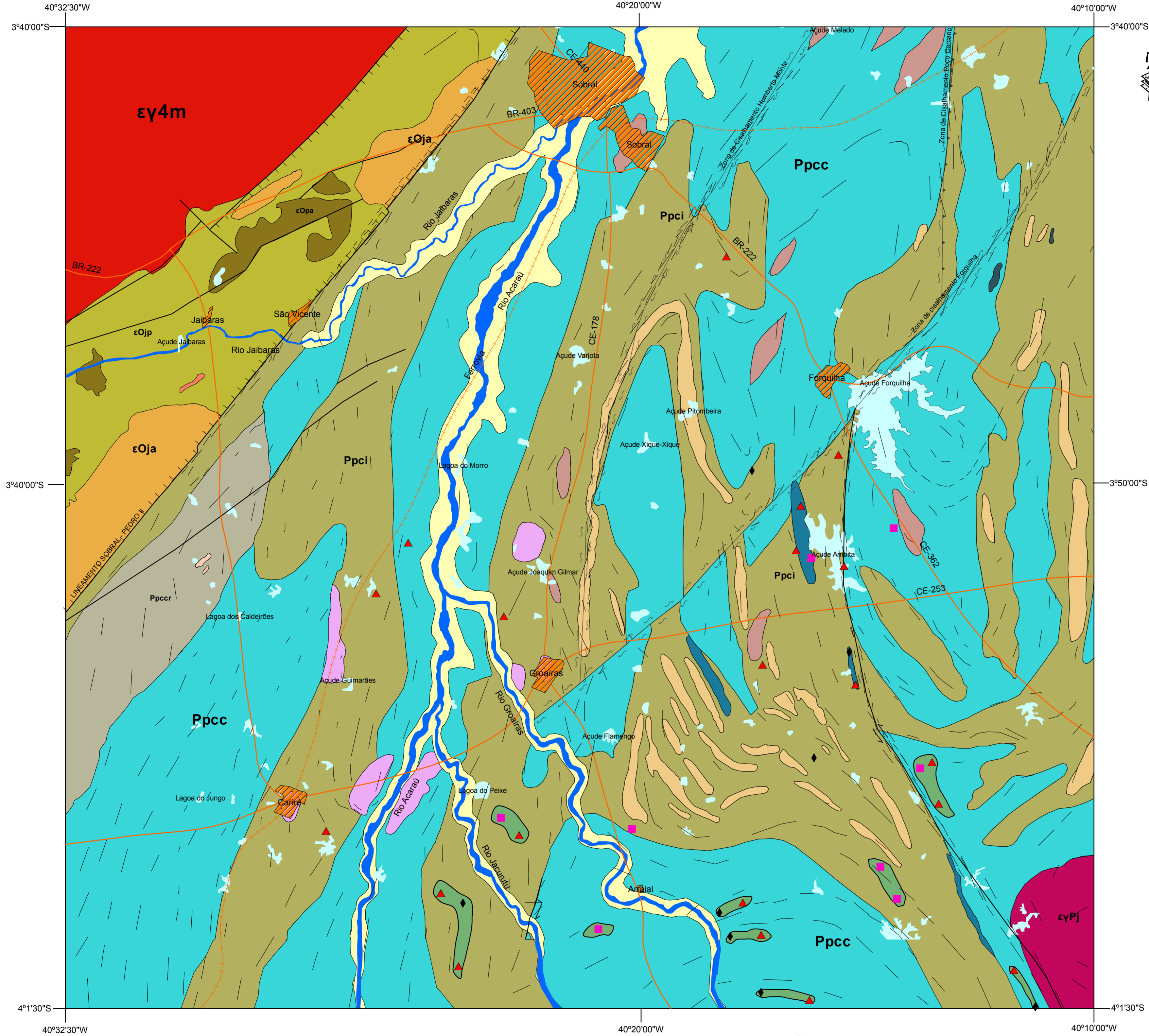
ZUSSMAN, J.; HOWIE, R. A.; DEER, W. A. *Minerais Constituintes de Rochas: Uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian. (Tradução MACEDO, C. A. R.), 725 p, Lisboa, 1992.

<b>ANEXO B</b>			
<b>Lista com as amostras e as coordenadas resgatadas dos estágios de campo II</b>			
<b>Lâmina</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Classificação Petrográfica</b>
EGO-I-25 a	346578	9570800	Ttn-Di calcissilicática
EGO-I-55	342230	9573558	Ttn-Di calcissilicática
EGO-X-68	363899	9563996	Ttn-Di calcissilicática com carbonato
ECA-II-38	342715	9573776	Ttn-Di calcissilicática
ECA-VI-60	344519	9558107	Ttn-Di calcissilicática
EGO-VI-48	358581	9575269	Ttn-Scp-Di calcissilicática com carbonato
EGO-VII-55	360752	9567848	Ttn-Scp-Di calcissilicática
ECA-VI-62	345252	9559433	Ttn-Scp-Px calcissilicática
ECS-VI-11	339846	9581578	Ttn-Scp-Px calcissilicática
EGO-VI-47a	358913	9575017	Prg-Di calcissilicática
EGO-X-81a	363913	9564909	Tr-Di calcissilicática
EGO-VI-45	359332	9575446	Hbl-Grt calcissilicática
EGO-VII-15	356916	9569005	Hbl-Grt calcissilicática
ECA-VI-41	339394	9562137	Hbl-Grt calcissilicática c epidoto
EGO-VI-16	358315	9573849	Di-Grt calcissilicática
EGO-VIII-64	356244	9559223	Di-Grt calcissilicática
ECA-VI-63	345330	9559590	Bt-Prg calcissilicática com escapolita
EGO-IX-22 c	362664	9574440	Mármore microcristalino
EGO-X-82 e	363405	9564665	Mármore
EGO-VI-18	359005	9573908	Di mármore
EGO-VIII-33	362000	9560508	Di mármore milonítico
EGO-VIII-34 b	361799	9560666	Di mármore com biotita
EGO-III-14a	348496	9563326	Ol mármore
EGO-III-14b	348496	9563326	Ol mármore
EGO-III-30	350394	9558148	Ol mármore
EGO-III-30	351753	956202	Ol mármore
EGO-I-71	343261	9578563	Anfibolito
ECA-V-5a	335547	9559512	Anfibolito
ECS-V-44 b	335590	9579196	Anfibolito
ECS-V-47	335746	9577021	Anfibolito milonítico
EGO-VI-51	356612	9576689	Grt anfibolito
EGO-VII-02	360337	9569429	Di anfibolito
EGO-VII-31 d	359115	9565078	Di anfibolito com escapolita
EGO-VIII-2	355042	9558686	Di anfibolito
EGO-VIII-4	355729	9557855	Di anfibolito
ECA-VI-61	344921	9559208	Grt-Di anfibolito com escapolita








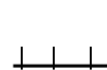
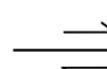
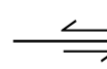


**ANEXO C**

**Tabela petrográfica utilizada durante a etapa de caracterização petrográfica**




<b>Lâmina</b>	<b>Classificação petrográfica</b>	<b>Textura</b>	<b>Mineralogia</b>
EGO-I-05	Ttn-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Ep/Qtz/Kfs
EGO-I-25 a	Ttn-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Ep/Zrn
EGO-I-55	Ttn-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Pl/Ep/Zrn/Opcs/Ttn
EGO-III-23	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Scp/Qtz/Pl/Mc
EGO-III-36	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Qtz/ms
EGO-VIII-22	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Ttn/Scp
EGO-X-68	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Ttn/Qtz/Mc/Cb/Ep
ECA-II-38	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Pl/Qtz/Ep/Ttn/Scp
ECA-VI-60	Ttn-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Pl/Qtz/Ttn/Bt
EGO-II-81	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Pl/Ep/Scp/Ap/Ttn/Qtz
EGO-II-85a	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Pl/Ep/Scp/Ap/Ttn/Qtz
EGO-III-19	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Scp/Cb/Qtz
EGO-VI-48	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Scp/Cb/Ttn/Qtz/Pl
EGO-VII-55	Ttn-Scp-Di calcissilicática		Di/Pl/Ttn/Scp/Cb
EGO-VIII-62 c	Ttn-Scp-Di calcissilicática		Di/Scp/Pl/Kfs
EGO-XI-25	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Pl/Ttn/Qtz/Scp/Kfs
ECA-VI-62	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Scp/Kfs/Qtz/Ttn/Pl
ECS-VI-11	Ttn-Scp-Di calcissilicática	Granoblástica	Di/Pl/Scp/Qtz/Ttn/Opcs
EGO-IV-93b	Di-Hbl calcissilicática	Granoblástica	Hbl/Di/Scp/Qtz/Ttn/Zrn/Pl
EGO-VI-47a	Prg-Di calcissilicática	Nematoblástica	Di/Pl/Prg
EGO-X-81a	Tr-Di calcissilicática	Granoblástica	Tr/Di/Ttn/Cb/Bt/cl
EGO-V-19	Hbl-Grt calcissilicática		Grt/Hbl/PL/Scp/Mc/Cb/Ttn/Ep
EGO-VI-45	Hbl-Grt calcissilicática	Nematoblástica	Grt/Hbl/Pl/Ttn/Qtz/Di
EGO-VII-15	Hbl-Grt calcissilicática	Granoblástica	Grt/Hbl/Pl/Di/
ECA-VI-41	Hbl-Grt calcissilicática	Granoblástica	Grt/Hbl/Pl/Qtz/Ttn/Ap/Ep
EGO-VI-16	Di-Grt calcissilicática	Poiq	Grt/Di/Pl/Opcs/Ttn
EGO-VIII-64	Di-Grt calcissilicática	Granoblástica	Grt/Di/Pl/Ap/Ttn/Ep/Qtz
ECA-VI-63	Bt-Prg calcissilicática	Granoblástica	Pl/Prg/Scp/Qtz/Bt
EGO-V-49	Mármore	Granoblástica	Cb
EGO-IX-22 c	Mármore microcristalino		Cb
EGO-X-82 e	Mármore	Granoblástica	Cb
EGO-III-14a	Ol mármore	Granoblástica	Cb/Ol/Ap/Pl/Opcs/Pl/Ttn
EGO-III-14b	Ol mármore	Granoblástica	Cb/Ol/Ap/Pl/Opcs/Pl
EGO-III-30	Ol mármore	Granoblástica	Cb/Ol/Ap/Di/Opcs
EGO-III-82	Ol mármore	Granoblástica	Cb/Qtz/Ol/Opcs
EGO-VI-18	Di mármore	Granoblástica	Cb/Di
EGO-VIII-33	Di mármore milonítico	Milonítica	Di/Cb/Ttn/mosTrar Hbl
EGO-VIII-34 b	Di-Bt mármore		Pl/Qtz/Bt/Di/Cb
EGO-VI-51	Grt anfibolito	Granoblástica	Hbl/Pl/Grt/Opcs/Qtz
EGO-V-61	Di anfibolito	Granoblástica	Hbl/Di/Pl/Qtz
EGO-VII-02	Di anfibolito	Nematoblástica	Hbl/Pl/Pl
EGO-VII-31 d	Di anfibolito	Nematoblástica	Hbl/Pl/Ttn/Ap/Qtz/Di
EGO-VIII-2	Di anfibolito		Hbl/Di/Pl
EGO-VIII-4	Di anfibolito	Granoblástica	Hbl/Pl/Qtz/Di
EGO-XI-76	Di calcissilicática		Hbl/Di/Pl/Ttn/Ap
EGO-VIII-47	Grt-Di anfibolito	Granoblástica	Grt/Di/Hbl/Pl/Ttn
ECA-VI-61	Grt-Di anfibolito	Nematoblástica	Pl/Qtz/Grt/Ep/Di/Hbl
ECS-III-26	Bt anfibolito com grt	Nematoblástica	Hbl/Qtz/Pl/Grt/Bt



Cenozóico		Quaternário	Depósitos aluvionares: argilas, areias argilosas, quartzozas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não.
FANEROZÓICO	Paleozóico	εOja	Formação Aprazível: Ortoconglomerados grossos polimiticos, com matriz arcossiana e, normalmente sem acamamento εOja).
		εy4m	Suites intrusiva Meruoca: álcali-feldspato granito granodioritos e monzogranitos (Granitos Meruoca εy4m; Granito Pajé εyPj).
		εOpa	Suíte Parapui constituída de basaltos, traqui-basaltos rochas vulcanoclásticas e piroclásticas.
		εOjp	Grupo Jaibaras - Formação Pacujá: arenito arcoseano, arenito lítico, folhelhos e siltitos vermelhos;
PROTEROZÓICO	Paleoproterozóico	Ppcc	Complexo Ceará - Unidade Canindé (Ppcc): Ortognaisses quartzo-feldspáticos, em parte migmatizados, incluindo ortognaisses (Ppcog) de composição granodiorítica a tonalítica; Unidade Independência (Ppci): paragnaisses, micaxistos, com lentes de calcissilicáticas (Ppccs); quartzitos (Ppcqtz); anfíbolitos (Ppcanf) e mármores (Ppcm); Unidade Cariré: Enderbitos, granulitos máficos e leptinitos (Ppccr).
		Ppcc	
		Ppcc	
		Ppcc	
		Ppcc	
		Ppcc	

-  FERROVIA
-  ESTRADAS
-  CIDADES
-  AÇUDES
-  DRENAGEM PRINCIPAL
-  TRENDS DE FOLIAÇÃO
-  FALHA OU FRATURA
-  FALHA OU ZONA DE CISALHAMENTO EXTENSIONAL
-  FALHA OU ZONA DE CISALHAMENTO DEXTRAL
-  FALHA OU ZONA DE CISALHAMENTO SINISTRAL
-  ZONA DE CISALHAMENTO COMPRESSIONAL
-  ZONA DE CISALHAMENTO TRANSCORRENTE DEXTRAL

**ROCHAS ESTUDADAS**

-  ROCHAS CALCISSILICÁTICAS
-  MÁRMORES
-  ANFÍBOLITOS

Autoria: Ana Claudia Sodré Araújo.

Base cartográfica e geológica compilada e modificado do acervo dos estágios de campo II (Groaíras, Cariré e Sobral) cedida pelo laboratório GeoCart.

ESCALA 1:100.000  
 2 1 0 2 km  
 Declinação magnética do centro da folha 1969: 20° 02'  
 Cresce 5,5' anualmente  
 Datum horizontal: WGS84  
 2011

