



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**JÉSSICA PATRÍCIA CAPISTRANO LINS**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE PARTE DAS UNIDADES CANINDÉ E  
INDEPENDÊNCIA NO DISTRITO DE MANOEL PEREIRA, MUNICÍPIO DE  
CANINDÉ - CE**

**FORTALEZA**

**2016**

**JÉSSICA PATRÍCIA CAPISTRANO LINS**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE PARTE DAS UNIDADES CANINDÉ E  
INDEPENDÊNCIA NO DISTRITO DE MANOEL PEREIRA, MUNICÍPIO DE  
CANINDÉ – CE**

Relatório de graduação apresentado ao curso de Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida.

**FORTALEZA**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L731m Lins, Jéssica Patrícia Capistrano.  
Mapeamento geológico de parte das unidades Canindé e independência no distrito de Manoel Pereira, município de Canindé - CE / Jéssica Patrícia Capistrano Lins. – 2016.  
80 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geografia, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida.

1. Complexo Ceará. 2. Unidade Canindé. 3. Unidade Independência. I. Título.

CDD 910

---

**JÉSSICA PATRÍCIA CAPISTRANO LINS**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE PARTE DAS UNIDADES CANINDÉ E  
INDEPENDÊNCIA NO DISTRITO DE MANOEL PEREIRA, MUNICÍPIO DE  
CANINDÉ – CE**

Relatório de graduação apresentado ao curso de Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Geólogo.

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Christiano Magini

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Irani Clezar Mattos

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus,

Aos meus pais, irmã, família e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo.

Ao meus pais, meus maiores exemplos de pessoa, por todo o amor e incentivo que me dão a cada dia.

A minha irmãzinha (Quinha), minha companheira por toda a vida, com sua incrível paciência e carinho.

Ao Jeziel (vidinha) que sempre esteve ao meu lado, me apoiando em tudo e me mostrando como a vida realmente é. Ao seu amor, sua paciência e sabedoria para me acalmar nos momentos difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida por ter me aceitado como orientanda e ter dedicado seu tempo a este trabalho.

Aos amigos que me ajudaram durante esta etapa, Charles, Marcos Paulo, Tomaz, Mateus, Pedro Ângelo e Xikin.

Aos amigos adquiridos durante o curso, pelos momentos de diversão em sala de aula e principalmente em viagens de campo.

E por fim, aos membros da banca examinadora deste relatório de graduação, por aceitarem o convite e contribuir com críticas e sugestões para o melhoramento do trabalho.

## RESUMO

Este trabalho trata do mapeamento geológico realizado em escala de 1:25.000, em uma área de 54 km<sup>2</sup>, a sudoeste da cidade de Canindé, no distrito de Manoel Pereira, sertão Central do Estado do Ceará. Tem como objetivo a confecção de um mapa geológico, um detalhamento macroscópico e microscópico, definição de ambiente tectônico e evolução geológica. Foram reconhecidas duas unidades litoestratigráficas pertencentes ao Complexo Ceará: as Unidades Canindé e Independência, indubitavelmente metamórficas, portadoras de feições migmatíticas. A Unidade Independência é composta por anfibolitos, metatexitos a anfibólio e calcissilicáticas, onde os anfibolitos são formados a partir do metassomatismo de mármore. A fusão parcial subsequente destes anfibolitos resultou na formação de anfibolitos, metatexitos a anfibólio e calcissilicáticas. A Unidade Canindé compõe a maior parte da área e está formada por xistos, metatexitos a biotita, leucogranitos e milonitos (leucogranitos e metatexitos). A fusão parcial de xistos produziu metatexitos a biotita, diatexitos e leucogranitos. Foram identificados quatro padrões de foliação  $S_n$ ,  $S_{n-1}$ , e  $S_{n+1}$ , sendo  $S_n$  a principal, marcada por um bandamento migmatítico que possui trend N-S com mergulhos variáveis de 40 a 80°, geralmente para leste. Milonitos marcam a existência de uma zona de cisalhamento dúctil, direção N-S, provavelmente a continuidade da Zona de Cisalhamento Paramoti. Estes milonitos exibem  $L_x$  variando de 30 a 80° e sentido de caimento concordante com o sentido de mergulho da foliação. Estes valores de  $L_x$  sugerem uma zona de cisalhamento dúctil de transcorrência (dextral) com forte componente de empurrão, caracterizada por um movimento de transpressão com sentido de transporte tectônico para sudoeste. Silexitos, pegmatitos e basaltos ocorrem como corpos tardios cortando as demais litologias, onde os basaltos pertencem ao Magmatismo Ceará Mirim. A anatexia generalizada sugere um metamorfismo regional com pico metamórfico no fácies Anfibolito alto a Granulito, com temperaturas variando de 650 a 850°C e pressões que variam de 4 a 12 kbar. A região é interpretada como uma plataforma continental, formada pela intercalação de rochas areníticas, argilosas e carbonáticas, onde as porções argilosas são representadas por xistos e metatexitos a biotita. Apesar de não se dispor de dados geocronológicos, a ausência de deformação nos leucossomas dos migmatitos sugerem uma idade Neoproterozóica para o metamorfismo destas rochas.

**Palavras-Chaves:** Complexo Ceará, Unidade Canindé, Unidade Independência.

## ABSTRACT

This work deals with the geological mapping conducted in scale of 1: 25,000 in an area of 54 km<sup>2</sup>, southwest of the town of Caninde, in the district of Manoel Pereira, backwoods of Ceará State Central. It aims at making a geological map, one macroscopic and microscopic petrographic detailing, definition of tectonic setting and geological evolution. Two lithostratigraphic units belonging to the Ceará Complex were recognized: the Caninde Units and Independence undoubtedly metamorphic, carrying migmatitic features. The Independence Unit consists of amphibolites, metatexitos the amphibole and calcissilicáticas where anfibolititos are formed from the metasomatism of marbles. The subsequent partial melting of these anfibolititos resulted in amphibolites training and metatexitos the amphibole in the latter case leaving calcissilicáticas as restitos. The Caninde Unit makes up most of the area and is made up of schists, metatexitos biotite, leucogranite and mylonite (leucogranite and metatexitos). The partial melting of biotite schists produced the metatexitos, diatexitos and leucogranite. Four patterns of foliation  $S_n$ ,  $S_{n-1}$  and  $S_{n+1}$  were identified, and the main  $S_n$ , characterized by a banding migmatitic having N-S trend variable dips from 40 to 80 °, generally east. Mylonites mark the existence of a ductile shear zone, the direction N-S, probably the continuity of Paramoti shear zone. These mylonite exhibit  $L_x$  ranging from 30 to 80 ° and sense of trim consistent with the direction of dip of the foliation.  $L_x$  these values suggest a ductile shear zone characterized by a transcurrent movement (dextral) with a strong push component with tectonic transport direction southwest. Silexitos, pegmatites and basalts occur as late bodies cutting other lithologies, where basalts belong to Magmatism Ceará Mirim. The general anatexia suggests a regional metamorphic metamorphic peak with the highest amphibolite and granulite facies with temperatures ranging from 650 to 850 ° C and pressures ranging from 4 to 12 kbar. The region is interpreted as a continental shelf, formed by the merging of sandstone, clay and carbonate rocks, where the portions are represented by argillaceous schists and biotite metatexitos. Although not have geochronological data, the absence of deformation in leucossomas of migmatites suggest a Neoproterozoic age for the metamorphism these rocks.

**Keywords:** Ceará Complex, Canindé Unit, Independence Unit.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – a) Localização da área no Brasil; b) Localização da área no estado do Ceará; c) Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 3.1 - Vegetação rasteira com aparecimento eventual de vegetação de maior porte, ocorrendo ao longo de rios e lagos os quais favorecem seu crescimento.....	21
Figura 3.2 – Vegetação mais seca ao longo de estradas, devido à falta de pluviosidade.....	22
Figura 3.3 – Solo avermelhado relacionados aos anfibólitos, exposto ao longo de cortes de estradas.....	22
Figura 3.4 – Planaltos com altitude média de 320 metros.....	23
Figura 3.5 – Rio de pequena extensão, com pouca água devido à falta de pluviosidade.....	24
Figura 4.1 – Reconstrução de parte do Gondwana Oeste.....	26
Figura 4.2 – Província Borborema. As zonas de cisalhamento são representadas por: Pernambuco e Patos, traços em preto, separando os três setores; os menores, traços em azul, separam os domínios.....	28
Figura 4.3 – Domínio Ceará Central. Limitados pelas Zonas de Cisalhamentos Sobral Pedro II e Senador Pompeu.....	29
Figura 4.4 – Parte do mapa geológico do Ceará. Compreende as Unidades Independência (cinza) e Canindé (azul) Complexo Ceará, as quais fazem parte do Complexo Ceará.....	32
Figura 5.1 – Principal modo de ocorrência do metatexito a biotita, em forma de lajedado.....	36
Figura 5.2 – a) Afloramento de metatexito a biotita na forma de blocos, tipo de afloramento menos encontrado; b) Estrutura predominante do tipo estromático (Mehnert, 1968).....	36
Figura 5.3 – a) Metatexito a biotita alterado com cristais de granada dispersos; b) Amostra de mão exibindo a granulação média da rocha.....	36
Figura 5.4 – a) Lâmina de metatexito a biotita sob luz polarizada; b) Inclusão de opacos em biotitas.....	37

Figura 5.5 – Formação de k-feldspato a partir da reação de muscovita com sílica. Plagioclásio exibindo geminações segundo leis da Albita e Periclínio.....	38
Figura 5.6 – a) Afloramento na forma de lajedo, principal modo de ocorrência do metatexito a anfibólio, estrutura do tipo estromática com variação para schollen (Mehnert, 1968). b) Detalhe da figura anterior.....	39
Figura 5.7 – a) Afloramento intemperizado cortado por dique de pegmatito; b) Granulação média da rocha.....	39
Figura 5.8 – Metatexito em bloco, forma de menor ocorrência, próximo a blocos de anfibolitos, seus prováveis protólitos.....	40
Figura 5.9 – Metatexito a anfibólio com mineralogia essencial presente.....	41
Figura 5.10 – a) Antipertitas em lâmina de metatexito a anfibólio com grãos subdioblásticos; b) Cristais de anfibólio e biotita subdiomórficos sob luz natural.....	42
Figura 5.11 – Afloramento na forma de lajedo.....	43
Figura 5.12 – Detalhe de afloramento de diatexito, exibindo coloração cinza e granulação média.....	43
Figura 5.13 – Anfibolito compondo o mesossoma do metatexito a anfibólio.....	44
Figura 5.14 – Blocos de anfibolito formando um domo com aproximadamente 20 metros na porção NW.....	45
Figura 5.15 – Leucossomas plagioclásicos em bloco de anfibolito.....	45
Figura 5.16 – Anfibolito com mineralogia essencial composta por anfibólio e plagioclásio, textura nematoblástica e presença de granada.....	46
Figura 5.17 – a) Detalhe da figura 5.16, exibindo granada com coroa de plagioclásio sob luz natural; b) Cristais lamelares de flogopita em meio a anfibólios sob luz polarizada.....	47
Figura 5.18 – a) Amostra de mão exibindo granulação média; b) Epidotização presente na rocha.....	48
Figura 5.19 – Rocha calcissilicática em afloramento na forma de lajedo.....	48

Figura 5.20 – Afloramento de xisto em corte de estrada.....	49
Figura 5.21 – Amostra de mão de xisto composto por biotita, muscovita, granada, quartzo e plagioclásio.....	49
Figura 5.22 – Grafita compondo ao xisto em corte de estrada.....	50
Figura 5.23 – Leucogranito intercalado com xisto na forma de sítios de dilatação.....	50
Figura 5.24 – Leucogranito fraturado em afloramento na forma de lajedo.....	51
Figura 5.25 – Dique de leucogranito em metatexito.....	51
Figura 5.26 – Cristais de k-feldspato com geminação polissintética em duas direções em meio a plagioclásio, biota e quartzo.....	52
Figura 5.27 – Lamelas de muscovita provenientes da desestabilização da biotita, em meio a plagioclásio e k-feldspatos.....	53
Figura 5.28 – Amostra de mão de silexito.....	53
Figura 5.29 – Pegmatito intrecalado no metatexito, acompanhando sua foliação.....	54
Figura 5.30 – Pegmatito cortando afloramento de anfíbólito.....	54
Figura 5.31 – Crescimento radial e acicular de plagioclásios.....	56
Figura 5.32 – Amígdala preenchida por calcita e calcedônia.....	56
Figura 5.33 – Gráfico exibindo a composição do anfibólio.....	58
Figura 5.34 – Bandamento migmatítico em metatexito a anfibólio, orientado seguindo o trend regional.....	60
Figura 5.35 – a) Diagrama para pólo dos planos de foliação com concentração máxima de pólos na porção oeste; b) Diagrama de roseta com sentido de mergulho da foliação preferencialmente para leste.....	60
Figura 5.36 – Leucogranito milonítico com cristais de quartzo e k-feldspato estirados.....	61

Figura 5.37 – Diagrama de roseta com sentido de caimento do estiramento mineral para leste com variações para NE.....	62
Figura 5.38 – Diagrama de roseta com direções variadas de fraturas.....	63
Figura 5.39 – Metatexito com fratura extensional preenchida por material pegmatítico.....	64
Figura 5.40 – a) Diagrama de roseta para fraturas mostrando as fraturas extensionais com direção L-W; b) Diagrama de roseta exibindo pares ordenados de fraturas.....	64
Figura 5.41- Grade petrogenética para metassedimentos pelíticos. A curva da muscovita (em vermelho) representa os limites para que a muscovita reaja com quartzo para a geração do k-feldspato.....	65
Figura 5.42 – Formação de k-feldspato a partir da reação da muscovita com o quartzo.....	67
Figura 5.43 – Textura simplectítica, crescimento de plagioclásio no anfibólio.....	68
Figura 5.44 – Metatexito a anfibólio exibindo mesossoma composto por anfibólito e leucossoma formado por plagioclásio.....	69
Figura 5.45 – Leucogranito intercalado com xisto na forma de sítios de dilatação.....	70
Figura 5.46 – Gráfico de Fácies Metamórficas evidenciando os fácies que ocorrem na área de estudo.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Coordenadas UTM da área pesquisada.....	18
Tabela 5.1 – Tabela de resultado do MEV para anfibólio.....	57
Tabela 5.2 – Tabela de resultado do MEV para opacos, correspondente a hematita.....	58
Tabela 5.3 – Tabela de resultado do MEV para opacos, correspondente a siderita.....	59
Tabela 5.4 - Coluna litoestratigráfica.....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 Apresentação .....	17
1.2 Objetivos .....	17
1.3 Localização.....	17
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 Etapa Inicial.....	19
2.2 Etapa de Campo .....	19
2.3 Etapa Final.....	19
<b>3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Clima .....	20
3.2 Vegetação .....	20
3.3 Solo.....	21
3.4 Relevo.....	23
3.5 Hidrografia .....	24
3.6 Aspectos Sócio Econômicos .....	24
<b>4 GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>26</b>
4.1 Província Borborema.....	26
<b>4.1.1 Domínio Ceará Central.....</b>	<b>28</b>
4.1.1.1 <i>Embasamento Policíclico.....</i>	<i>29</i>

4.1.1.2	<i>Supracrustais proterozóicas</i> .....	30
4.1.1.3	<i>Complexo ígneo-anatético</i> .....	30
4.1.1.4	<i>Granitogênese pós-colisional</i> .....	30
4.1.1.5	<i>Bacias tardi-brasilianas</i> .....	31
<b>4.1.2</b>	<b>Complexo Ceará</b> .....	<b>31</b>
4.1.2.1	<i>Unidade Independência</i> .....	33
4.1.2.2	<i>Unidade Canindé</i> .....	33
<b>5</b>	<b>GEOLOGIA LOCAL</b> .....	<b>34</b>
5.1	Petrografia .....	34
<b>5.1.1</b>	<b>Migmatitos</b> .....	<b>34</b>
5.1.1.1	<i>Metatexitos</i> .....	34
5.1.1.1.1	<i>Metatexitos a biotita</i> .....	35
5.1.1.1.2	<i>Metatexitos a anfibólio</i> .....	38
5.1.1.2	<i>Diatexitos a biotita</i> .....	42
<b>5.1.2</b>	<b>Anfibolitos</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Rochas Calcissilicáticas</b> .....	<b>47</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Xistos</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Leucogranitos</b> .....	<b>50</b>
<b>5.1.6</b>	<b>Silexitos</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1.7</b>	<b>Pegmatitos</b> .....	<b>54</b>

<b>5.1.8</b>	<b>Magmatismo Ceará-Mirim</b> .....	55
5.1.8.1	<i>Basaltos</i> .....	55
5.2	Química mineral .....	57
5.2.1	<b>Anfibólio</b> .....	57
5.2.2	<b>Minerais Opacos</b> .....	58
5.3	Geologia Estrutural .....	59
5.3.1	<b>Feições Dúcteis</b> .....	59
5.3.1.1	<i>Foliações</i> .....	59
5.3.1.2	<i>Lineações de estiramento</i> .....	61
5.3.1.3	<i>Zona de Cisalhamento Dúctil</i> .....	62
5.3.2	<b>Feições Rúpteis</b> .....	62
5.3.2.1	<i>Faturas</i> .....	62
5.4	Metamorfismo .....	64
5.4.1	<b>Xisto</b> .....	65
5.4.2	<b>Grafita</b> .....	66
5.4.3	<b>Metatexito a biotita</b> .....	66
5.4.4	<b>Anfibolito</b> .....	67
5.4.5	<b>Metatexito a anfibólio</b> .....	68
5.4.6	<b>Rocha Calcissilicática</b> .....	69
5.4.7	<b>Leucogranito</b> .....	69

5.5	Litoestratigrafia .....	71
<b>6</b>	<b>RECURSOS ECONÔMICOS .....</b>	<b>73</b>
6.1	Pegmatitos .....	73
6.2	Silexitos .....	73
6.3	Grafita.....	73
<b>7</b>	<b>EVOLUÇÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O presente trabalho trata do mapeamento geológico em uma área de 54 Km<sup>2</sup> (6 x 9 Km) inserida na Quadrícula Manoel Pereira, distante cerca de 10 Km a sudoeste da cidade de Canindé, sertão Central do Estado do Ceará. O mapeamento foi realizado através da descrição das litologias e feições estruturais, juntamente com as interpretações das unidades litológicas observadas e descritas em campo e no contexto das paragêneses minerais, visando a melhor compreensão do contexto geológico da região. As rochas mapeadas fazem parte do Complexo Ceará que é subdividido em duas unidades principais, Unidade Canindé e Unidade Independência (Cavalcante *et all* 2003).

## 1.2 Objetivos

O trabalho teve como finalidade a execução de um mapeamento geológico na escala de 1:25.000 nas unidades Canindé e Independência – Complexo Ceará (Cavalcante *et all* 2003). Objetivando a confecção de um mapa geológico, um detalhamento petrográfico macroscópico e microscópico, definição de ambiente tectônico e evolução geológica.

## 1.3 Localização

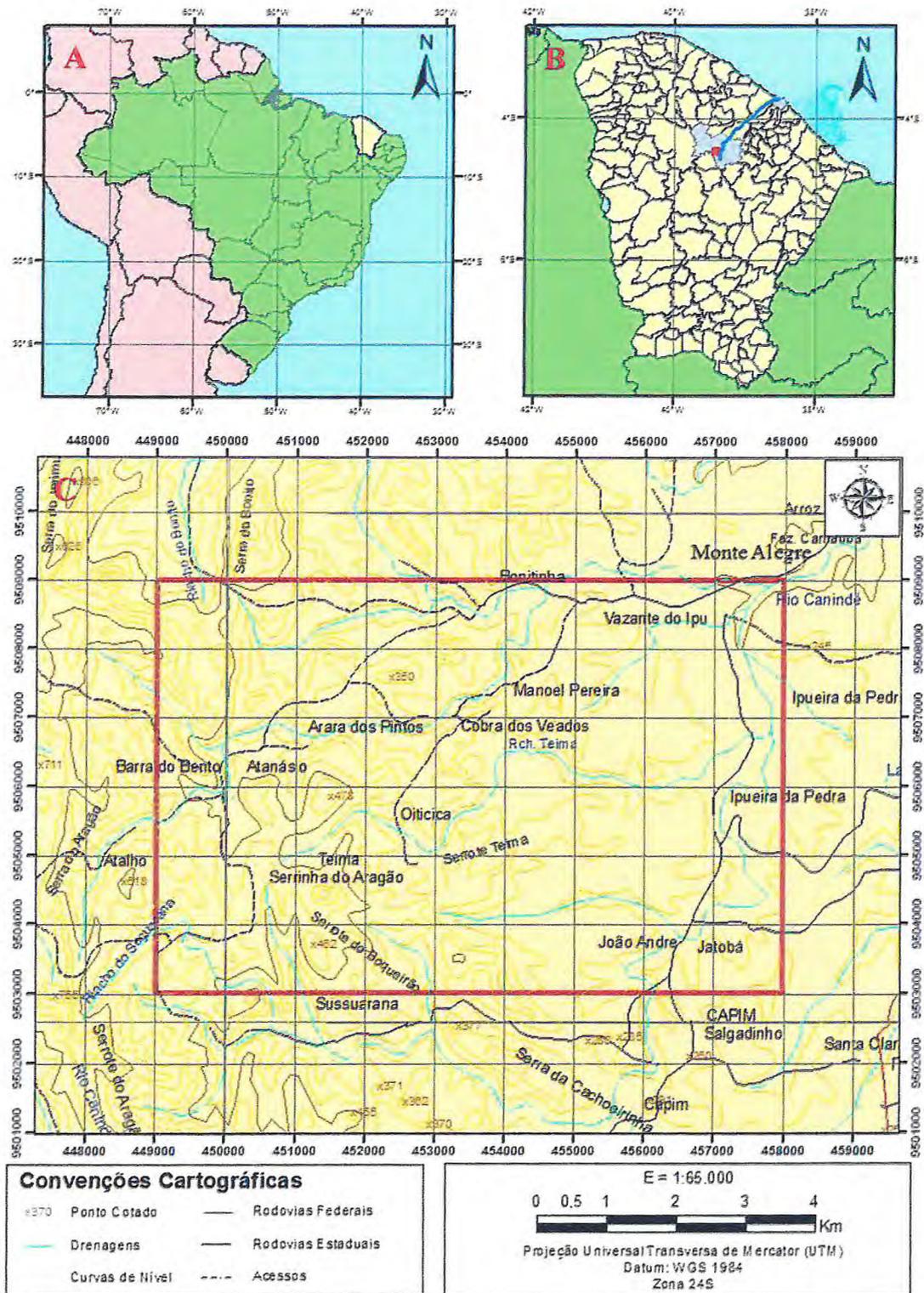
A área de estudo (Figura 1.1) está localizada entre os municípios de Canindé e Itaitira, norte do Estado do Ceará, mais precisamente no Distrito de Manoel Pereira, 10 Km a Sudoeste da zona urbana do município de Canindé, distante cerca de 100 Km ao sul de Fortaleza - CE, totalizando uma área de 54 Km<sup>2</sup>, tendo como acesso principal a BR-020 e estradas carroçiais como acessos secundários.

Tabela 2.1 - Coordenadas UTM da área pesquisada.

Vértices	Longitude	Latitude
1	449000	9509000
2	458000	9509000
3	449000	9503000
4	458000	9503000

Fonte: A autora.

Figura 2.1 – a) Localização da área no Brasil; b) Localização da área no estado do Ceará; c) Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: A autora.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Etapa Inicial**

Nesta etapa foram realizadas pesquisas bibliográficas, objetivando o maior número de referências possíveis que fornecessem informações importantes a respeito da área mapeada. Foi adquirida as folhas da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) para região de Canindé, a qual foi usada para compor o mapa pré-campo feito no software *ARCGIS 10.2*.

### **2.2 Etapa de Campo**

Na etapa de campo se iniciou a visita aos afloramentos buscando analisar as litologias e seus contatos, composição mineralógica das rochas, feições estruturais, tendo auxílio de materiais como martelo geológico, marreta, bússola, GPS e caderneta de campo. Ainda nesta etapa foram coletadas 20 amostras dos afloramentos para a elaboração de 20 lâminas delgadas e realização de 2 análises químicas.

### **2.3 Etapa Final**

Após a coletas das amostras de campo, foram feitas lâminas para estudos microscópicos petrográficos e análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A incorporação dos dados obtidos e a representação dos elementos estudados em campo, permitiu a elaboração de um mapa de pontos e um mapa geológico na escala 1:25.000, os quais foram realizados no software *ARCGIS 10.2*. A partir do mapa geológico foi confeccionado um perfil geológico, de mesma escala, feito no software *AUTOCAD*. Dados estruturais obtidos em campo foram interpretados no software *STEREONET* através da construção de gráficos e diagramas. A junção de todos os dados proporcionou a elaboração deste relatório.

### **3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS**

#### **3.1 Clima**

O clima da região é predominantemente tropical quente seco, típico das regiões de caatinga, pode ser observado através da ocorrência de dois períodos climáticos bem definidos, sendo um curto período chuvoso e um seco de maior duração. Geralmente esse quadro chuvoso persiste apenas por três ou quatro meses, podendo haver períodos de pouca ou nenhuma precipitação pluviométrica, que é controlada pela ação de ventos alísios, de maneira a causar uma consequente falta de recursos naturais tanto para o homem quanto para os animais. Estas condições fazem com que a pluviosidade média na região de Canindé chegue a atingir 756,9 mm/ano e um regime térmico de temperaturas elevadas, variando entre 24 e 32°C, o que evidencia a possibilidade de alta amplitudes térmicas durante o período chuvoso, nos quais as precipitações pluviométricas são muito concentradas e as temperaturas se apresentam bastante irregulares. Em seguida encontramos o Clima Tropical Quente a Semi-árido Brando, que possui as mesmas características, variando apenas a umidade do ar.

#### **3.2 Vegetação**

A vegetação presente na região é do tipo caatinga arbustiva aberta (Figura 3.2 e 3.1), caatinga arbustiva densa e floresta subcaducifolia tropical pluvial (FUNCEME/IPECE – 2009). Típica do semiárido brasileiro, consiste de uma formação vegetal resistente a períodos de estiagem prolongados, composta por arbustos e árvores com espinho. A vegetação de caatinga é constituída, especialmente, de espécies arbustivas e arbóreas de pequeno porte, geralmente dotadas de espinhos, sendo, caducifólias, em sua maioria, perdendo suas folhas no início da estação seca. O substrato pode ser composto de cactáceas, bromeliáceas, havendo, ainda um componente herbáceo de pouca significância, formado por gramíneas, herbáceas, predominantemente anuais.

Essa cobertura vegetal é influenciada pelo clima, em época de chuvas elas são bem marcadas e verdes, com aspectos de médio porte, enquanto que na seca se comportam com aspectos arbustivos e sem cor. São mais frequentes nas proximidades das drenagens e circundando maciços.

*Figura 3.1 - Vegetação rasteira com aparecimento eventual de vegetação de maior porte, ocorrendo ao longo de rios e lagos os quais favorecem seu crescimento.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 3.2 – Vegetação mais seca ao longo de estradas, devido à falta de pluviosidade.*



*Fonte: A autora.*

### **3.3 Solo**

Os solos predominantes são Bruno não Cálcico, Solos Litólicos, Planossolo Solódico e Podzólico Vermelho-Amarelo (Figura 3.3).

O solo Bruno não Cálcico compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos e com argila de atividade alta e horizonte A fraco com coloração mais freqüente que varia de bruno-acinzentado escuro a cinzento-avermelhado escuro.

Solos Litólicos são pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, possuindo, apenas, um horizonte A diretamente sobre a rocha, ou sobre materiais desta rocha em grau mais adiantado de intemperização, constituindo um horizonte C, com muitos materiais primários e blocos de rocha semi-intemperizados, de diversos tamanhos, sobre a rocha subjacente, muito pouco intemperizada ou compacta (R).

Planossolo sódico compreende solos moderadamente ácidos, com horizonte B textural, normalmente com argila de atividade alta, saturação com sódio entre 6 e 15% nos horizontes Bt e/ou C, solos moderadamente profundos a rasos, raramente profundos, sendo imperfeitamente drenados, de baixa permeabilidade, muito susceptíveis à erosão e apresentando problemas de encharcamento durante o período chuvoso e ressecamento e fendilhamento durante a época seca.

Podzólico Vermelho-Amarelo possui horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa, devido ao material do solo ser constituído por sesquióxidos, argilas do grupo 1:1 (caulinitas), quartzo e outros materiais resistentes ao intemperismo e saturação de bases (V%) baixa, isto é, inferior a 50%. Em geral, fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural.

*Figura 3.3 – Solo avermelhado relacionados aos anfibólitos, exposto ao longo de cortes de estradas.*



*Fonte: A autora.*

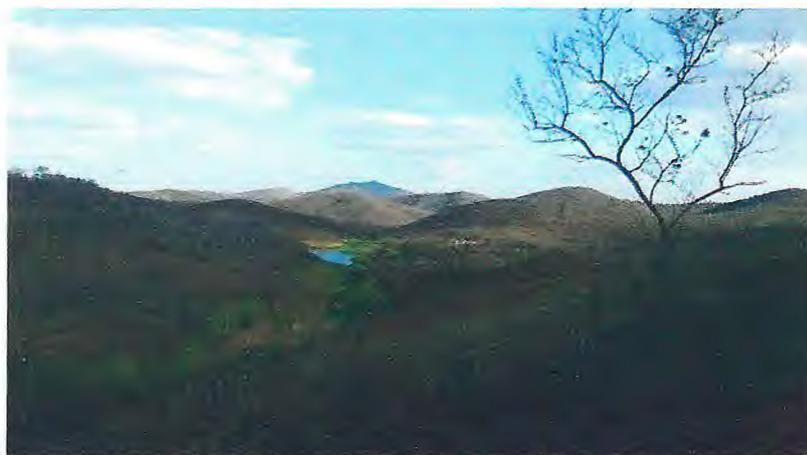
### 3.4 Relevo

O território apresenta um relevo de 201m a 500m de altitudes, também conhecidos como depressões ou depressão sertaneja, é formada por áreas planas e suavemente onduladas, encontradas entre os maciços e os planaltos sedimentares, com altitudes que não chegam a alcançar mais que 500 m.

A depressão sertaneja (Figura 3.4) corresponde a grandes superfícies de aplainamentos que foram trabalhadas sob condições climáticas semi-áridas. Nelas o trabalho erosivo é intenso, rebaixando o relevo, principalmente nas áreas de rochas de menor resistência. A grande parte dessa unidade geomorfológica localiza-se sobre terrenos cristalinos, com algumas pequenas exceções de pequenas bacias sedimentares.

Nas áreas aplainadas da depressão aparecem, de forma isolada ou em pequenos grupos, alguns relevos residuais como serras, quebrando assim a uniformidade da paisagem sertaneja. A depressão sertaneja se caracteriza ainda por apresentar períodos de secas prolongadas, altas taxas de evaporação, alternados períodos de chuvas irregulares no espaço e no tempo. Nessas áreas o intemperismo físico é predominante.

*Figura 3.4 – Planaltos com altitude média de 320 metros.*



*Fonte: A autora.*

### 3.5 Hidrografia

O município de Canindé comporta os Rios Curú, Canindé, Batoque, Riachos dos Porcos, Conceição, Xintranguê, Trindade, Souza, Salão, Cangatí, Castro, Serra do Tamanduá e Serrote Amargoso. Estes fazem parte da Bacia Hidrográfica do Curu, onde o Rio Canindé é um dos mais significativos afluentes da bacia hidrográfica. Além do município de Canindé, a Bacia Hidrográfica do Curu, drena ainda 14 municípios cearenses, dentre eles os municípios de Itatira, Caridade, Paramoti, Tejuçuoca e São Luís do Curu.

O município possui três domínios hidrogeológicos distintos: depósitos aluvionares, coberturas sedimentares e rochas cristalinas.

*Figura 3.5 – Rio de pequena extensão, com pouca água devido à falta de pluviosidade.*



*Fonte: A autora.*

### 3.6 Aspectos Sócio Econômicos

Com uma área de 3218,481Km<sup>2</sup> dentro da mesorregião do norte do Estado, distante 125km da capital Fortaleza quando acessada pela BR-020, o município de Canindé exibe um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,612, o que o classifica como uma cidade bem desenvolvida, com registros de habitação por latifúndios desde 1764 na qual o gado e a lavoura se faziam como principais atividades.

Atualmente o PIB percapta anual da cidade é de cerca de R\$5500,000 contando com uma população de 74473 habitantes, que distribui atividades entre indústria, agropecuária e

serviços em geral, além de grande parcela de atividades de turismo religioso. Contudo, e não só em Canindé, o estado cearense sofre com os dados de saúde e educação, apresentando um quadro de maiores investimentos visando uma melhoria das condições básicas satisfatórias. Quanto as atividades relacionadas a geologia temos a mineração de litotipos ornamentais, além da extração de brita, areia e argila para uso diverso na construção civil.



do embasamento, paleomicro-continentes e faixas orogênicas do Arqueano ao Neoproterozoico representadas por zonas de cisalhamento transcorrente e de empurrão.

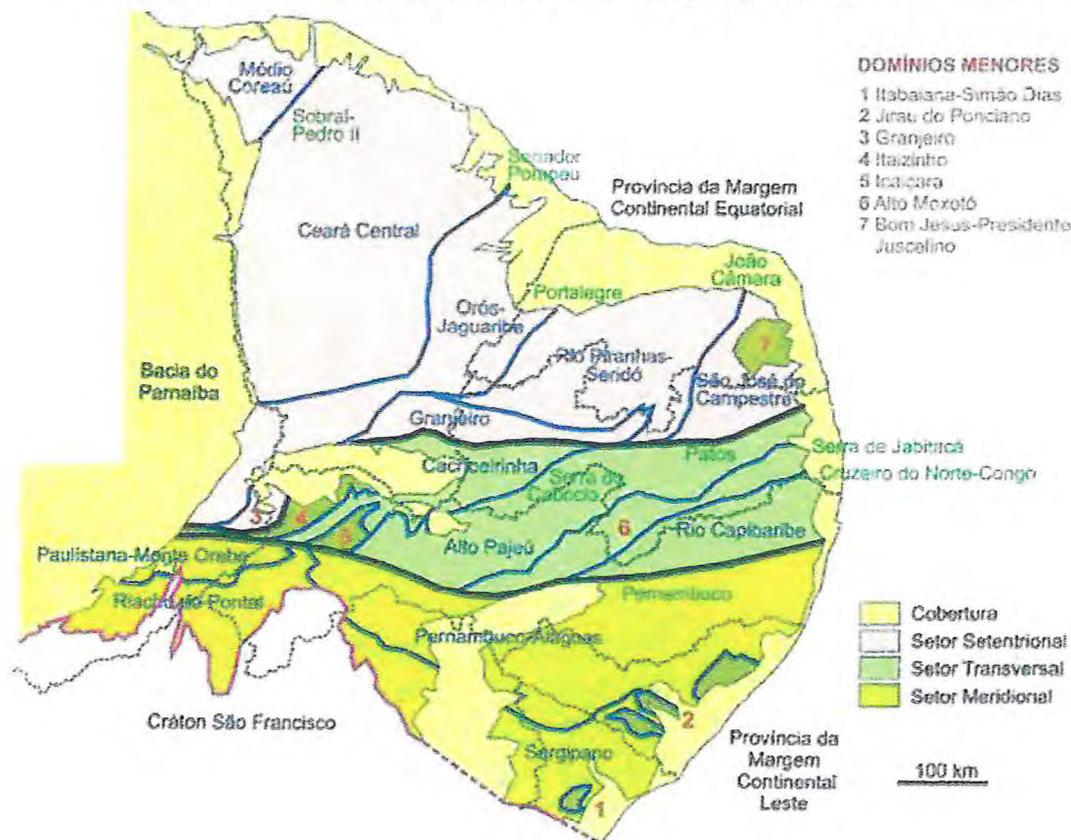
A atuação da Orogênese Brasileira na Província Borborema está marcada pelo desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento transcorrente e pelo intenso magmatismo granítico (Almeida et. al., 1981). Dentre as zonas de cisalhamento presentes, as mais expressivas correspondem aos Lineamentos Patos, Pernambuco e Sobral Pedro II. Estes lineamentos têm extensão de várias centenas de quilômetros e largura de até mais de uma dezena de quilômetros. Os dois primeiros limitam a Província Borborema em três grandes blocos (Figura 4.2) ou domínios tectônicos (Van Schmus et. al., 1995):

- a) Domínio Setentrional: localizado a norte do Lineamento Patos;
- b) Domínio Transversal: situado entre o Lineamento Patos, a norte e o Lineamento Pernambuco, a sul;
- c) Domínio Meridional: localizado a sul do Lineamento Pernambuco, que se prolonga até o limite com o Cráton São Francisco.

A maior parte dos autores concorda, atualmente, em subdividir a porção setentrional da Província Borborema em três domínios (ver, p. ex, Brito Neves et al, 2000):

- a) Domínio Médio Coreá (DMC): limitado a sul pelo lineamento Transbrasiliano, também conhecido como Sobral-Pedro II;
- b) Domínio Ceará Central (DCC): localizado entre os lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu;
- c) Domínio Rio Grande do Norte (DRGN): limitado pelos lineamentos Senador Pompeu e Patos.

Figura 4.2 – Província Borborema. As zonas de cisalhamento são representadas por: Pernambuco e Patos, traços em preto, separando os três setores; os menores, traços em azul, separam os domínios.



Fonte: Reproduzida de Delgado et. al. 2003 e Silva 2006.

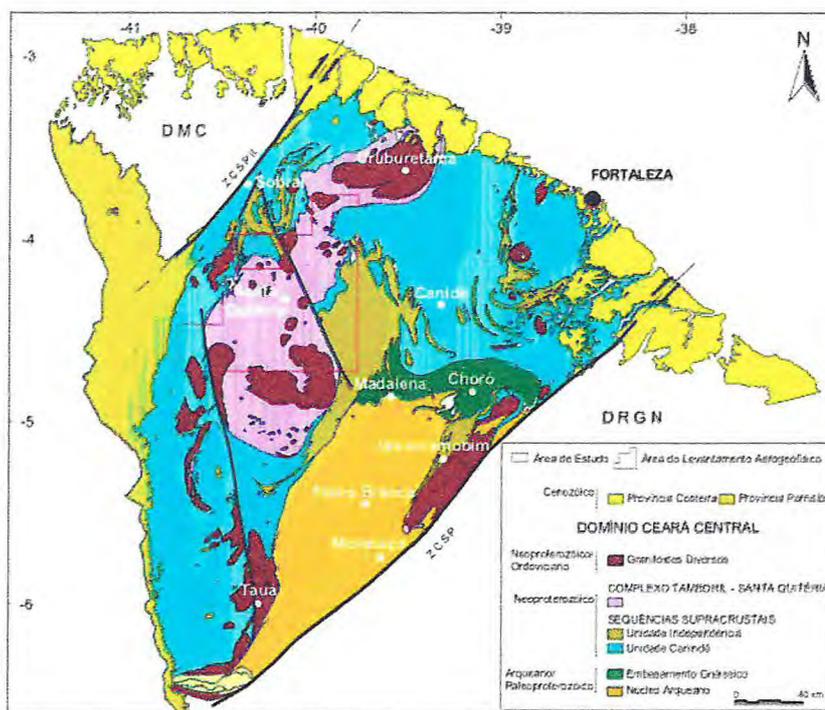
#### 4.1.1 Domínio Ceará Central

O Domínio Ceará Central (Figura 4.3) é a mais extensa unidade geotectônica da porção norte da Província Borborema, possui uma área de aproximadamente 80.000 km<sup>2</sup> que representa a porção do domínio setentrional da Província Borborema. Limita-se ao norte pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II e pela Província Costeira; a oeste faz limite com a Bacia do Parnaíba e a sudeste seu limite é marcado pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu que a separa da Faixa Orós, Domínio Rio Grande do Norte.

É produto de longa e complexa história geológica, iniciada nos tempos arqueanos. Vários episódios de acreção crustal e vários ciclos orogênicos deixaram seus registros magmáticos, metamórficos e deformacionais.

De acordo com Arthaud *et al.* (2008), o DCC pode ser dividido em cinco conjuntos litotectônicos: embasamento policíclico, supracrustais proterozóicas, complexo ígneoanatótico, granitogênese pós-colisional e bacias pós-brasilianas.

Figura 4.3 – Domínio Ceará Central. Limitados pelas Zonas de Cisalhamentos Sobral Pedro II e Senador Pompeu.



Fonte: Teixeira, 2005.

#### 4.1.1.1 Embasamento Policíclico

O embasamento do Domínio Ceará Central (DCC) possui idades arqueanas/paleoproterozóicas, e está subdividido em três unidades:

O Embasamento é representado pelo Complexo Cruzeta que apresenta terrenos arqueanos, granito-greenstone e granito-gnáissico, envolvidos na colagem orogênica paleoproterozóica. Esse bloco é constituído por três unidades litoestratigráficas componentes

a) Complexo Cruzeta: terrenos de idade arqueana, que afloram na porção sudeste do DCC, sendo limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e a oeste e a norte pelos gnaisses do embasamento Paleoproterozoico, que afloram na região de Madalena até Choró

(Amaral, 2008). O Complexo Cruzeta, com idades U-Pb arqueanas variando entre 2,65 e 3,27 Ga (Silva, 2002) representa um complexo gnaiss migmatítico, constituído por gnaisses ortoderivados de composições variadas, com predomínio de bandas tonalíticas/granodioríticas sobre bandas graníticas.

b) Suíte Madalena: é uma associação de rochas plutônicas intrudidas no Complexo Cruzeta consistindo de quartzo-dioritos e diques sinplutônicos de microdiorito. As rochas da suíte não apresentam sinais de migmatização e apresentam baixo grau de deformação tectônica indicando que estas rochas foram intrudidas após o metamorfismo e deformação do Complexo Cruzeta.

c) Unidade Algodões é composta de rochas supracrustais constituída essencialmente de rochas anfibólicas com leucognaisses, quartzitos micáceos, metagrauvas, metarcósios e raras calcissilicáticas. As rochas foram submetidas a metamorfismo do fácies anfibolito alto, sem fusão parcial (Arthaud, 2007).

#### 4.1.1.2 *Supracrustais proterozóicas*

As sequencias supracrustais neoproterozoicas ocorrem principalmente bordejando o Complexo granito-migmatítico Tamboril-Santa Quitéria. São várias sequências, agrupadas sob a denominação de Complexo Ceará, que apresentam, em determinados casos, características litológicas e assinaturas radiocronológicas diversas, entretanto, com suas relações ainda não totalmente elucidadas (Arthaud, 2007).

#### 4.1.1.3 *Complexo ígneo-anatético*

O complexo ígneo-anatético é representado pelo complexo Tamboril Santa Quitéria formado principalmente por diatexitos e metatexitos provenientes da fusão parcial de rochas em grande parte supracrustais, preservando mega-enclaves de rochas calcissilicáticas e anfibolitos. Esses migmatitos foram intrudidos por grande volume de magmas tonalíticos a graníticos

#### 4.1.1.4 *Granitogênese pós-colisional*

São representados pela: Suíte Quixadá-Quixeramobim, com idades U-Pb de 0,585 Ga (Almeida, 1999); e o granitóide Chaval (no Domínio Médio Coreau) com idade U-Pb em monazita de 0,591 Ga (Fetter, 1999). O segundo, e mais jovem episódio, é representado por

uma série de corpos, no qual se destacam os corpos Mucambo, Meruoca, Barriga, Pagé, Serrote São Paulo e Complexo Anelar Quintas, com idades U-Pb variando entre 0,530 a 0,480 Ga (Castro, 2004, Fetter, 1999).

#### 4.1.1.5 *Bacias tardi-brasilianas*

Após a colisão neoproterozoica, sugere-se um período de colapso orogénico, devido à formação de um sistema extensional alojado preferencialmente sobre as zonas de cisalhamento tardias do escape colisional (Sistema Transbrasiliano). Este episódio, acompanhado de magmatismo, compreende corpos intrusivos com idades variando entre 0,53 a 0,48 Ga, assim como vulcanismo representado pelo enxame de diques Coreaú e pela Suíte de sills e diques Parapuí. Subsequentemente a este estágio mecânico inicia-se a fase termal de subsidência, em que se inicia a sedimentação da bacia intracratônica do Parnaíba (Oliveira & Mohriak, 2003).

#### 4.1.2 *Complexo Ceará*

É formado por uma cobertura de rochas metassedimentares, de natureza essencialmente pelítica, representadas por cianita-muscovita-biotita, gnaiss granadífero, gnaisses quartzofeldspáticos, muscovita-biotita gnaiss e biotita gnaiss, podendo ou não ocorrer granada, com contribuições de mármore e calcissilicáticas. Estas litologias estão associadas a finas camadas de quartzito e, localmente, lentes de mármore e rochas calcissilicáticas frequentemente associadas a anfibolitos. Há ocorrência de anfibolitos com clinopiroxênio e granada indicando um metamorfismo pretérito no fácies eclogito (Castro, 2004; Garcia & Arthaud, 2004).

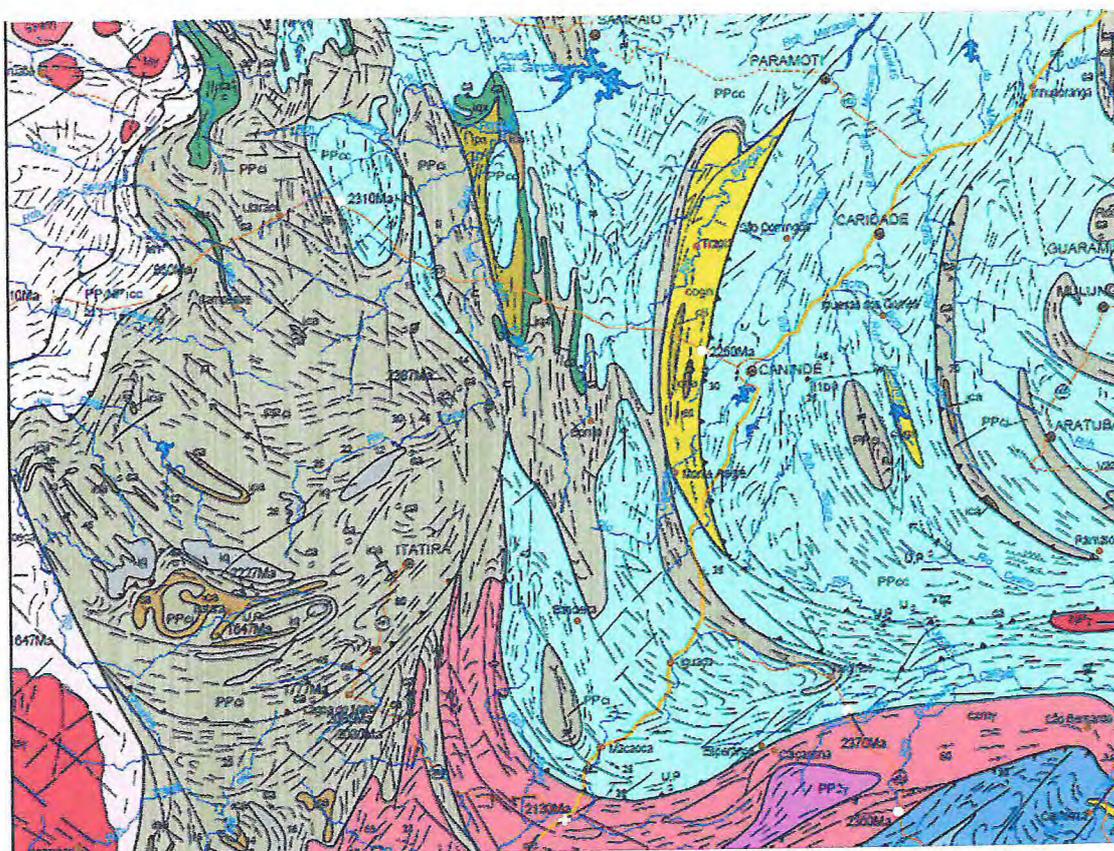
O Complexo Ceará é interpretado como uma sequência de margem passiva associada à abertura de um oceano (em torno de 850 Ma), em consequência de rifteamento e afinamento do embasamento com desenvolvimento de feições de ambiente de sedimentação em plataforma continental que, posteriormente, se fechou, envolvendo a sequência numa colisão continental responsável por sua deformação e metamorfismo (Arthaud *et al.*, 2008). Arthaud (2007), ao datar pelo método U-Pb SHRIMP, zircões detríticos em metapelitos, obteve idade de sedimentação entre 850-750 Ma para a sequência QPC do Complexo Ceará.

Este complexo está repousado sobre as rochas paleoproterozoicas da Unidade Algodões com uma zona de contato retrogradante milonitizada (Arthaud, 2007). As foliações possuem baixos ângulos de mergulho, há dobras recumbentes e isoclinais bem preservadas nas camadas

de quartzito. Há zonas de cisalhamento de baixo ângulo internas ao conjunto. A presença de um contato cisalhante milonitizado entre o Complexo Ceará e a Unidade Algodões Paleoproterozóica indica um transporte tectônico de nappes.

O Complexo Ceará foi dividido estratigraficamente nas seguintes Unidades (Figura 4.4): Independência, Canindé, Quixeramobim, Arneiroz (Cavalcante *et al*, 2003).

Figura 4.4 – Parte do mapa geológico do Ceará. Compreende as Unidades Independência (cinza) e Canindé (azul) Complexo Ceará, as quais fazem parte do Complexo Ceará.



Fonte: CPRM 2003.

#### 4.1.2.1 *Unidade Independência*

É formada por uma sequência de paragnaisses finos com muscovita, biotita e cianita, e micaxistos aluminosos frequentemente migmatíticos, milonitos retromórficos com granadas e grande quantidade de muscovita recristalizada, níveis de quartzitos de grau metamórfico elevado, ocorrem lentes de metacalcários de extensões e larguras variáveis, com as maiores notadamente carstificadas, concordantes com a foliação regional e intercaladas com a sequência pelítica próxima aos quartzitos.

Rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfibolitos, geralmente ricos em granada, encontram-se frequentemente associados a rochas calcissilicáticas, micaxistos, paragnaisses e quartzitos.

#### 4.1.2.2 *Unidade Canindé*

Composta por gnaisses em níveis distintos de metamorfismo e migmatização, onde se incluem ortognaisses ácidos, rochas metabásicas, metagabros, anfibolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos, metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos, metacalcários, rochas calcissilicáticas e formações ferro-manganesíferas.

A Unidade é constantemente interrompida, principalmente durante o Ciclo Brasileiro, por plutonismos graníticos desde pré-tectônicos a pós-orogênicos ao longo de todo o terreno. Um dos grandes eventos magmáticos locais é o Magmatismo Rio Ceará-Mirim, representado por diques e derrames de basalto (Ferreira *et al.*, 1995). Grandes regimes transcorrentes destrais são decorrentes de mudança cinemática para um regime tectônico colisional oblíquo (590Ma), controlando o alojamento de corpos graníticos e lentes anfibolíticas ao longo do Complexo Ceará (Nogueira, 2004).

## 5 GEOLOGIA LOCAL

Esse capítulo abrange a descrição das unidades reconhecidas e mapeadas, com enfoque às suas principais características, sejam macro ou microscópicas. Posteriormente, apoiadas, sobretudo em observações petrográficas de paragêneses minerais e análises químicas (MEV), são apresentadas discussões que abordam o metamorfismo atuante nas rochas. Finalmente, são delimitadas as principais características estruturais.

Foram reconhecidas duas unidades litológicas, Unidade Canindé e Unidade Independência (Cavalcanti *et al.*, 2003), indubitavelmente metamórficas, portadoras de feições migmatíticas. As litologias que compõem estas unidades são representadas por migmatitos (metatexito e diatexito), anfíbolitos, leucogranitos, xistos e rochas calcissilicáticas. Silixitos, pegmatitos e basaltos ocorrem como corpos tardios cortando as demais litologias.

### 5.1 Petrografia

Será apresentada a descrição das litologias mapeadas, abordando suas características macroscópicas e posteriormente as microscópicas.

#### 5.1.1 Migmatitos

Rochas metamórficas onde feições ígneas e metamórficas coexistem em diversos graus. Consistem de porções félsicas (leucossoma), máficas (melanossoma) e intermediárias (mesossoma). O leucossoma apresenta um aspecto ígneo enquanto mesossoma e melanossoma exibem feições metamórficas, como xistosidade, bandamento, alinhamento mineral e foliação.

Por serem rochas transicionais entre as duas classes, os migmatitos podem se apresentar com uma gama variada de feições, havendo alguns onde predominam as feições metamórficas e outras onde predominam as feições ígneas.

De acordo com o percentual da taxa de fusão, os migmatitos são divididos em metatexitos e diatexitos.

##### 5.1.1.1 Metatexitos

São migmatitos comumente bandados onde a anatexia não foi forte, com taxas de fusão variando de 1 a 45%, formados por porções félsicas resultantes da cristalização de massas

fundidas e porções máficas não fundidas. Apresentam estruturas reliquiares preservadas sendo possível tirar medidas de foliação. São a litologia predominante, ocorre em cerca de 70% da área de estudo.

Os metatexitos da área são divididos em metatexito a biotita e metatexito a anfibólio, de acordo com suas composições mineralógicas.

#### 5.1.1.1.1 Metatexitos a biotita

Os metatexitos a biotita são a litologia dominante, ocorrem em cerca de 45% da área de estudo, com afloramentos na forma de lajedos (Figura 5.1) e menos comumente como blocos (Figura 5.2a), de tamanho métrico a decamétrico. Mostram-se de coloração variada, granulação média (Figura 5.3b), por vezes grossa, foliação evidente e bandamento variando de centimétrico a milimétrico.

O leucossoma composto geralmente por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, por vezes granada e silimanita, o melanossoma é formado essencialmente por biotita, pouco ou nenhum quartzo e feldspato (Figura 5.3a). Em alguns pontos da área o leucossoma se encontra com megacristais de k-feldspato, exibindo uma granulação mais grossa.

Os metatexitos se mostram associados a xistos e leucogranitos. Restitos ricos em biotita sugerem que os metatexitos a biotita, sejam provenientes do metamorfismo de xistos, possuindo uma composição mais micácea e preservação da xistosidade em algumas porções.

Apresentam estruturas do tipo estromático (Figura 5.2b), com variações locais para schlieren (Mehnert, 1968). São encontrados veios (pegmatíticos e quartzosos), fraturas e drags de foliações nestas rochas.

*Figura 5.1 – Principal modo de ocorrência do metatexito a biotita, em forma de lajedo.*



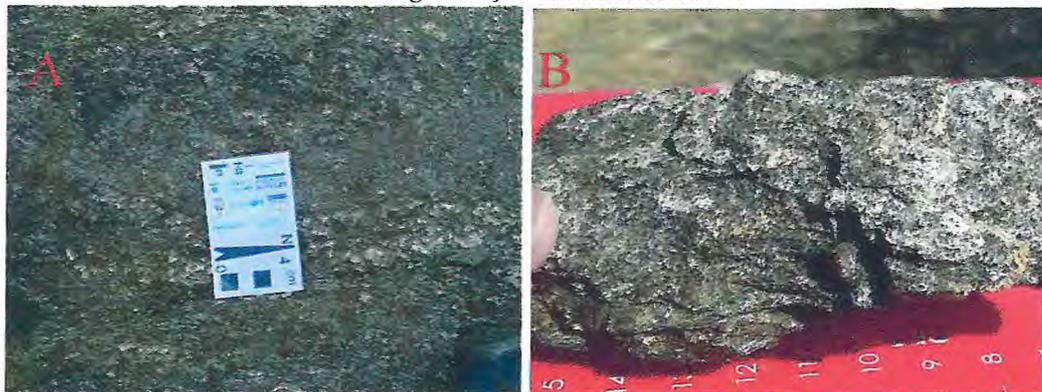
Fonte: A autora.

*Figura 5.2 – a) Estrutura predominante do tipo estromático (Mehnert, 1968; b) Afloramento de metatexito a biotita na forma de blocos, tipo de afloramento menos encontrado.*



Fonte: A autora.

*Figura 5.3 – a) Metatexito a biotita alterado com cristais de granada dispersos; b) Amostra de mão exibindo a granulação média da rocha.*



Fonte: A autora

Microscopicamente, os metatexitos a biotita (Figura 5.4a) apresentam textura granolepidoblástica, composta essencialmente por k-feldspato (35%), biotita (20%), plagioclásio (17%), quartzo (15%) e muscovita (8%). Como minerais acessórios (5%), ocorrem sericita, opacos e apatita.

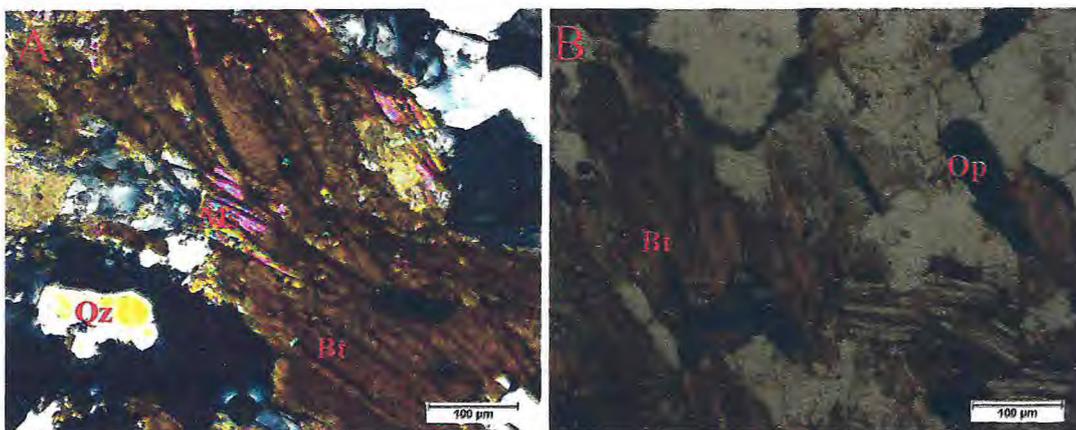
K-feldspato ocorre como cristais granulares subdiomórficos ou xenomórficos, com dimensões que variam de 0,5 a 1,5 mm. Possui geminação polissintética em duas direções, inclusões de quartzo e texturas de ex-solução. Muscovita é produto da desestabilização da biotita no processo de fusão, apresenta forte clivagem. Sugere-se que a muscovita reagiu com sílica para formação de k-feldspato.

Os cristais de biotita são lamelares, idiomórficos ou subdiomórficos, com forte clivagem e dimensões variando de 0,06 a 0,5 mm. São comuns inclusões (Figura 5.4b) de opacos (0,05 a 0,2 mm), podendo ser produtos da decomposição da biotita ou cristais primários (idiomórficos ou subdiomórficos) anteriores a biotita.

Os cristais de plagioclásio são granulares subdiomórficos, com dimensões variando de 0,2 a 0,5 mm. Apresentam geminação segundo as leis da Albita e da Periclina. Presença de inclusões de plagioclásio e apatita (0,05 a 0,1 mm).

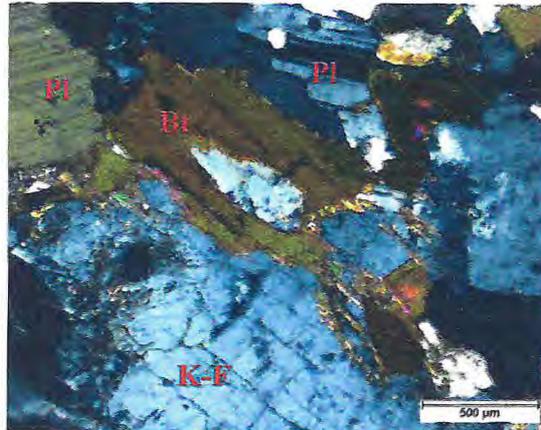
O quartzo apresenta hábito granular, xenomórfico, com extinção ondulante, localmente recristalizado em sub-grãos e com dimensões médias de 0,2 mm.

Figura 5.4 – a) Lâmina de metatexito a biotita sob luz polarizada; b) Inclusão de opacos em biotitas.



Fonte: A autora

Figura 5.5 – Formação de k-feldspato a partir da reação de muscovita com sílica. Plagioclásio exibindo geminações segundo leis da Albite e Periclínio.



Fonte: A autora

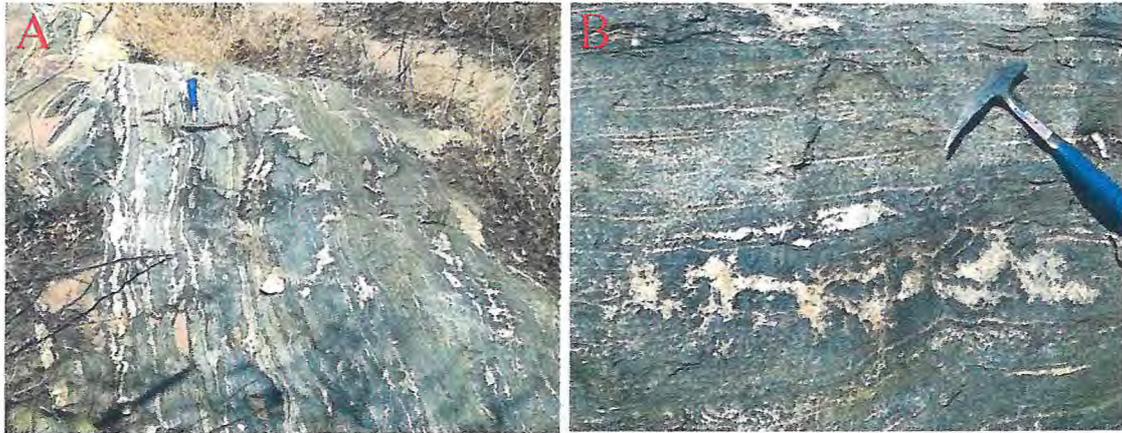
#### 5.1.1.1.2 Metatexitos a anfibólio

Os metatexitos a anfibólio são a segunda litologia em ordem de abundância ocorrendo em aproximadamente 25% da área, com afloramentos na forma de lajedos (Figura 5.6a) e blocos soltos, nas porções sudoeste e noroeste. No mapa está representado por um mega corpo N-S. Apresentam coloração variada e granulação média (Figura 5.7b). Apresentam estruturas do tipo estromático (Figura 5.6a), com variações locais para schlieren e schollen (Figura 5.6b), Mehnert (1968).

O leucossoma é composto por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, por vezes muscovita, o melanosoma é formado por anfibólio, menores proporções de quartzo e feldspato, localmente ocorrendo flogopita. Ocorrem associados a blocos de anfibolititos (Figura 5.8), anfibolititos e diques de pegmatitos (Figura 5.7a). Os anfibolititos são rochas monominerálicas, compostas essencialmente por anfibólio.

Em algumas porções estão bem alterados, não sendo possível a descrição de sua mineralogia e medição de foliação.

Figura 5.6 – a) Afloramento na forma de lajedo, principal modo de ocorrência do metatexito a anfibólio, estrutura do tipo estromática com variação para schollen (Mehnert, 1968). b) Detalhe da figura anterior, apresentando estrutura do tipo schollen.



Fonte: A autora.

Figura 5.7 – a) Afloramento intemperizado cortado por dique de pegmatito; b) Granulação média da rocha.



Fonte: A autora.

*Figura 5.8 – Metatexito em bloco, forma de menor ocorrência, próximo a blocos de anfibolititos, seus prováveis protólitos.*



*Fonte: A autora.*

Microscopicamente, o metatexito à anfibólio (Figura 5.9) apresenta textura granonematoblástica, composta essencialmente por plagioclásio (35%), quartzo (25%), anfibólio (20%), k-feldspato (10%) e biotita (5%), podendo ocorrer epidoto. Como minerais acessórios (5%), ocorre muscovita, sericita, titanita, apatita e opacos.

O plagioclásio ocorre como cristais granulares ora subdiomórficos ora xenomórficos, com dimensões que variam de 0,2 a 1,4 mm, contatos difusos e relevo moderado. Apresenta antipertitas (Figura 5.10a) e geminação segundo a lei da Albita. Inclusões de minerais acessórios como titanita e apatita geralmente ocorrem inclusas em plagioclásios.

O quartzo ocorre como grãos subdiomórficos ou xenomórficos e apresentam feições de deformação como recristalização em subgrãos e extinção ondulante com dimensão de 0,2 mm aproximadamente.

Os cristais de anfibólio são prismáticos, subdiomórficos, exibem um pleocroísmo que varia de verde a verde amarronzado, relevo moderado. Apresentam-se com dimensões variando de 0,4 a 1,0 mm. São comuns inclusões de plagioclásio.

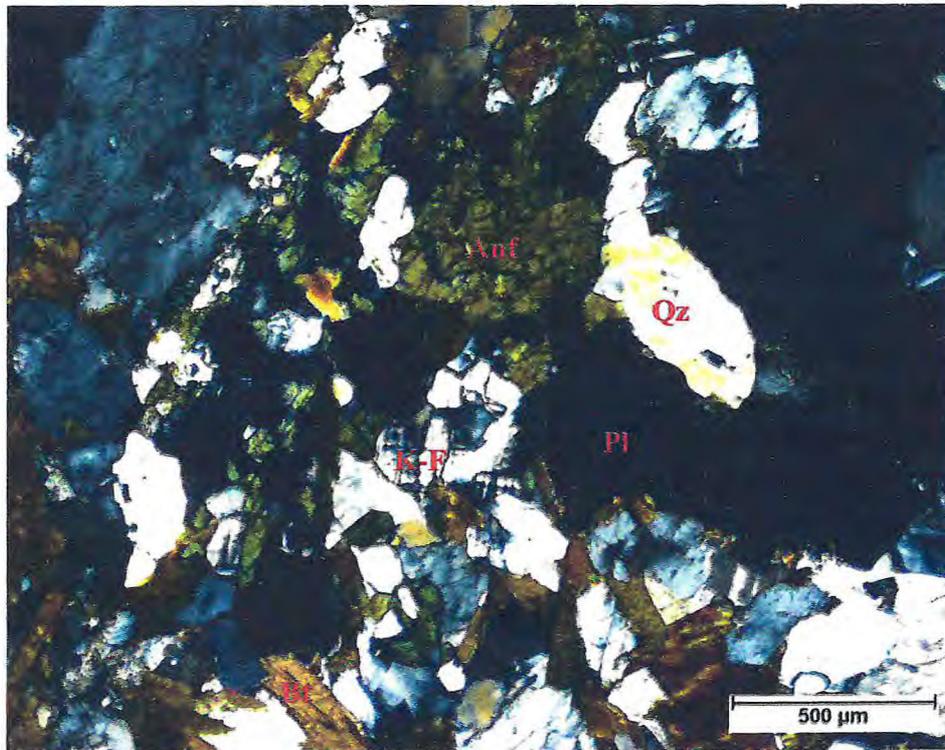
Os cristais de k-feldspato são xenomórficos tabulares, inequigranulares, com geminação polissintética em duas direções e dimensões que variam de 0,1 a 0,4 mm.

Biotita ocorre como cristais lamelares idiomórficos ou subdiomórficos, com dimensões variadas, geralmente entre 0,1 a 0,5 mm. Localmente são observados cristais de biotita fundidos, gerando epidoto e k-feldspato.

Os cristais de muscovita são gerados a partir da biotita. São subdiomórficos a xenomórficos, de hábito lamelar, relevo fraco a moderado, dimensão variando de 0,08 a 0,3 mm. A alteração da muscovita gera sericita.

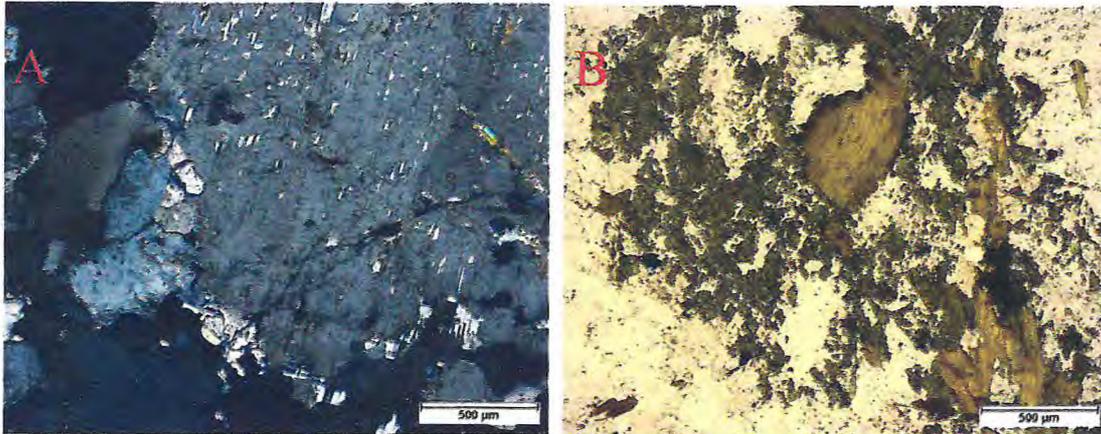
Titanita e apatita são os minerais acessórios que menos ocorrem na rocha, se apresentam como cristais xenomórficos, de relevo forte, chegando até 0,04 mm.

*Figura 5.9 – Metatexito a anfibólio com mineralogia essencial presente, composto por anfibólio, plagioclásio, quartzo, k-feldspato e biotita.*



*Fonte: A autora.*

Figura 5.10 – a) Antipertitas em lâmina de metatexito a anfibólio com grãos subdioblásticos; b) Cristais de anfibólio e biotita subdiomórficos sob luz natural.



Fonte: A autora.

#### 5.1.1.2 Diatexitos a biotita

Diatexitos a biotita são migmatitos onde a taxa de fusão está na ordem de 65% a 90%, formados por um estágio mais avançado de anatexia. Nestas rochas as porções leucossomáticas resultantes do processo de fusão são dominantes, não havendo bandamento composicional, o que não permite tirar medidas de foliação.

Ocorre em pequenas porções e estão localizados preferencialmente nas regiões noroeste e sudeste da área. É composto mineralogicamente por quartzo, plagioclásio, feldspato, biotita, por vezes muscovita. Afloramentos encontram-se na forma de lajedos, com coloração predominantemente cinza e granulação média (Figura 5.12).

Os diatexitos podem se mostrar obliterados localmente pela atuação de esforços rúpteis representados por par ordenado de fraturas, veios de pegmatito e porções milonitizadas. Em meio aos afloramentos foram encontrados blocos de quartzo.

*Figura 5.11 – Afloramento de diatexito a biotita na forma de lajedo.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.12 – Detalhe de afloramento de diatexito, exibindo coloração cinza e granulação média.*



*Fonte: A autora.*

### 5.1.2 *Anfibolitos*

Anfibolitos são rochas constituídas principalmente por anfibólios (hornblenda, actinolita e tremolita) e plagioclásio (andesina, albíta) e podem apresentar também quartzo, feldspato potássico, titanita e epidoto, como minerais acessórios. Podem apresentar estruturas maciça, foliada ou linear. Sua origem pode ser a partir de metamorfismo regional de rochas magmáticas de natureza básica e/ou de sedimentos margosos na fácies anfibolito.

Ocorrem em forma de bandas centimétricas a métricas, afloramentos em forma de lajedos e blocos soltos, dispersos ao longo da área. Apresentam granulação média a grossa, mineralogia formada por anfibólio e plagioclásio, por vezes flogopita.

São quase sempre encontrados associados a metatexitos a anfibólio e rochas calcissilicáticas. O solo resultante do anfibolito possui uma coloração marrom escura.

Há porções onde o anfibolito está junto ao metatexito a anfibólio, fazendo parte do mesmo (Figura 5.13). Na porção NW da área ocorrem três afloramentos na forma de blocos (Figura 5.14), formando domos, que juntos estendem-se por cerca de 60 metros, parte deles exibem veios de plagioclásio (Figura 5.15).

*Figura 5.13 – Anfibolito compondo o mesossoma do metatexito a anfibólio.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.14 – Blocos de anfibolito formando um domo com aproximadamente 20 metros de diâmetro na porção NW.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.15 – Bloco de anfibolito com veios de plagioclásio.*



*Fonte: A autora.*

Microscopicamente, o anfibolito (Figura 5.16) apresenta textura nematoblástica com planos de foliação marcados pela orientação de cristais de anfíbólio. É composto por anfíbólio (60%) e plagioclásio (35%) como minerais essenciais, podendo ocorrer também granada, clinopiroxênio e flogopita. Ocorrem, como minerais acessórios, quartzo, titanita, apatita e opacos, juntos correspondem a aproximadamente 5% da rocha.

Os anfíbólios exibem um pleocroísmo que varia de verde a verde amarronzado, com cristais subdiomórficos ou xenomórficos e extinção de aproximadamente 15°. Apresentam-se com dimensões variando de 0,1 a 1,5 mm, exibindo hábito prismático. São comuns as inclusões de cristais de plagioclásio.

O plagioclásio ocorre como cristais granulares subdiomórficos ou xenomórficos, com dimensões que variam de 0,2 a 1,0 mm. Apresenta geminação segundo a lei da Albita, com contato reto.

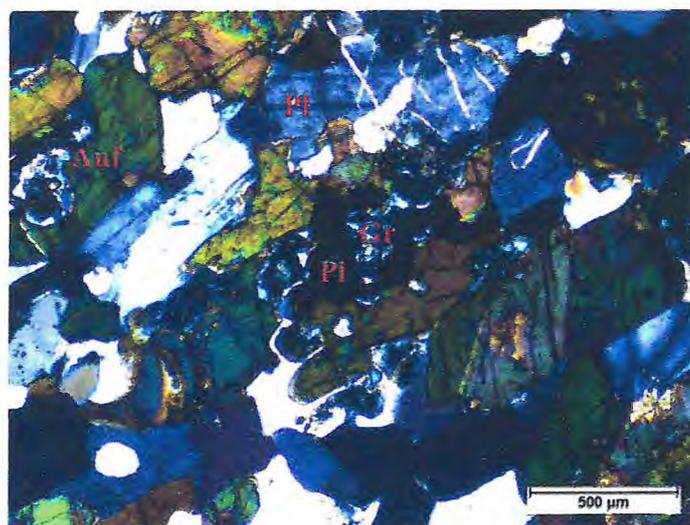
Os cristais de quartzo são subdiomórficos ou xenomórficos e apresentam feições de deformação como recristalização em subgrãos e extinção ondulante com dimensão de 0,2 mm aproximadamente.

A granada apresenta cristais subdiomórficos granulares, relevo alto e dimensão de 0,2 mm. Alguns cristais de granada apresentam coroas constituídas de plagioclásio (Figura 5.17a).

O clinopiroxênio é representado por cristais prismáticos, subdiomórficos, com contatos retos a irregulares e dimensão de 0,1 mm. São encontradas algumas inclusões de clinopiroxênio no plagioclásio. A flogopita (Figura 5.17b) ocorre como cristais idiomórficos ou subdiomórficos, de hábito lamelar, relevo moderado, com dimensões de até 1,0 mm.

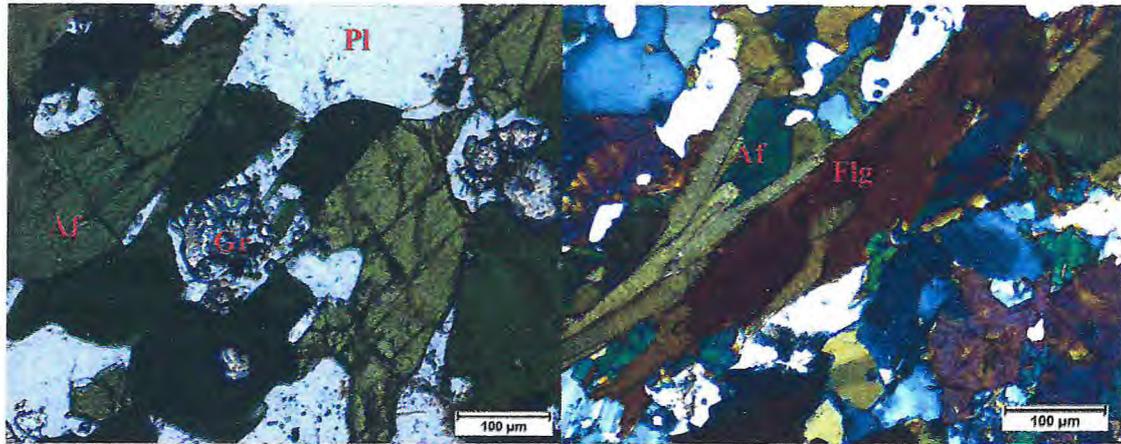
A titanita ocorre como cristais xenoblásticos, de relevo forte, pleocroísmo marrom, chegando até 0,04 mm. A apatita ocorre na forma de cristais xenomórficos, de hábito granular, com dimensões que variam de 0,02 a 0,05mm. Os opacos ocorrem como cristais xenomórficos com dimensões chegando até 0,05 mm.

*Figura 5.16 – Anfibolito com mineralogia essencial composta por anfibólio e plagioclásio, textura nematoblástica e presença de granada.*



*Fonte: A autora.*

Figura 5.17 – a) Detalhe da figura 5.16, exibindo granada com coroa de plagioclásio sob luz natural; b) Cristais lamelares de flogopita em meio a anfibólios sob luz polarizada.



Fonte: A autora.

### 5.1.3 Rochas Calcissilicáticas

Ocorrem em poucos pontos, apenas na porção norte da área, na forma de lajedos (Figura 5.19) e blocos soltos. São de granulação média (Figura 5.18a), coloração verde escura com leitos esbranquiçados, associadas a metatexitos e anfibolitos. Compostas basicamente por anfibólio, plagioclásio, quartzo e epidoto.

Quando afloram na forma de lajedado, apresentam bandamento, com alternância de bandas félsicas com bandas mais máficas, podendo ser interpretadas como metatexitos calcissilicáticos, acompanhando a foliação regional com *trend* N/S. Presença de epidotização (Figura 5.18b) na rocha.

Figura 5.18 – a) Amostra de mão exibindo granulação média; b) Epidotização presente na rocha.



Fonte: A autora.

Figura 5.19 – Rocha calcissilicática em afloramento na forma de lajedo.



Fonte: A autora.

#### 5.1.4 Xistos

Afloramentos ocorrem na forma de lajedos (Figura 5.20) e blocos soltos, granulação média e coloração variada. Mineralogia composta por biotita, muscovita, granada, quartzo, plagioclásio, k-feldspato e silimanita, raramente com flogopita (Figura 5.21). Estão associados a metatexitos a biotita e leucogranitos. Algumas porções estão milonitizadas. Em três pontos foram encontrados xistos compostos por grafita (Figura 5.22).

*Figura 5.20 – Afloramento de xisto em corte de estrada.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.21 – Amostra de mão de xisto composto por biotita, muscovita, granada, quartzo e plagioclásio.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.22 – Xisto composto por grafita, afloramento em corte de estrada.*



*Fonte: A autora.*

### **5.1.5 Leucogranitos**

Leucogranitos são granitos compostos predominantemente por minerais félsicos. Apresentam granulação média, coloração branca amarelada, ocorrem em afloramentos na forma de lajedo, intercalados com outras litologias ou como diques.

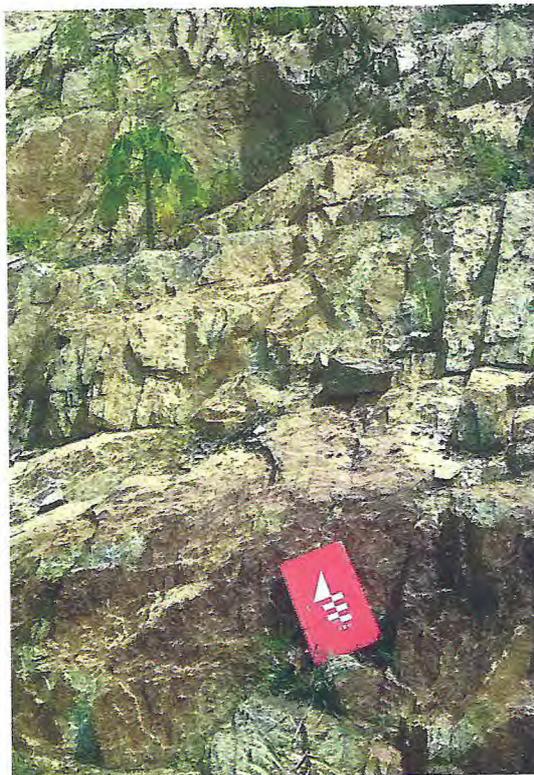
Localmente os leucogranitos se encontram intercalados com xistos (Figura 5.23), com forma elipsoidal, onde o leucogranito representa a parte fundida e o xisto a porção restfítica em volta dele. Em diversos locais esta litologia se encontra milonitizada (com cristais de quartzo estirados e feldspatos lamelares) ou fraturada (Figura 5.24). Estão associados a metatexitos, podendo ser encontrados intercalados, fazendo parte do leucossoma da rocha ou como diques (Figura 5.25).

*Figura 5.23 – Leucogranito intercalado com xisto na forma de sítios de dilatação.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.24 – Leucogranito fraturado em afloramento na forma de lajedo.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.25 – Dique de leucogranito em metatexito.*



*Fonte: A autora.*

Microscopicamente, os leucogranitos (Figura 5.26) apresentam textura granoblástica, composta essencialmente por k-feldspato (35%), plagioclásio (25%), quartzo (25%), biotita (13%) e subordinadamente como mineral acessório tem-se muscovita (2%).

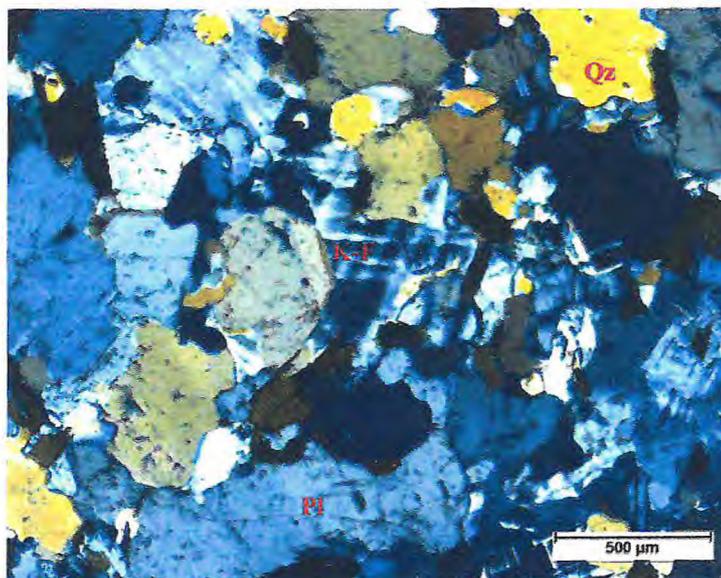
Os cristais de k-feldspato são tabulares, subdiomórficos ou xenomórficos, apresentam geminação polissintética em duas direções e dimensões que variam de 0,2 a 0,5 mm.

O plagioclásio ocorre como cristais tabulares ou granulares, subdiomórficos ou xenomórficos, com dimensões variando de 0,3 a 0,8 mm. Apresentam geminação segundo a lei da Albita e da Periclina.

O quartzo apresenta hábito granular, xenomórfico, com extinção ondulante, localmente recristalizado em sub-grãos e com dimensões que variam de 0,05 a 0,3 mm.

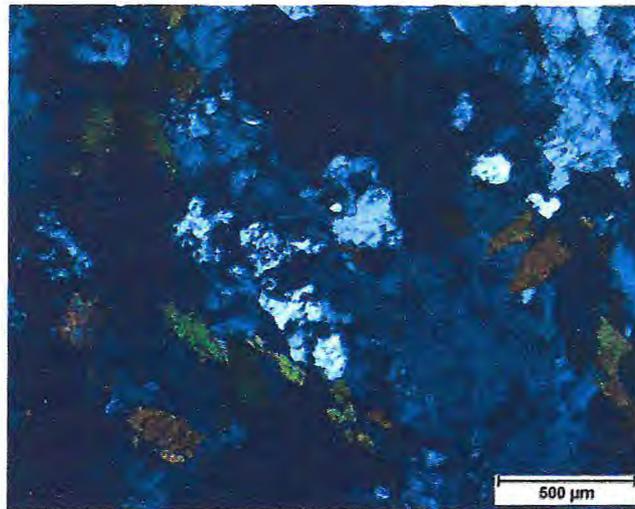
A biotita apresenta hábito lamelar, idiomórfico ou subdiomórficos, pleocroísmo marrom esverdeado, dimensões que variam de 0,2 a 0,6 mm. A muscovita (0,2 mm) parece ser proveniente da desestabilização da biotita no processo de fusão (Figura 5.27).

*Figura 5.26 – Cristais de k-feldspato com geminação polissintética em duas direções em meio a plagioclásio, biota e quartzo.*



*Fonte: A autora.*

Figura 5.27 – Lamelas de muscovita provenientes da desestabilização da biotita, em meio a plagioclásio e k-feldspatos.



Fonte: A autora.

### 5.1.6 Silexitos

Os silexitos são rochas compostas essencialmente por quartzo, ocorrem preenchendo fraturas ou como blocos soltos. Quando dispostos longo de fraturas possuem padrão ortogonal de fraturamento, sendo um paralelo ao contato e outro transversal, com espaçamentos curtos, o que dificulta o seu aproveitamento econômico como rocha ornamental.

Figura 5.28 – Amostra de mão de silexito.



Fonte: A autora.

### 5.1.7 Pegmatitos

Pegmatitos se mostram com granulação muito grossa, ocorrem cortando a foliação migmatítica principal, possuem cor rósea e composição de quartzo, feldspatos e localmente micas. Ocorrem também cortando anfibolitos (Figura 5.30) e como blocos próximos a afloramentos de migmatitos. Os leucossomas dos metatexitos por vezes apresentam uma granulação mais grossa, conhecida como pegmatítica (Figura 5.29).

*Figura 5.29 – Metatexito com leucossoma apresentando granulação grossa.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.30 – Pegmatito cortando afloramento de anfibolito.*



*Fonte: A autora.*

### **5.1.8 Magmatismo Ceará-Mirim**

Magmatismo basáltico de idade Mesozóica que ocorre cortando as demais litologias.

#### **5.1.8.1 Basaltos**

São rochas básicas afaníticas que ocorrem na forma de diques e blocos soltos, limitadas a porção norte da área. Os diques são corpos intrusivos, tabulares, com direção preferencial próxima a E-W, descontínuos, com espessuras que chegam até 2 metros.

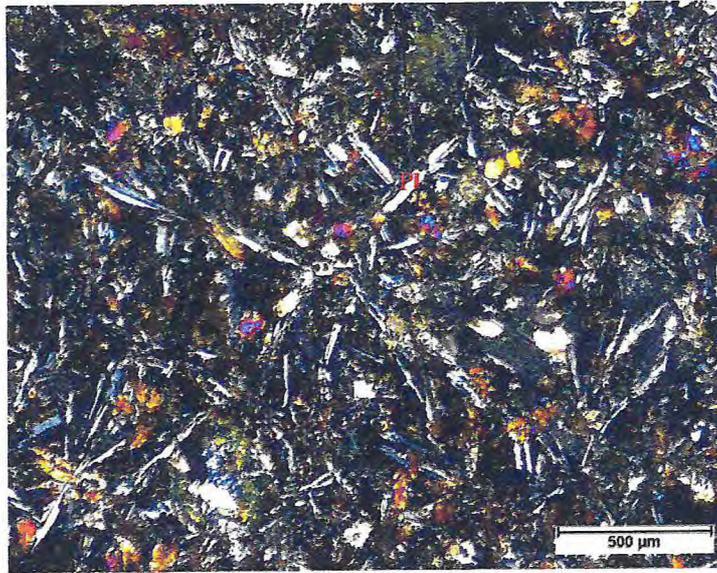
Microscopicamente, o basalto apresenta textura afírica, com mineralogia essencial composta por plagioclásio (45%), anfíbólio (18%), piroxênio (15%), quartzo (12%), podendo conter epidoto, calcedônia, calcita, carbonato, clorita e augita. Mineralogia acessória composta por opacos (2%). Como preenchimento de amígdalas, são encontrados minerais como quartzo, calcedônia, carbonatos e calcita (Figura 5.32).

Plagioclásio (Figura 5.31) apresenta hábito acicular subedral, na forma de ripas com crescimento radial e dimensões que variam de 0,1 a 0,5 mm.

Os cristais de augita apresentam hábito prismático subedral, extinção de 45°, com dimensão média de 3,0 mm. Presença de talcificação.

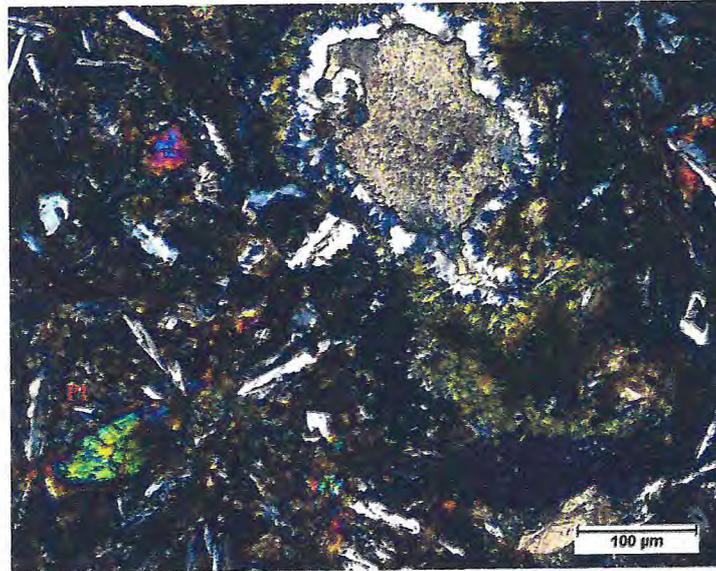
A clorita apresenta hábito lamelar subedral, pleocroísmo verde claro e dimensão média de 0,3 mm. É comum a inclusão de opacos.

*Figura 5.31 – Basalto com crescimento radial e acicular de plagioclásios.*



*Fonte: A autora.*

*Figura 5.32 – Basalto com presença de amigdalita preenchida por calcita e calcedônia, plagioclásio na forma de ripas.*



*Fonte: A autora.*

## 5.2 Química mineral

Duas amostras, sendo uma de metatexito a anfibólio e outra de anfibolito foram selecionadas para realização de análises químicas pelo Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV).

Foram analisados separadamente para cada amostra, anfibólio e opacos. As análises químicas dos minerais foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica do DEGEO/UFC (Fortaleza/CE) e os resultados obtidos foram tratados no software MINPET 2.02 (Richard, 1995).

### 5.2.1 Anfibólio

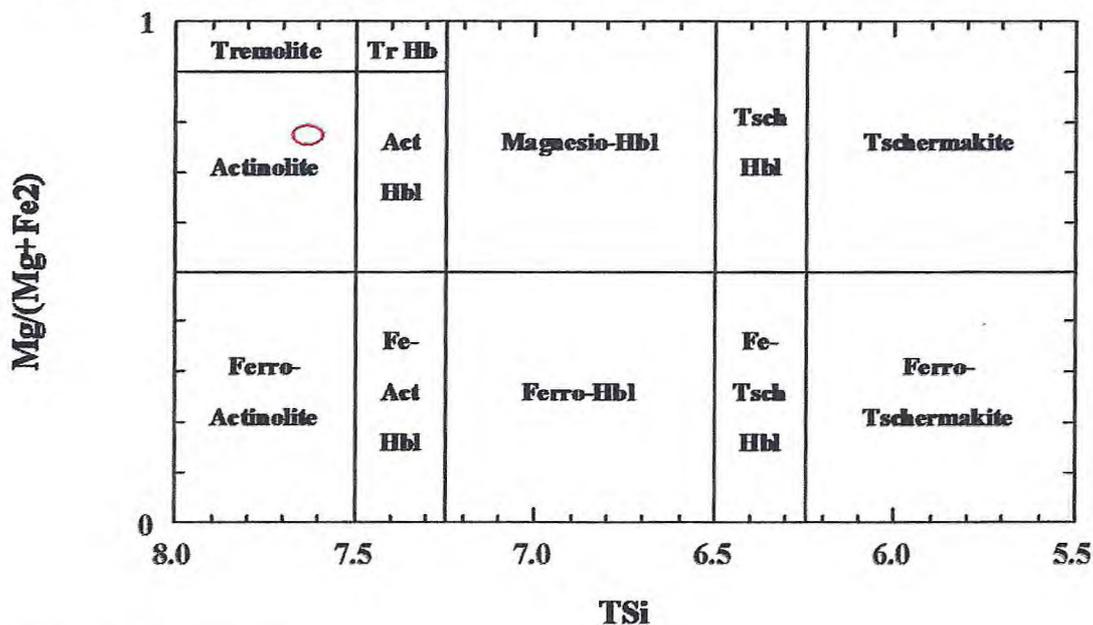
Os cristais apresentam-se subdiomórficos ou xenomórficos, pleocroísmo que varia de verde a verde amarronzado, extinção de aproximadamente 15°. Apresentam-se com dimensões variando de 0,1 a 1,5 mm, exibindo hábito prismático, em contato com plagioclásio e biotita. O anfibólio plota no campo da actinolita (Figura 5.33), a qual é formada basicamente por cálcio, magnésio, ferro e silício.

Tabela 5.1 – Tabela de resultado do MEV para anfibólio.

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %	Compound %	Formula
Sodium	1.669	0.223	1.569	2.249	Na <sub>2</sub> O
Magnesium	9.362	0.290	8.322	15.523	MgO
Aluminum	3.492	0.227	2.797	6.598	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Silicon	25.980	0.413	19.990	55.579	SiO <sub>2</sub>
Potassium	0.518	0.149	0.286	0.624	K <sub>2</sub> O
Calcium	8.134	0.279	4.386	11.381	CaO
Iron	6.254	0.447	2.420	8.045	FeO
Oxygen	44.591	0.529	60.231		

Fonte: A autora.

Figura 5.33 – Gráfico exibindo a composição do anfibólio.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.2 Minerais Opacos

Cristais opacos ocorrem como cristais subdiomórficos com dimensões chegando até 0,08 mm. Foram analisados alguns pontos, onde a composição de um corresponde à hematita (Tabela 5.2) e outro à siderita (Tabela 5.3).

Tabela 5.2 – Tabela de resultado do MEV para opacos, correspondente a hematita.

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %	Compound %	Formula
Aluminum	1.401	0.231	1.737	2.648	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Silicon	3.168	0.248	3.773	6.778	SiO <sub>2</sub>
Iron	70.405	0.702	42.169	90.574	FeO
Oxygen	25.026	0.664	52.321		

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.3 – Tabela de resultado do MEV para opacos, correspondente a siderita.

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	15.335	0.664	24.754	56.187	CO <sub>2</sub>
Aluminum	0.427	0.076	0.307	0.807	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Silicon	1.432	0.099	0.988	3.063	SiO <sub>2</sub>
Calcium	0.959	0.092	0.464	1.342	CaO
Titanium	0.779	0.113	0.315	1.299	TiO <sub>2</sub>
Iron	28.995	0.587	10.066	37.301	FeO
Oxygen	52.073	0.782	63.105		

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3 Geologia Estrutural

Estruturas desenvolvidas em regimes dúcteis e rúpteis, tais como foliações, lineações de estiramento e fraturas são comuns. Observou-se a existência de uma zona de cisalhamento dúctil através de elementos planares dúcteis, como lineações de estiramento, foliações e suas correlações. Sugere-se um acamamento estratigráfico inicial marcado pela deposição de areia, carbonato e argila, onde essa organização estrutural é reconhecida regionalmente pelas alternâncias entre migmatitos, mármore e xistos.

#### 5.3.1 Feições Dúcteis

##### 5.3.1.1 Foliações

No estudo geológico-estrutural das rochas foram identificados três padrões de foliação  $S_n$ ,  $S_{n-1}$  e  $S_{n+1}$ .

$S_n$  é a principal foliação, definida pelo bandamento migmatítico (Figura 5.34), formado pela alternância de bandas máficas e félsicas de espessuras variáveis. Ocorre nos metatexitos, litologia dominante da área. Possui trend N-S mergulhando para leste e intensidade de mergulho variando de 40 a 80°.

A foliação  $S_{n-1}$  é formada pela xistosidade, onde a principal estrutura responsável pela definição dessa foliação é a orientação de minerais lamelares, como a biotita e muscovita. Está orientada seguindo o trend regional (N-S) com mergulhos moderados a altos.

$S_{n+1}$  é a foliação milonítica formada durante o cisalhamento.

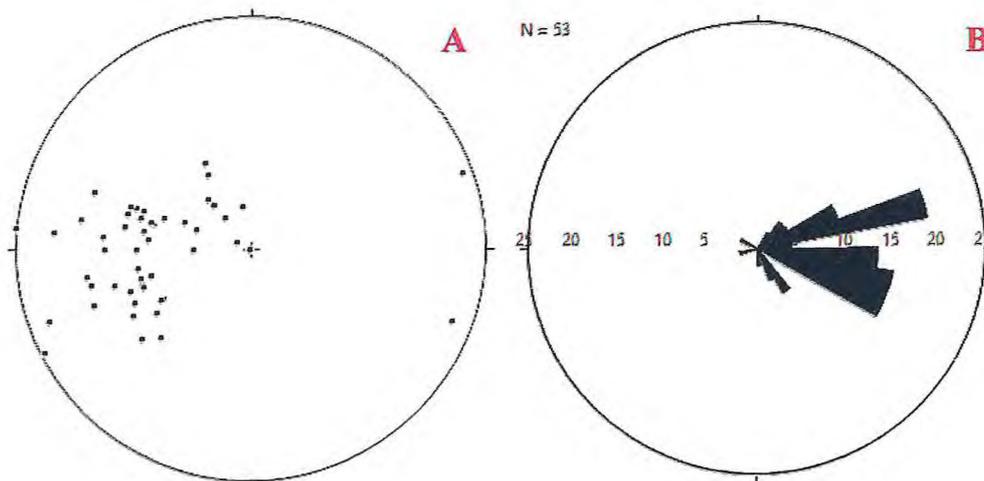
Figura 5.34 – Foliação principal ( $S_n$  34ed), marcada pelo bandamento migmatítico com trend regional.



Fonte: A autora.

Foram realizadas 53 medidas de foliação  $S_n$ , as quais foram usadas para gerar diagramas, onde observa-se que a concentração dos pólos das foliações está na porção oeste (Figura 5.35a), sentido de mergulho para leste (Figura 5.35b), com pequenas variações para NE e SE, plano de foliação seguindo o trend N-S.

Figura 5.35 – a) Diagrama para pólo dos planos da foliação  $S_n$  com concentração máxima de pólos na porção oeste; b) Diagrama de roseta com sentido de mergulho da foliação  $S_n$  preferencialmente para leste.



Fonte: A autora.

### 5.3.1.2 Lineações de estiramento

A lineação de estiramento mineral ( $L_x$ ) é formada por processos de deformação dúctil, os quais geram o estiramento dos minerais (quartzo e k-feldspato) em uma direção preferencial dentro do plano da foliação. Formando rochas denominadas de milonitos que são provenientes da deformação dúctil de rochas como metatexitos e leucogranitos (Figura 5.36).

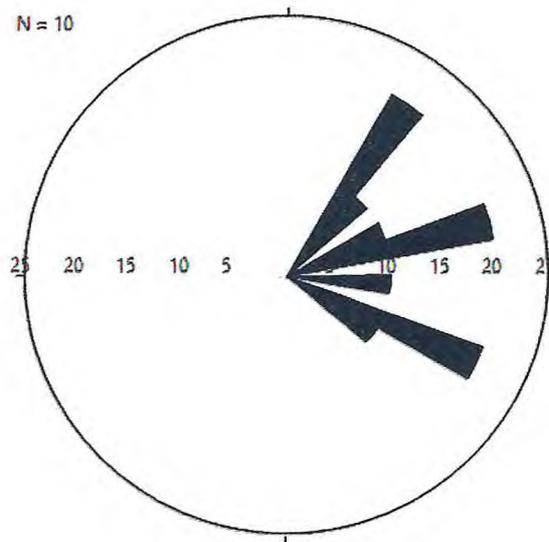
A lineação de estiramento mineral tem sentido de caimento (Figura 5.37) ora concordante com o sentido de mergulho da foliação (para leste) ora para NE, com mergulho variando de 30 a 80°.

Figura 5.36 – Leucogranito milonítico com cristais de quartzo e k-feldspato estirados.



Fonte: A autora.

Figura 5.37 – Diagrama de roseta com sentido de caimento do estiramento mineral para leste com variações para NE.



Fonte: A autora.

### 5.3.1.3 Zona de Cisalhamento Dúctil

As zonas de cisalhamento são faixas formadas por esforços tectônicos compressivos que geram o deslocamento de blocos rochosos formando rochas miloníticas.

As lineações de estiramento têm sentido de caimento para leste (Figura 5.37), concordante com o sentido de mergulho da foliação (Figura 5.35b), onde  $L_x$  forma ângulos com  $S_{n+1}$  que variam de 30 a 80°. Em vista da correlação de  $L_x$  com  $S_{n+1}$ , sugere-se que a zona de cisalhamento tem direção N-S, caracterizada por um movimento de transcorrência (dextral) com forte componente de empurrão (zona de transpressão) com sentido de transporte tectônico para sudoeste. Esta zona de cisalhamento provavelmente é a continuidade da Zona de Cisalhamento Paramoti.

## 5.3.2 Feições Rúpteis

### 5.3.2.1 Fraturas

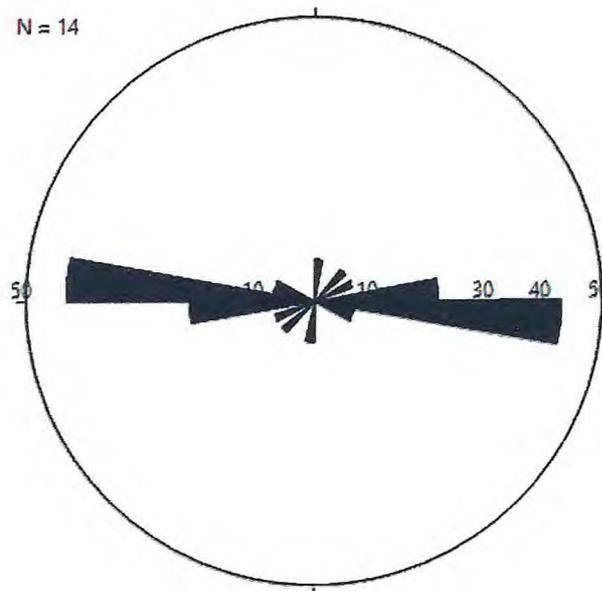
As fraturas são estruturas rúpteis formadas posteriormente a deformação dúctil, com tamanhos variando de centimétrico a métrico. Estão presentes em todas as litologias, com

mergulhos verticais e direções variadas (Figura 5.38). São encontradas fraturas extensionais e fraturas ordenadas em pares.

As fraturas extensionais são os tipos de fratura mais comum, ocorrem em todas as litologias, principalmente nos migmatitos (Figura 5.39). São fraturas abertas formadas paralelamente ao tensor de maior esforço, possuem direção E-W (Figura 5.40a), mergulho vertical e encontram-se preenchidas por pegmatitos, quartzo ou basalto.

Os pares ordenados (Figura 5.40b) são tipos de fraturas pouco observados, ocorrem localmente em escala centimétrica a métrica e estão presentes em todas as litologias. São formados por pares de fraturas que formam  $60^\circ$  entre si, onde o tensor de maior esforço encontra-se entre elas formando um ângulo de  $30^\circ$  com cada fratura individualmente. Possuem mergulho vertical, direção N-S e NE-SW, onde sugere-se que  $\sigma_1$  está entre elas com direção NE-SW.

Figura 5.38 – Diagrama de roseta com direções variadas de fraturas.



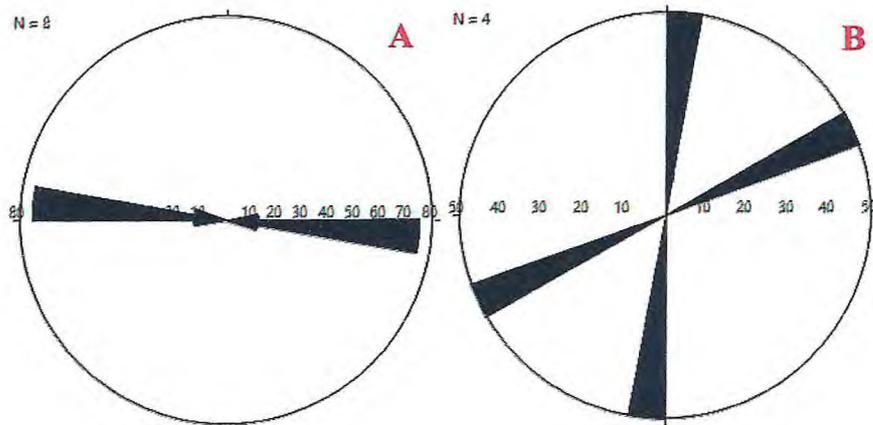
Fonte: A autora.

Figura 5.39 – Metatexito com fratura extensional preenchida por material pegmatítico.



Fonte: A autora.

Figura 5.40 – a) Diagrama de roseta para fraturas mostrando as fraturas extensionais com direção L-W; b) Diagrama de roseta exibindo pares ordenados de fraturas.



Fonte: A autora.

## 5.4 Metamorfismo

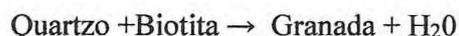
Com base nas descrições petrográficas, apoiadas em associações e paragêneses minerais, foi possível estimar as condições de pressão e temperatura a que foram submetidas as rochas.

### 5.4.1 Xisto

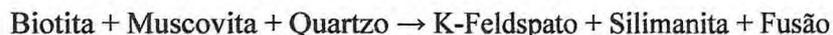
A associação mineral que caracteriza este litotipo é constituída por:

Biotita + Plagioclásio + K-feldspato + Quartzo + Granada ± Silimanita ± Muscovita ± Grafita ± Flogopita

A granada representa temperaturas mais elevadas que a biotita, sendo formada pela seguinte reação:

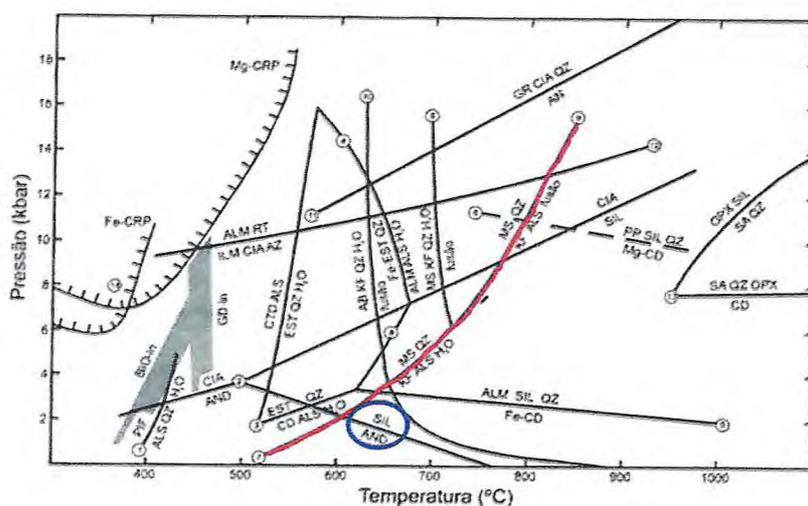


A fase aluminosa do xisto é marcada pela presença de muscovita, biotita e silimanita. Com aumento da temperatura a muscovita deixa de ser estável e há formação da silimanita, onde sua presença sugere condições de temperaturas mais elevadas (Winkler, 1977). Feldspato potássico e silimanita são formados de acordo com a seguinte reação:



Para a ocorrência desta reação são necessários parâmetros de pressão e temperatura, os quais são representados pela curva de estabilidade da muscovita (Figura 5.41).

Figura 5.41- Grade petrogenética para metassedimentos pelíticos. A curva da muscovita (em vermelho) representa os limites para que a muscovita reaja com quartzo para a geração do k-feldspato.



Fonte: Modificado de Thompson (1982).

A partir das paragênese que compoem as associações minerais, sugere-se que o metamorfismo do xisto ocorreu em condições de fácies Anfíbolito com temperaturas superiores a 650°C e pressões maiores ou iguais a 3,2 Kbars. Estes valores mínimos estão balizados pela presença generalizada de sillimanita (veja elipse desenhada no diagrama).

#### 5.4.2 *Grafita*

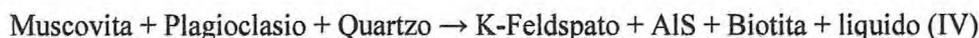
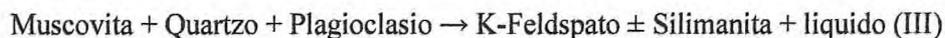
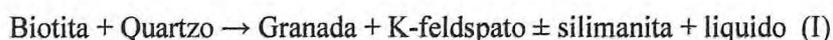
A grafita pode ocorrer como componente do xisto, associada a zona de cisalhamento. A associação regional de xistos com mármore sugere que o Carbono necessário para a formação da Grafita foi oriundo de sedimentos carbonáticos, através da percolação de flúidos metamórficos liberados no processo de reações de descarbonatação. Sugere-se que a grafita é indicativo de alta pressão, pois geralmente é encontrada em pressões elevadas que variam de 7 até 12 kbar (Fragomeni, 2011).

#### 5.4.3 *Metatexito a biotita*

Associação mineral presente é composta por:

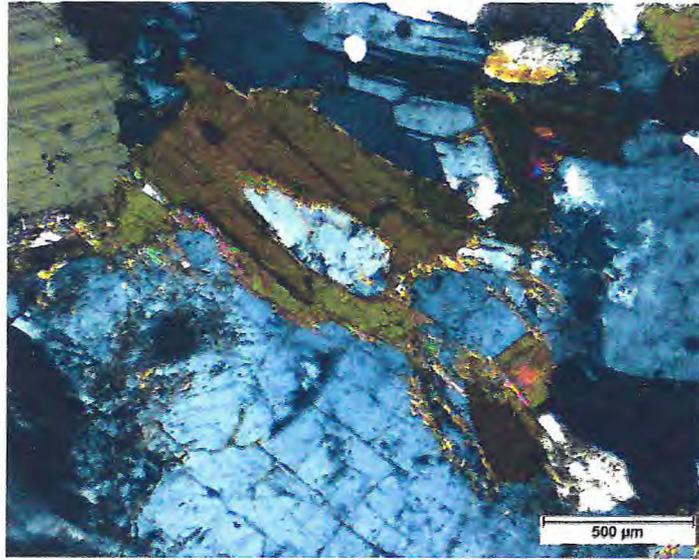
Plagioclásio + Quartzo + Biotita + Muscovita + K-feldspato ± Granada ± Silimanita ± Apatita

Os metatexitos a biotita tem como protólito os xistos, sendo resultantes da fusão parcial dos mesmos, a qual pode ocorrer em níveis distintos, formando tanto metatexitos como diatexitos. Ocorrem as seguintes reações de fusão:



O K-feldspato foi formado a partir da reação da muscovita com o quartzo, onde a muscovita é fruto da desestabilização da biotita no processo de fusão (Figura 5.42). A formação de sillimanita sugere um protólito xistoso (paraderivado), como dito antes.

Figura 5.42 – Formação de *k*-feldspato a partir da reação da muscovita com o quartzo.



Fonte: A autora.

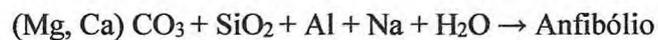
#### 5.4.4 Anfibólito

Os anfibólitos tem associação mineral composta por:

Anfibólio + Plagioclásio ± Flogopita ± Granada ± Clinopiroxênio ± Titanita ± Apatita ± Quartzo

De acordo com análises químicas no MEV, sabe-se que o anfibólio presente na rocha é a actinolita, formada basicamente por cálcio, magnésio, ferro e silício.

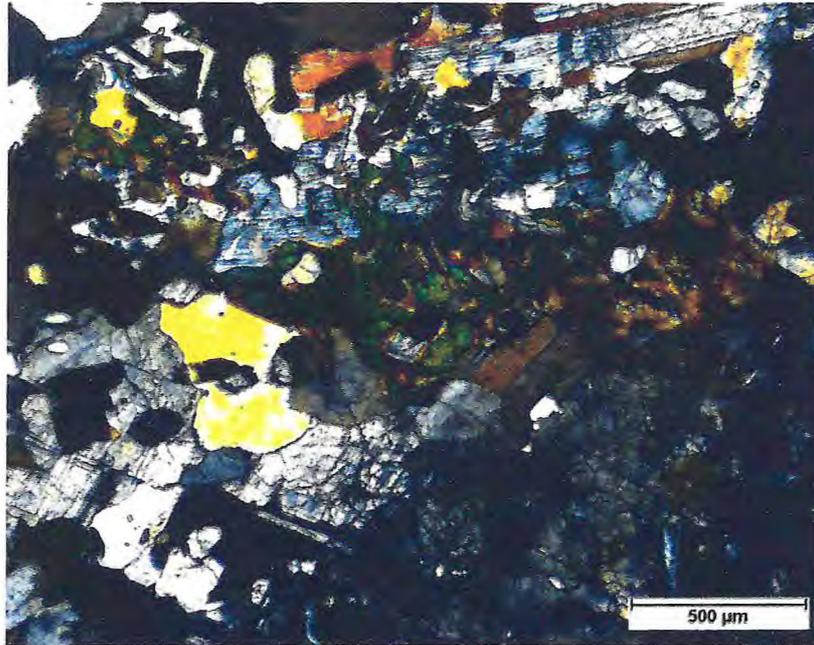
A Unidade Independencia é formada por mármore dolomíticos, os quais possuem magnésio e cálcio na sua composição, sugerindo que estes mármore são os protólitos responsáveis pela formação dos anfibólitos através de um metassomatismo. Para que a formação destes anfibólitos ocorra é necessária a presença de água no sistema, a qual possibilita o transporte de sílica, alumínio e sódio. A sua formação ocorre de acordo com a reação:



Em lâminas observou-se uma textura simplectítica (Figura 5.43), onde tem-se crescimento de cristais de plagioclásio no anfibólio. Sugerindo que os anfibólitos são resultantes da fusão parcial, por decompressão, de anfibólitos. De acordo com a reação:

Anfibólio → Plagioclásio + Anfibólio

Figura 5.43 Textura simplectítica, crescimento de plagioclásio no anfibólio.



Fonte: A autora.

#### 5.4.5 Metatexito a anfibólio

A associação mineral que caracteriza este litotipo é constituída por:

Plagioclásio + Anfibólio + Quartzo + Biotita + K-feldspato ± Epidoto ± Muscovita ± Sericita  
± Titanita ± Apatita ± Opacos

Os metatexitos a anfibólio (Figura 5.44) são produtos da fusão parcial de anfibolitos, a qual pode ocorrer em níveis distintos, formando tanto anfibolitos como metatexitos a anfibólio. Em percentuais de fusão mais acentuados gera plagioclásio granitos. Esta fusão tem principalmente como produto o plagioclásio, onde o anfibólio fica como restito, como mostra a reação:

Anfibólio → Plagioclásio + Anfibólio

Figura 5.44 – Metatexito a anfibólio exibindo mesossoma composto por anfibólito e leucossoma formado por plagioclásio.



Fonte: A autora.

#### 5.4.6 Rocha Calcissilicática

As rochas calcissilicáticas podem ser formadas a partir do metassomatismo de mármore ou pela fusão parcial dos anfibolitos, formando rochas bandadas com a presença de epidotização. Possui associação mineral composta por:

Anfibólio + Plagioclásio + Quartzo + Epidoto

#### 5.4.7 Leucogranito

A associação mineral que caracteriza este litotipo é constituída por:

K-feldspato + Plagioclásio + Quartzo + Biotita + Muscovita ± Sericita

A formação dos leucogranitos está relacionada a zona de cisalhamento, onde há um regime transtensional que leva a formação de sítios de dilatação (Figura 5.45), resultando na descompressão e por conseguinte fusão de metatexitos a biotita e xistos formando líquidos de composição granítica. Ocorre de acordo com a reação:

Muscovita + Quartzo  $\rightarrow$  K-feldspato + Líquido

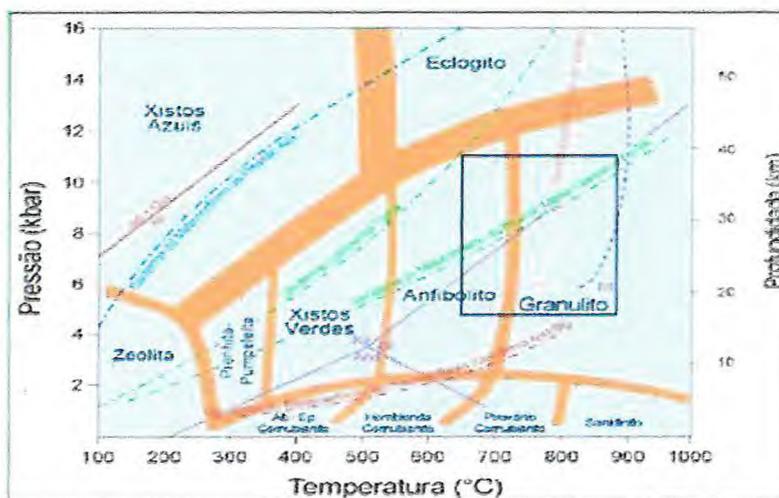
Figura 5.45 – Leucogranito intercalado com xisto na forma de sítios de dilatação.



Fonte: A autora.

A anatexia da área se deu a partir de uma fase flúida livre ou por desidratação de filossilicatos, como biotita e muscovita (Winkler et al, 1977). Tem-se como mineral índice a silimanita que indica fusão no fácies anfibolito alto (Williams, 1985). Próximo à área foi encontrado rutilo, o qual evidencia o pico metamórfico, podendo indicar metamorfismo no fácies granulito (Lopes e Almeida, inédito, 2016). Portanto, sugere-se que o metamorfismo está entre o fácies anfibolito alto a granulito (Figura 5.46), com temperaturas variando de 650 a 850°C e pressões que variam de 4 a 12 kbar.

Figura 5.46 – Gráfico de Fácies Metamórficos evidenciando os fácies que ocorrem na área de estudo.



Fonte: Modificado de Yardley (2004).

## 5.5 Litoestratigrafia

A área é composta por duas Unidades litoestratigráficas, de mesma idade, formadas por xistos, anfibolitos, metatexitos a biotita, metatexitos a anfibólio, rochas calcissilicáticas, diatexitos a biotita e leucogranitos. Além de pegmatitos e basálticos que geralmente estão cortando as demais litologias e uma cobertura flúvio-aluvionar. Foi construída uma coluna litoestratigráfica para a representação das unidades (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Coluna litoestratigráfica.

IDADE		UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGIAS
Fanerozóico	Quaternário	Cobertura Flúvio-Aluvionar	Constituída por sedimentos de granulação fina à grossa, havendo uma variação quanto às características dos solos de cada unidade de acordo com o litotipo presente.
	Mesozóico Jurássico (195-140 Ma)	Basaltos	São rochas básicas afaníticas que ocorrem na forma de diques, que são corpos tabulares intrusivos, com direção preferencial próxima a E-W, descontínuos, com espessuras que chegam até 2 metros.
Proterozóico	Neoproterozóico (1000-540Ma)	Pegmatitos	Granulação muito grossa, ocorrem cortando a foliação migmatítica principal, por vezes acompanhando a foliação, possuem cor rósea e composição de quartzo, feldspatos e localmente micas.
		Leucogranitos	Possuem granulação média à grossa e de coloração cinza claro ou róseo variando tons de amarelo quando intemperizado e soa compostos basicamente por quartzo, plagioclásio, biotita.
		Diatexitos a biotita	Coloração cinza, granulação média. Compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato, biotita, por vezes muscovita. Não apresenta bandamento composicional.
		Rochas Calcissilicáticas	Granulação média, coloração verde escura com leitos esbranquiçados, associadas a metatexitos e anfibolitos. Compostas basicamente por anfibólio, plagioclásio e quartzo. Presença de epidotização.

		Metatexitos a anfibólio	Ocorrem em 25% da área, na forma de lajedos, com coloração variada e granulação média. Apresentam estruturas do tipo estromático, com variações locais para schlieren e schollen. Compostos por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, anfibólio, biotita, por vezes muscovita e flogopita.
		Metatexitos a biotita	Litologia dominante, ocorrem em cerca de 45% da área, com granulação média. Compostos por quartzo, biotita, plagioclásio, k-feldspato, por vezes granada e silimanita. Apresentam estruturas do tipo estromático, com variações locais para schlieren.
		Anfibolitos	Apresentam granulação média a grossa, mineralogia formada por anfibólio e plagioclásio, por vezes flogopita. Geralmente associados a metatexitos a anfibólio e rochas calcissilicáticas.
		Xistos	Ocorrem em forma de lentes, compostas por biotita, muscovita, granada, quartzo, plagioclásio, k-feldspato e silimanita, raramente com flogopita. Intercalados com metatexitos a biotita e leucogranitos.

Fonte: A autora.

## **6 RECURSOS ECONÔMICOS**

Os recursos minerais da região são representados basicamente por pegmatitos, silexitos e grafita.

### **6.1 Pegmatitos**

Os pegmatitos representam uma das principais fontes de recursos minerais com aplicação industrial na região nordeste do Brasil. São importantes produtores de minerais de tântalo, nióbio, estanho, berílio e lítio e minerais industriais como feldspatos e micas.

Os pegmatitos da área estão geralmente associados aos metatexitos, encontram-se constituindo o leucossoma destes ou como blocos soltos e são constituídos principalmente por quartzo, plagioclásio e k-feldspato. Possuem comprimento decimétrico a métrico, largura centimétrica, não ocorrendo de forma contínua, o que pode inviabilizar sua extração devido ao baixo volume.

### **6.2 Silexitos**

Silexitos são bastante usados nas indústrias siderúrgicas de todo Brasil para a formação de ligas de ferro e silício. Os silexitos da área ocorrem preenchendo fraturas *in situ* ou como blocos soltos, quando encontrados *in situ* possuem dois padrões de fraturamento e um espaçamento curto entre eles. Isto dificulta o seu aproveitamento econômico como rocha ornamental, porém não o inviabiliza no uso em siderúrgicas.

### **6.3 Grafita**

A grafita é bastante usada na indústria com diferentes aplicações. Ocorre como componente do xisto disposta ao longo de uma zona de cisalhamento, possivelmente a Zona de Cisalhamento Paramoti, exibindo uma continuidade. São necessários estudos mais detalhados para saber se é possível a viabilização econômica deste mineral.

Os recursos minerais ocorrentes na área de acordo com dados levantados durante o mapeamento, apresentam-se com volume limitado, sendo necessários estudos mais aprofundados e focados na exploração econômica.

## 7 EVOLUÇÃO

Os anfibolititos são formados a partir do metassomatismo de mármore, onde a fusão parcial subsequente destes anfibolititos resultou na formação de anfibolitos e metatexitos a anfibólito neste último caso deixando calcissilicáticas como restitos.

A fusão parcial de xistos produziu metatexitos a biotita, diatexitos a biotita e leucogranitos. Xistos e metatexitos a biotita possuem silimanita, a qual indica um geotermo regional de até 700°C (Williams, 1985). A presença de grafita com o xistos, sugere pressões em torno de 7 até 12 kbar (Fragomeni, 2011). Próximo à área foram encontrados rutilos, o qual evidencia o pico metamórfico, podendo indicar metamorfismo no fácies granulito (Lopes e Almeida, inédito, 2016).

Milonitos marcam a existência de uma zona de cisalhamento dúctil, direção N-S, provavelmente a continuidade da Zona de Cisalhamento Paramoti. Estes milonitos exibem  $L_x$  variando de 30 a 80° e sentido de caimento concordante com o sentido de mergulho da foliação. Estes valores de  $L_x$  sugerem uma zona de cisalhamento dúctil de transcorrência (dextral) com forte componente de empurrão, caracterizada como uma transpressão, com sentido de transporte tectônico para sudoeste.

Estas litologias possivelmente foram formadas durante um mesmo evento, o Ciclo Brasileiro, onde rochas possuem níveis distintos de metamorfismo.

A anatexia generalizada sugere um metamorfismo regional com pico metamórfico no fácies Anfibolito alto e Granulito, com temperaturas variando de 650 a 850°C e pressões que variam de 4 a 12 kbar.

A região é interpretada como uma plataforma continental, formada pela intercalação de rochas areníticas, argilosas e carbonáticas. As porções argilosas são representadas por xistos e metatexitos a biotita. Mármore e seus respectivos correspondem as porções carbonáticas da plataforma. As porções areníticas são formadas pelos quartzitos da região da serra de Baturité (Torres, 2006).

A ausência de deformação nos leucossomas dos migmatitos sugerem uma idade Neoproterozóica para o metamorfismo destas rochas.

## 8 CONCLUSÕES

A realização do mapeamento geológico, integrado com estudos petrográficos, permitiu a identificação de litologias que compõem as Unidades Independência e Canindé, indubitavelmente metamórficas, além de diques pegmatíticos, silexitos, rochas do Magmatismo Ceará-Mirim e coberturas flúvio-aluvionares.

A Unidade Independência é composta por anfibolitos, metatexitos a anfibólio e rochas calcissicáticas. Xistos, metatexitos a biotita, leucogranitos e milonitos formam a Unidade Canindé, sendo esta a mais representativa da área. Ocorrem, como corpos tardios cortando estas litologias, silexitos, diques pegmatíticos e diques basálticos (Magmatismo Ceará Mirim).

Foram identificados quatro padrões de foliação  $S_n$ ,  $S_{n-1}$ ,  $S_0$  e  $S_{n+1}$ , sendo  $S_n$  a principal, marcada por um bandamento migmatítico que possui trend N-S mergulhando para leste e intensidade de mergulho variando de 40 a 80°. Foi caracterizada a existência de uma zona de cisalhamento dúctil, provavelmente a Paramoti, a qual possui direção N-S associada a uma tectônica de empurrão com transcorrência e sentido de transporte tectônico para sudoeste.

O metamorfismo atuante netas rochas compreende os fácies Anfibolito alto e Granulito, com temperaturas variando de 650 a 850°C e pressões que variam de 4 a 12 kbar.

A ausência de deformação nos leucossomas dos migmatitos sugerem uma idade Neoproterozóica para o metamorfismo destas rochas. A região é interpretada como uma plataforma continental, formada pela intercalação de rochas areníticas, argilosas e carbonáticas.

## 9 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA A.R., PARENTE C.V., ARTHAUD M.H. Folha Itatira SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem. CPRM/Serv. Geol. Brasil. Conv. UFCE/CPRM, 2008.
- ALMEIDA, F. F. M., 1977, O Cráton do São Francisco. Rev. Bras. de Geociências, 7: 349-64.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito-Neves B.B., AND Fuck, R.A. 1981. *Brazilian structural provinces: an introduction*. Earth Science Reviews, v. 17, 1-29p.
- Almeida, A.R., Ulbrich, H.H.G.J., McReath, I., (1999). O Batólito Quixadá Petrologia e Geoquímica, Revista de Geologia 12, 29-52.
- AMARAL, W. S., 2007, Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição à Evolução Geodinâmica do Domínio Ceará Central, Província Borborema. Dissertação de Mestrado (Santos, T. J. S.; orientador), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Arthaud, M. 2007. EVOLUÇÃO NEOPROTEROZÓICA DO GRUPO CEARÁ (DOMÍNIO COLISÃO CEARÁ CONTINENTAL BRASILIANA. CENTRAL, NE BRASIL): DA SEDIMENTAÇÃO À COLISÃO CONTINENTAL BRASILIANA. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 2007.
- Brito Neves B.B. & Cordani U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during late Proterozoic. Precambrian Research, 53:23-40.
- BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, U. G. ; MILANI, E. J. ; THOMAZ FILHO, A. ; CAMPOS, D.A. (eds). 2000 Tectonic Evolution of South America. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., Rio de Janeiro, p. 151-182.
- CASTRO, N. A. Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema). 2004. 221 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS, M. F.; PAIVA, I. P.; GOMES, F. E. M.; CAVALCANTES, S. N.; CAVALCANTE, J. E.; MELO, A.C.R.; DUARTE NETO, V. C. & BENEVIDES, H.C. Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/ Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, 2003.

DELGADO I.M., SOUZA J.D., SILVA L.C., SILVEIRA FILHO N.C., SANTOS R.A., PEDREIRA A.J., GUIMARÃES J.T, ANGELIM L.A.A., VASCONCELOS A.M., GOMES I.P., LACERDA FILHO J.V., VALENTE C.R., PERROTTA M.P., HEINECK C.A. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H. Gonçalves. eds. 2003. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Brasília, CPRM. p. 227-334, 2003.

FERREIRA V. P; SIAL, A.N; JARDIM DE SÁ, E.F; Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. J. South Amer. Earth Sci. 11, (5), 419-455, 1995.

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. 1999. 164 f. Thesis. (PhD) - Department of Geology, Kansas University, Kansas, 1999.

Fragomeni, (2011). Levantamento e estudo das ocorrências de grafita do Distrito Grafítico de Aracoiába-Baturité, CE.

Garcia, M.G.M, Arthaud, M.H. 2004. Caracterização de trajetória P-T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena – Ceara Central (NE Brasil). Revista de Geologia, Universidade Federal do Ceará. 17, 173-191.

HOBBS, B.E.; MEANS, W.D. & WILLIAMS, P.F. 1976. An outline of structural geology. John Willey & Sons Inc., Singapore, 571p.

Lopes e Almeida, 2016, MAPEAMENTO GEOLOGICO DE PARTE DA UNIDADE CANINDÉ NO DISTRITO DE SÃO BERNARDO, MUNICÍPIO DE CANINDÉ – CE FORTALEZA, UFC.

NEVES B.B.B. Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino. São Paulo, Inst. Geoc. USP. 198p. Tese Dout., 1975.

NOGUEIRA, J. F. Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central. 2004. 123 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

Oliveira, D.C. Mohriak, W.U., (2003). Jaíbaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology* 20, 351-383.

Paulo Roberto Pizarro Fragomeni, Ronaldo Mello Pereira. As mineralizações de grafita do Distrito de Aracoiába-Baturité (CE): implicações geotectônicas e metalogenéticas.

SILVA, 2002. REAVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA EM TERRENOS PRÉ-CAMBRIANOS BRASILEIROS COM BASE EM NOVOS DADOS U-Pb SHRIMP, PARTE III: PROVÍNCIAS BORBOREMA, MANTIQUEIRA MERIDIONAL E RIO NEGRO-JURUENA.

Trompette R. 1994. *Geology of the Western Gondwana (2000 - 500 Ma): Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa*. Rotterdam, 350p.

THOMPSON, A. B., 1982. Dehydration melting of pelitic rocks and the generation of H<sub>2</sub>O-undersaturated granitic liquids. *American Journal of Science*, 282, 1567-95.

TORRES, P.F.M; PARENTE, C.V; SIAL, A.N; DANTAS, E.L; FUCK, R.A; VERÍSSIMO, C.U.V; ARTHAUD, M.H. Aspectos Geológicos, Petrográficos e Geoquímicos dos Mármore Dolomíticos com Nódulos de quartzo da Sequência Metavulcanossedimentar de Acarape – CE. *Revista Brasileira de Geociências*. 36 (4): 748-760, 2006.

VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., HACKSPACKER, P.C., BABINSKI, M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*. 8:267-288.

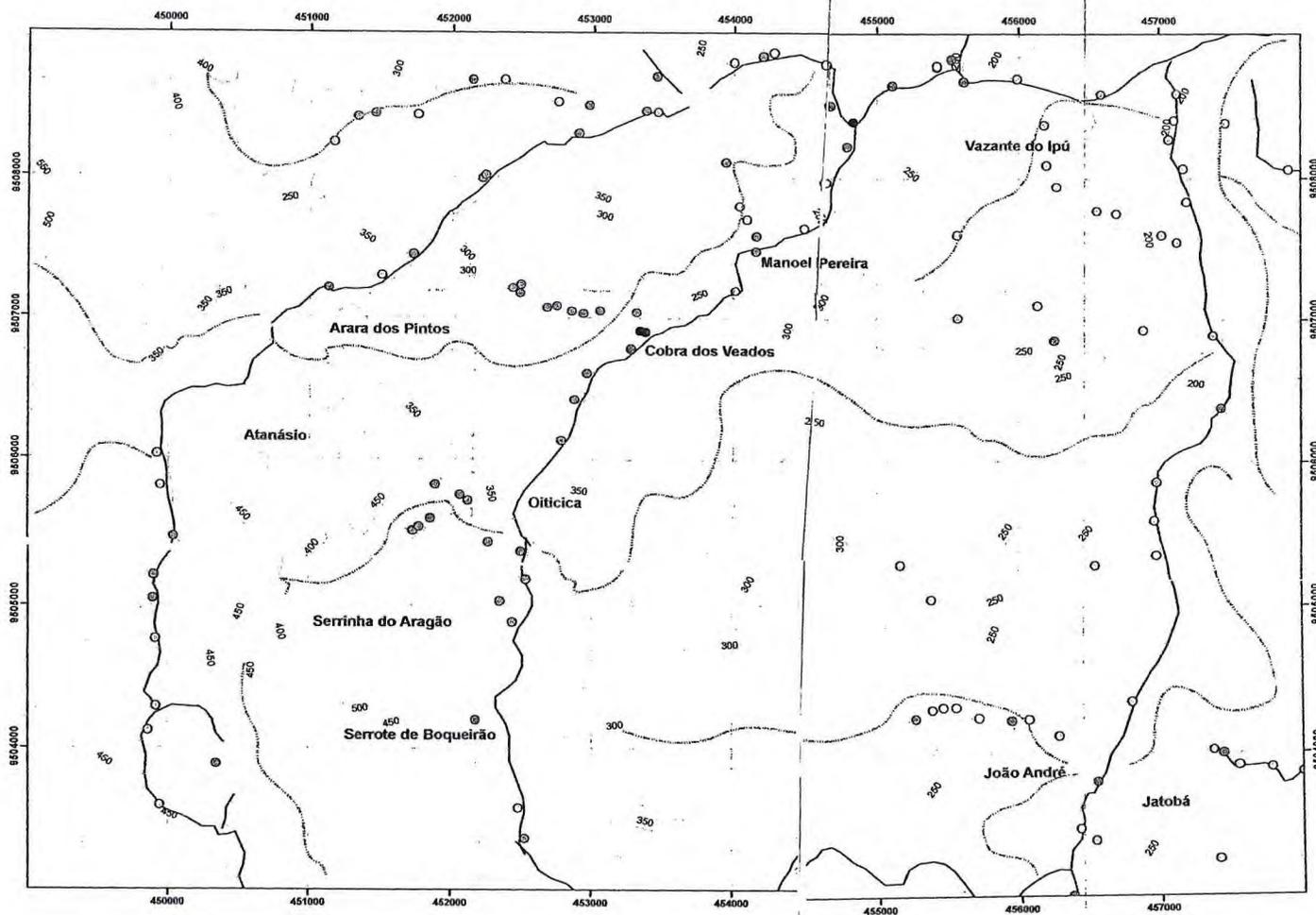
Winkler, (1977). *Pertogenese das rochas metamórfica*.

YARDLEY, Bruce W.D. 1994. Introdução à Petrologia Metamórfica. Editora Universidade de Brasília.

**ANEXO A – MAPA DE PONTOS**

## **ANEXO B – MAPA GEOLÓGICO**

# Mapa de Pontos do Distrito de Manoel Pereira - Município de Canindé



## Litologias

- Basalto
- Silexito
- Calcissilicática
- Metatexito a anfibólio
- Anfibolito
- Leucogranito
- Diatexito a biotita
- Metatexito a biotita
- Xisto

## Covenções Cartográficas

- Drenagens
- Acessos
- Curvas de nível



1:25.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR □  
Datum horizontal: WGS84

Universidade Federal Do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia  
Graduanda:  
Jéssica Patrícia Capistrano Lins

Orientador:  
Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida