



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

GRANULITOS ADJACENTES AO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO NA
REGIÃO DE CARIRÉ, DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL: ASPECTOS
PETROGRÁFICOS E GEOQUÍMICOS

Lays Helmer Mengal

Orientador: Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral
Co-orientador: Prof. Me. João Paulo Araújo Pitombeira

Campinas-SP
Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**GRANULITOS ADJACENTES AO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO NA
REGIÃO DE CARIRÉ, DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL: ASPECTOS
PETROGRÁFICOS E GEOQUÍMICOS**

Lays Helmer Mengal

Trabalho de conclusão de curso apresentado em 12 de Dezembro de 2016 para obtenção do título de Bacharel em Geologia pelo Instituto de Geociências da UNICAMP.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral (Orientador)
Prof. Dr. Ticiano José Saraiva dos Santos
Prof. Dr. Vinicius Tieppo Meira

À família e amigos

AGRADECIMENTOS

Toda caminhada tem um início, um meio e um fim, e eu cheguei ao fim de mais uma que se iniciou a algum tempo atrás, a graduação. Não foi fácil, houveram flores e pedras pelo caminho. Todas elas eu coletei. Com as flores fiz buquês; as pedras coleciono na minha estante. Vale ressaltar que ao longo desta caminhada eu nunca estive só. Todos os que passaram pelo meu caminho tiveram sua importância, e por isso, quero agradecer a companhia de todos ao longo desta trajetória.

À minha mãezinha, Ana, mulher mais maravilhosa deste universo. Meu girassol, meu alicerce, meu pilar, meu coração. Sem seu suporte e inabalável fé na vida nada disso teria sido possível. Você me ensinou a ser sempre uma pessoa boa, independentemente da situação em que nos deparamos.

Ao meu pai, Ângelo, que mesmo distante se fez presente à sua maneira. As longas ligações, as longas horas de viagem para que pudéssemos passar um tempo juntos, seu apoio e sua ajuda se fizeram fundamentais para que eu pudesse realizar o sonho de me tornar uma geóloga.

Aos amigos de Cotia e São Paulo peço desculpas pela ausência em tantos momentos em que não estive por perto. Agradeço por entenderem e por sempre terem me dado forças para conquistar o que eu vim para outra cidade buscar. Vocês se fizeram presentes sempre nas horas certas.

Aos amigos de ainda mais longe, de outros estados do Brasil, apesar da distância, das ligações e conversas esporádicas, foram ótimos os momentos que pudemos passar juntos e as histórias que pudemos dividir. Vocês também foram essenciais para ser quem eu sou hoje.

Aos amigos que eu fiz em Barão Geraldo e pela Unicamp à fora obrigado por tudo! Pelas conversas de bar e pelas conversas acadêmicas, pelas festas e pelos estudos, pelos almoços e pelos cafezinhos. Sem cada um de vocês esta experiência não teria sido a mesma. Levo comigo um pedacinho de cada um de vocês e espero ter deixado em vocês um pouquinho do melhor de mim.

Às amigas da melhor república de Barão Geraldo, irmãs que a vida me deu, as mais belas e guapas Lakukarets. Obrigado por todas os jantares, vinhos, brigadeiros,

treinos e casamentos. Vocês são ótimas! Cada dia em Barão não teriam sido os mesmos sem vocês.

Às Geogatas Marcela Moretti, Halina, Marcela Stolf e Débora, flores mais lindas que a Geologia me trouxe. Todas as experiências e momentos que vivemos juntas nos aproximou cada vez mais. Não saberia por onde começar a agradecer. Vocês são maravilhosas! Amigas de faculdade, de profissão e de vida.

Aos meninos do Laboratório de Análises de Incertezas Integradas (LAI), Felipe, Eduardo, Oton, Matheus e Jaume, obrigado pela companhia nos almoços, conversas, cafés e por terem me cedido um cantinho na sala de vocês enquanto eu escrevia este trabalho. Todas as tardes na companhia de vocês foram muito construtivas.

Aos amigos da Geologia e da turma 011, obrigado pelas viagens de campo inesquecíveis. Foi um prazer dividir parte da minha aprendizagem em Geologia com vocês.

A todos os professores agradeço a base concedida durante todo período de aprendizagem, compartilhando o conhecimento de longos anos de pesquisas e estudos. Em especial, agradeço ao professor Giorgio Basilici, por ter sido um dos primeiros professores a me dar base nos estudos de Geologia e me proporcionar o primeiro contato com a pesquisa acadêmica, e ao Ticiano, que ao longo da graduação se tornou não apenas um professor, mas também um amigo.

Ao João Paulo, amigo e co-orientador, agradeço não apenas pelas diversas vezes em que me ajudou compartilhando comigo seu conhecimento em campo e no processo de elaboração da parte escrita deste trabalho, mas também pelas conversas aleatórias e comentários engraçados durante os estudos.

Ao meu querido professor e orientador Wagner Amaral (Lo), agradeço a confiança, paciência (ou falta dela), conselhos e todo o suporte oferecido ao longo do tempo em que trabalhamos juntos.

Por fim, agradeço à instituição UNICAMP e a todos os funcionários do Instituto de Geociências que me auxiliaram nas mais diversas questões ao longo desses anos.

Sempre é inevitável que na hora de agradecer esqueçamos de algumas pessoas, por isso peço desculpas aos que porventura omiti. Assim, todos que fizeram parte dessa experiência, do fundo do meu coração, muito obrigado!

"Happiness is only real when shared"

(– Into the Wild)

"You were only waiting for this moment to arise"

(Blackbird – The Beatles)

RESUMO

Os enderbitos da Faixa Granulítica de Cariré, região noroeste do Domínio Ceará Central, Província Borborema, ocorrem associadas ao Lineamento Transbrasiliano. O lineamento é uma megazona de cisalhamento com caráter transcorrente dextral e sinistral que recorta a área de estudo no sentido NE-SW estendendo-se ao longo de toda Placa Sul-Americana até o nordeste da África. As litologias da região de Cariré foram estudadas com base em análises petrográficas e geoquímicas. A petrografia identificou clinopiroxênio + plagioclásio + granada + hornblenda ± quartzo ± rutilo como paragênese para os granulitos máficos e ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio + quartzo ± hornblenda ± granada ± biotita, para os granulitos félsicos. Dados geoquímicos mostraram afinidade cálcio-alcálica de baixo K a tholeiítica, metaluminosa e magnésiana, com enriquecimento em elementos LILE e LREE, e anomalias positivas e negativas observáveis em HFSE para estas rochas. A soma dessas informações sugere um ambiente de formação pré-colisional com assinatura geoquímica de arco vulcânico. Essas informações permitiram caracterizar os protólitos que originaram os granulitos da região como gabros monzogabros para os granulitos máficos; e tonalitos, granodioritos a monzodioritos, para os granulitos félsicos. O metamorfismo de alto grau ocorreu em zona infracrustal até a exumação rápida destas rochas. Este processo é evidenciado pelas texturas de descompressão ocasionadas pelos de falhamentos reversos e transcorrência oblíqua, provavelmente durante a fase de colisão continental no fim da orogenia Brasileira/Pan-Africana.

Palavras-chave: *Granulitos. Lineamento Transbrasiliano. Domínio Ceará Central.*

ABSTRACT

The enderbites of Cariré granulites region, northeast portion of Ceará Central Domain, Borborema Province, occur associates to Transbrasiliano Lineament. The lineament is a strike-slip shear zone with dextral and sinistral transcurrence character which crosses the study area with NE-SW trending, extending across the entire South-American plate until the northeast Africa. The lithologies of Cariré region were estuded based on petrographic and geochemical analyzes. The petrography identified clynopiroxene + plagioclase + garnet + hornblende $\pm$ quartz $\pm$ rutile as paragenesis to mafic granulites and orthopyroxene + clinopyroxene + plagioclase + quartz $\pm$ garnet $\pm$ biotite, to felsic granulites. Geochemical data showed low K calc-alkaline to tholeiitic affinity, metaluminous and magnesian, with enrichment in LILE and LREE elements, and positive and negative anomalies observable in HFSE for these rocks. The sum of these informations suggest a pre-colisional formation environment with volcanic arc signature. These informations allowed to characterize the protoliths that originated the granulites of the region as gabbros to monzogabros for the mafic granulites; and tonalites, granodiorites to monzodiorites, for the felsic granulites. The high grade metamorphism occurred in infrascrustal zone until the rapid exumation of these rocks. This process is evidenced by descompression textures caused by reversal faults and oblique trancurrence, probaly during the continental collision phase at the end of the Brazilian/Pan-African orogeny.

Keywords: *Granulites. Transbrasiliano Lineament. Ceará Central Domain.*

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativas	2
1.3 Localização e Vias de Acesso	3
2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	5
2.1 Geomorfologia	5
2.2 Clima.....	5
2.3 Vegetação.....	5
2.4 Hidrografia.....	6
3. MATERIAS E MÉTODOS	7
3.1 Etapa Pré-Campo.....	7
3.2 Etapa de Campo	10
3.3 Etapa Pós-Campo	10
3.3.1 Preparação de Amostras	10
3.3.2 Petrografia.....	11
3.3.3 Geoquímica de Rocha Total	11
3.3.3.1 Fluorescência de Raio X	11
3.3.3.2 Espectrometria de Massa (ICP-MS)	12
4. GEOLOGIA REGIONAL	13
4.1 Domínio Médio Coreaú (DMC).....	16
4.2 Domínio Ceará Central (DCC)	19
4.2.1 Núcleo Arqueano.....	19
4.2.2 Embasamento Gnáissico Paleoproterozoico.....	19
4.2.3 Supracrustais Neoproterozoicas	20
4.3.1 Lineamento Transbrasiliano (LTB).....	21
4.4 Bacia do Jaibaras (BJ)	21
5. GEOLOGIA LOCAL	24
Figura 5.1 – Mapa de Pontos da Faixa Granulítica de Cariré.	25
5.1 Região Granulítica de Cariré.....	27
5.2 Feições de Campo	27
5.2.1 Granulitos Félsicos	29
5.2.2 Granulitos Máficos	31
5.2.3 Granitos	33

6. PETROGRAFIA.....	34
6.1 Granulitos Félsicos	34
6.2 Granulitos Máficos	38
6.3 Granitos.....	41
7. GEOQUÍMICA	42
7.1 Diagramas Classificatórios.....	42
7.2 Diagramas Multielementares e Spirderdiagramas.....	48
7.2.1 Elementos Maiores e Menores	48
7.2.2 Elementos Terras Raras.....	51
7.2.3 Elementos Menores, Traços e Terras Raras	51
7.3 Diagramas de Discriminação Tectônica	53
8. DISCUSSÃO E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	56
9. CONCLUSÕES.....	63
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
11. ANEXOS.....	74
11.1 Fluorescência de Raio-X	74
11.2 Espectrometria de Massas (ICP-MS)	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa de Localização e vias de acesso da área de estudo.	4
Figura 2.1 – Mapa geomorfológico simplificado do Ceará. (Fonte: Moro, 2015).....	6
Figura 3.1 – Modelo Digital de Elevação de Terreno (SRTM) após a transformação hillshade. Destaque para a área de estudo.	8
Figura 3.2 – Mapa Planialtimétrico, locais e vias de acesso.	9
Figura 4.1 – a) Configuração do paleocontinente Gondwana Ocidental, por volta de 500 Ma. Principais províncias geológicas e correlação entre o nordeste do Brasil e o oeste africano (Caby, 1989; Santos <i>et al.</i> , 2008; Van Schmus <i>et al.</i> , 2008); b) Mapa geológico simplificado do setor norte-noroeste da Província Borborema mostrando os principais domínios tectônicos e as principais zonas de cisalhamento brasileiras (fonte: Pedrosa Jr <i>et al.</i> , 2015).....	14
Figura 4.2 – Esboço tectônico simplificado do bloco norte da Província Borborema, mostrando os três principais domínios tectônicos e plútons graníticos brasileiros situados a norte do Lineamento Patos (PaL): Lineamento Transbrasiliiano (TBL); Lineamento Senador Pompeu (SPL) (fonte: Amaral <i>et al.</i> , 2012).....	15
Figura 4.3 – Mapa Geológico dos Domínios Médio Coreaú (DMC) e Ceará Central (DCC). Legenda: 1. Cobertura aluvial; 2. Bacia do Parnaíba; 3. Bacia do Jaibas; 4. Granitos e Monzogranitos do Brasileiro; 5. Granulitos de Cariré; 6. Retroeclogitos de Forquilha; 7. Bacia	

do Ubajara; 8. Arco Magmático de Santa Quitéria; 9. Grupo Martinápole; 10. Grupo Ceará; 11. Complexo Canindé; 12. Granulitos Granja; 13. Embasamento migmatítico e gnáissico. (Amaral *et al.*, 2012). 18

Figura 4.4 – Mapa geológico simplificado do arcabouço estrutural e unidades litoestratigráficas da Bacia do Jaibaras. Domínios estruturais: DMC - Médio Coreaú; DCC – Ceará Central. Zonas de cisalhamento: ZCSP II – Sobral-Pedro II; FCI – Café-Ipueiras (Modificado de Cavalcante *et al.*, 2003 (Escala 1:500.000); Santos *et al.*, 2002, 2008; Amaral, 2010). 23

Figura 5.1 – Mapa de Pontos da Faixa Granulítica de Cariré. 25

Figura 5.2 – Mapa Geológico da Faixa Granulítica de Cariré (modificado de Amaral *et al.*, 2012). 26

Figura 5.3 – Feições de Campo. (A), (B) e (C) Aspecto geral dos afloramentos de corte de estrada da Faixa Granulítica de Cariré (LW-14-01, 05 e 12, respectivamente); (D) Afloramento da ferrovia (LW-14-03); (E) Intrusão granítica no milonito (LW-14-06); (F) Afloramento do Transbrasiliano (LW-14-14). 28

Figura 5.4 – Principais feições de campo dos granulitos enderbíticos. (A) Contato entre granito e granulito; (B) Leucossomas com porfiroclastos de plagioclásio (LW-14-06); (C) Granulito transicional (LW-14-01); (D) Tension gashes sinistrais (LW-14-14); (E) Indicadores de deslocamento sinistrais (LW-14-14); (F) Intrusão granítica (LW-14-14). 30

Figura 5.5 – Principais feições de campo dos cpx-grt anfibolitos. (A) Aspecto geral dos granulitos máficos (LW-14-07); (B) Delta dextral de plagioclásio (LW-14-11); (D) Intrusão de dique basáltico (LW-14-09); Veios pseudotaquiliticos; (LW-14-07); (F) Alteração epidotica (LW-14-07). 31

Figura 5.6 – Principais feições de campo dos granitos. (A) Dique granítico em granulito félsico (LW-14-14); (B) Relação de encaixe do granito e dos indicadores cinemáticos das encaixantes (LW-14-14); (C) e (D) Deslocamento sinistral dos diques graníticos (LW-14-14). 33

Figura 6.1 – Características petrográficas dos granulitos félsicos. (A) Fotomicrografia mostrando o preenchimento das fraturas da granada por clorita ea sericita em luz polarizada; (B) Fotomicrografia exibindo o bordejamento da granada porplagioclásio; (C) Fotomicrografia de cristais de ortopiroxênio com coloração rósea e clinopiroxênio com alta birrefringência em luz polarizada; (D) Fotomicrografia de cristais de ortopiroxênio com coloração acinzentada em luz polarizada; (E) Fotomicrografia dos cristais isolados de ortopiroxênio e clinopiroxênio em luz polarizada; (F) Fotomicrografia com a relação de contato e substituição entre os cristais de ortopiroxênio, clinopiroxênio e anfibólio em luz polarizada; (G) Fotomicrografia exibindo solução sólida de clinopiroxênio e ortopiroxênio; (H) Fotomicrografia a exossolução de clinopiroxênio e ortopiroxênio em luz normal; (I) Fotomicrografia da substituição de ortopiroxênio por clinopiroxênio em luz polarizada; (J) Fotomicrografia da substituição de clinopiroxênio por anfibólio em luz polarizada; (K) Fotomicrografia de plagioclásio zonado poiquilítico e em processo de saussuritização; (L) Fotomicrografia de um cristal de microclínio em meio ao bandamento félsico. 36

Figura 6.2 – Características petrográficas dos granulitos máficos. (A) Fotomicrografia da granada bordejada por plagioclásio e hornblenda; (B) Fotomicrografia do plagioclásio com macla carlsbad preservada; . (C) Fotomicrografia da relação de contato entre o clinopiroxênio e o plagioclásio intensamente sericitizado; (D) Fotomicrografia da alteração do clinopiroxênio para anfibólio; (E) Fotomicrografia de um simplectito de plagioclásio e anfibólio; (F) Fotomicrografia de um cristal de microclínio em meio ao bandamento félsico; (G) Fotomicrografia de granada percoladas por chamosita; (H) Fotomicrografia da alteração clorítica no cpx anfibolito.....	39
Figura 6.3 – Características petrográficas do granito. (A) Fotomicrografia mostrando a intensa sericitização do plagioclásio, vênulas de quartzo em plagioclásio e mimerquita de feldspato e plagioclásio; (B) Fotomicrografia indicando quartzo mono e policristalino, alteração do plagioclásio e muscovita.	41
Figura 7.1 – Diagrama de Álcalis vs. Sílica proposto por Middlemost (1985) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.	43
Figura 7.2 – Diagrama normalizado nos termos de composição de An-Ab-Or por O'Connor (1965) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.....	44
Figura 7.3 – Diagrama das Séries Calcicalina-Tholeiítica vs. Sílica por Miyashiro (1974) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.	45
Figura 7.4 – (a) Diagrama do Índice de Ferro; (b) Diagrama do Índice de Calcio-Alcalino; (c) Diagrama do Índice de Alumina Saturação propostos por Frost <i>et al.</i> (2001) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.	46
Figura 7.5 – Diagramas de variação dos óxidos em relação a SiO ₂ proposto por Harker para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.	50
Figura 7.6 – Normalização Condritica dos Elementos Terras Raras por Boynton (1984) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.	51
Figura 7.7 – Normalização Infracrustal dos multielementos por Weaver & Tarney (1984) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré (algumas amostras não possuem todos os elementos por isso plotaram como linhas).....	53
Figura 7.8 – Diagrama Multicatiônico R ₁ -R ₂ por Batchelor + Bowden (1985).	54
Figura 7.9 – Diagramas de Discriminação Tectônica dos Granitos por Pearce (1984). (a) Rb vs. Y+Nb; (b) Nb vs. Y; (c) Rb vs. Ta+Yb; (d) Ta vs. Yb.	55
Figura 8.1 – Modelo tectônico da evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central (Fonte: Amaral, 2010).....	59
Figura 8.2 – (a) Plotes de U-Pb na linha da concórdia para a amostra não deformada. (b) Detalhe para dois grãos de zircão concordantes em torno de 315 Ma.	59
Figura 8.3 – (a) e (b) Plotes de U-Pb na linha da concórdia para a amostra levemente deformada.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras da região de Cariré.....75

Tabela 2 – Dados geoquímicos obtidos por ICP-MS para as amostras da região de Cariré....80

1. INTRODUÇÃO

A Faixa Granulítica de Cariré localizada na porção norte do Domínio Ceará Central (DCC), Província Borborema, apresenta um contexto geodinâmico peculiar que desperta interesse onde granulitos, rochas de elevado grau metamórfico, afloram adjacentes ao Lineamento Transbrasiliano (Nogueira Neto, 2000; Amaral *et al.*, 2012). Um conjunto de megazonas de cisalhamento secciona toda a região e demonstram importância fundamental na estruturação e alçamento destas rochas da infraestrutura. As Zonas de Cisalhamento de Cariré, Delícias e o Lineamento Transbrasiliano, esse último equivalente a Falha Kandi (4°50') na África, foram responsáveis pelo efeito acentuado de milonitização, resultando na geração de foliação sub-vertical e lineação sub-horizontal, na direção NE-SW (Nogueira Neto, 2000; Amaral, 2010).

Em toda a porção norte do DCC é reconhecida uma intercalação entre migmatitos, ortognaisses e granulitos félsicos e máficos, estes últimos guardando relações de intrusão com os outros litotipos. As condições de pico metamórfico indicam temperaturas entre 804 e 870°C e pressões entre 8.3 e 9.4 Kbar, para os granulitos félsicos, e temperaturas entre 750 e 911°C e pressões entre 10.2 e 13.6 Kbar para os máficos. Adicionalmente feições texturais formadas por simplectitos de clinopiroxênios e plagioclásios nos granulitos máficos, demonstram trajetória retrometamórfica por descompressão isotérmica (ITD) (Nogueira Neto, 2000; Amaral *et al.*, 2012).

Datação Sm-Nd em rocha total apresentam idade modelo (T_{DM}) para os granulitos félsicos entre 2,22 e 2,31 Ga e $\epsilon_{Nd}(0)$ entre -29 e -19,20, enquanto os granulitos máficos exibiram T_{DM} entre 1,61 e 1,39, e valores de $\epsilon_{Nd}(0)$ entre -7,7 e 0,70, respectivamente. Por outro lado, dados recentes de T_{DM} e $\epsilon_{Hf}(0)$ exibiram T_{DM} entre 1,28 e 1,35 Ga, e valores de $\epsilon_{Hf}(0)$ variando entre 0,96 e 2,29 para os granulitos máficos. Estes, forneceram ainda idades U-Pb em zircão metamórfico ao redor de 613 ± 3.4 Ma. Assim, o conjunto dos dados geocronológicos ensejam uma evolução tectono-metamórfica Neoproterozóica associada ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano para as rochas de elevado grau do extremo noroeste do DCC (Amaral *et al.*, 2012).

Apesar da relativa cobertura destes corpos rochosos nos trabalhos mencionados, pouca atenção foi despendida a caracterizar os granulitos félsicos da referida região. Desta forma, o esolpo deste trabalho consiste na realização de análises petrográficas

associadas a estudos geoquímicos detalhados destas rochas que constituem um importante desenvolvimento em direção a um entendimento mais completo acerca da gênese e evolução tectono-metamórfica da Faixa Granulítica de Cariré e sua relação com o Ciclo Brasileiro e a evolução do supercontinente Gondwana Ocidental.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização da evolução dos granulitos félsicos que ocorrem aflorantes adjacentes ao Lineamento Transbrasileiro no Domínio Ceará Central. Sob a perspectiva da análise petrográficas e geoquímica detalhada, buscou-se o aprimoramento da compreensão geológica da região.

Deste modo, tem-se como objetivos específicos os seguintes itens:

- Coletar dados de campo detalhados com descrição e medidas dos alvos selecionados;
- Determinar as condições metamórficas a partir das paragêneses e relações texturais entre os minerais;
- Obter dados geoquímicos dos granulitos félsicos para elementos maiores, menores, traços e Terras Raras visando a caracterização dos protólitos e do ambiente de formação;
- Confeccionar um mapa geológico em escala regional de 1:100.000 integrando as informações obtidas da região;
- Analisar informações U-Pb de uma amostra de granito intrusivo nas rochas granulíticas com intuito de contextualizar a deformação do Lineamento nesta região de Cariré.

1.2 Justificativas

Neste contexto a caracterização de rochas metamórficas de alto grau no DCC fornece importantes subsídios para a confirmação de uma provável zona de subducção e da colisão continental nesta região da Província Borborema. São raras as informações geoquímicas dos granulitos félsicos descritos na região de Cariré. Portanto, estabelecer a petrogênese desse litotipo, associados a dados termobarométricos pré-existentes que permitam estimar as condições de equilíbrio nos diferentes estágios do metamorfismo e contextualizar a cronologia de geração dos protólitos e do processo

colisional/metamórfico, é tarefa fundamental para o entendimento da evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central.

1.3 Localização e Vias de Acesso

A área de interesse localiza-se na cidade de Cariré e arredores, noroeste do estado do Ceará, a 275 km de Fortaleza. O acesso a região é realizado através da Rodovia Deputado Elísio Aguiar (CE-183) e de vias de acesso secundárias, sendo algumas não pavimentadas. A Figura 1.1 apresenta o mapa de localização e as principais vias de acesso à área.

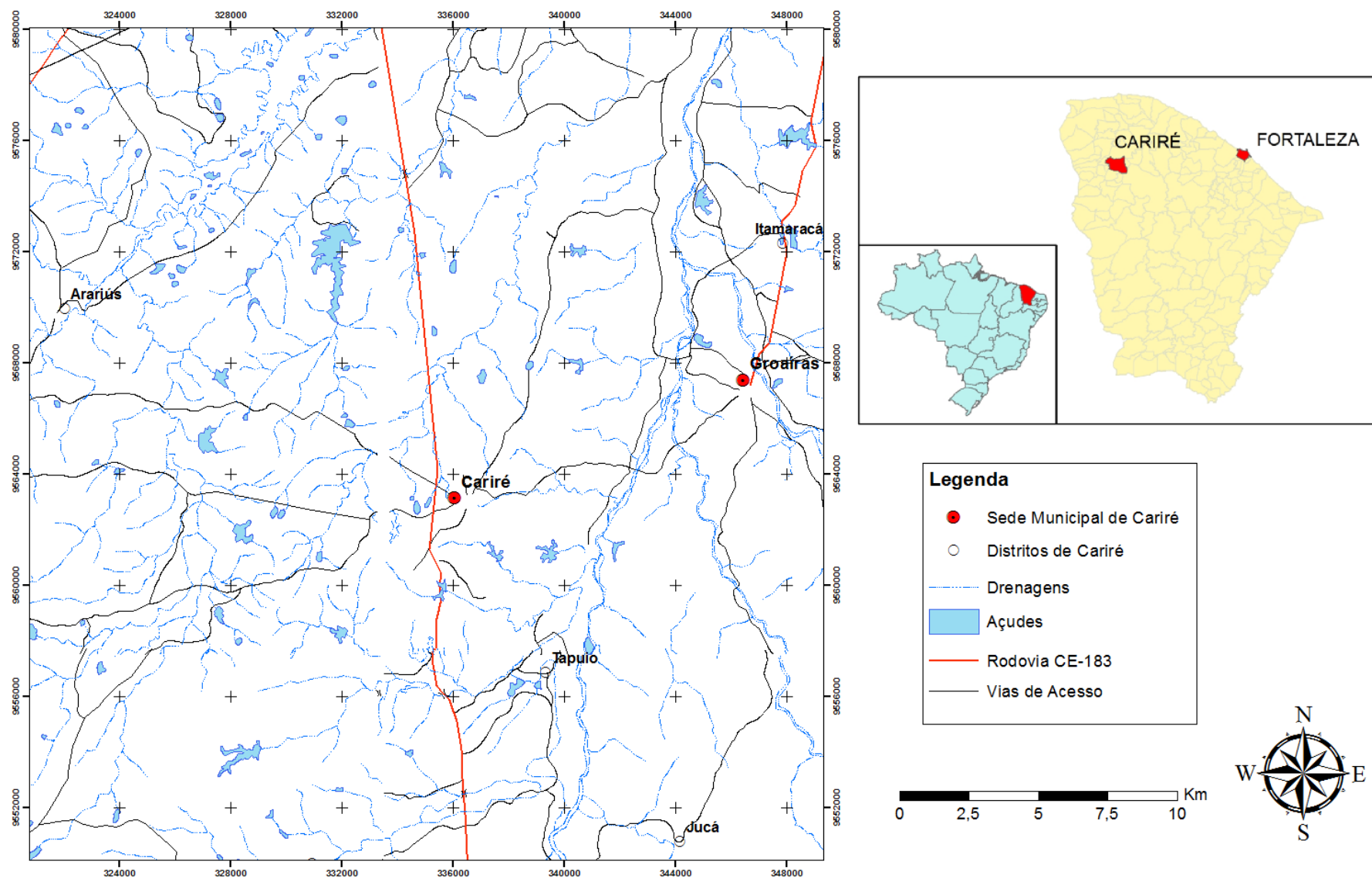


Figura 1.1 – Mapa de Localização e vias de acesso da área de estudo.

2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

2.1 Geomorfologia

Cinco unidades morfológicas são caracterizadas no estado do Ceará, de acordo Sousa *et al.* (1979). São eles a Depressão Sertaneja, as Planícies Aluviais, os Maciços Residuais Cristalinos, as Chapadas e os Tabuleiros Litorâneos (Figura 2.1).

A feição predominante no estado é a Depressão Sertaneja, exposta através de pediplanos, é vista como uma extensa planície levemente ondulada, com inclinação de sul para norte. A porção mais rebaixada da Depressão Sertaneja, corresponde as Planícies Aluviais, representando típicos depósitos fluviais, sendo os rios de maior representatividade o Jaguaribe, Coreaú e Acaraú (Sousa *et al.*,1979).

O Tabuleiro Litorâneo trata-se de uma faixa de sedimentos arenosos que se estende paralelamente por toda a faixa costeira do Ceará, com baixas elevações e largura entre 5 e 10 quilômetros (Sousa *et al.*,1979).

2.2 Clima

O Estado do Ceará caracteriza-se pela presença de dois tipos de clima o Tropical úmido e o Semiárido Quente. O clima predominante no território é o Semiárido Quente, marcado pelo sertão, onde as secas são periódicas e os índices pluviométricos são baixos, com chuvas mal distribuídas que não ultrapassam 1000 mm anuais. Já na porção úmida e sub-úmida do estado as chuvas anuais fornecem cerca de 1000 a 1500 mm, concentrando-se em parte do litoral e nas áreas que registram maior elevação topográfica, como as Serras, caracterizadas pelo frio e a alta umidade relativa do ar (Santos *et al.*, 2008).

2.3 Vegetação

Fazem parte da vegetação do Ceará a Caatinga, o Cerrado, a Vegetação Litorânea, as Florestas e a Mata dos Cocais (Arbex Jr. & Olic, 1999).

A vegetação típica da área de estudo é a Caatinga que cobre, aproximadamente, 46% do território cearense. A maior parte da caatinga é composta por plantas espinhosas e resistentes à escassez de água como os cactos, a barriguda-

do-sertão, o juazeiro e o mandacaru, símbolo da região nordeste do Brasil (Silva *et al.*, 2003).

2.4 Hidrografia

O território cearense é dividido em doze bacias hidrográficas, levando em consideração a divisão da bacia do rio Jaguaribe, rio mais importante do estado (Paula, 2006). Os maiores reservatórios de água do Ceará são barragens que represam o Jaguaribe, o Açude Orós e o Açude Castanhão, sendo este último o maior açude do país.

As outras bacias cearenses importantes são a do rio Acaraú, um dos maiores reservatórios do estado e de grande expressão na região de estudo, e a do rio Curu, bacia do litoral que drena boa parte da costa norte e oeste (Zanella, 2005) (Figura 2.1).

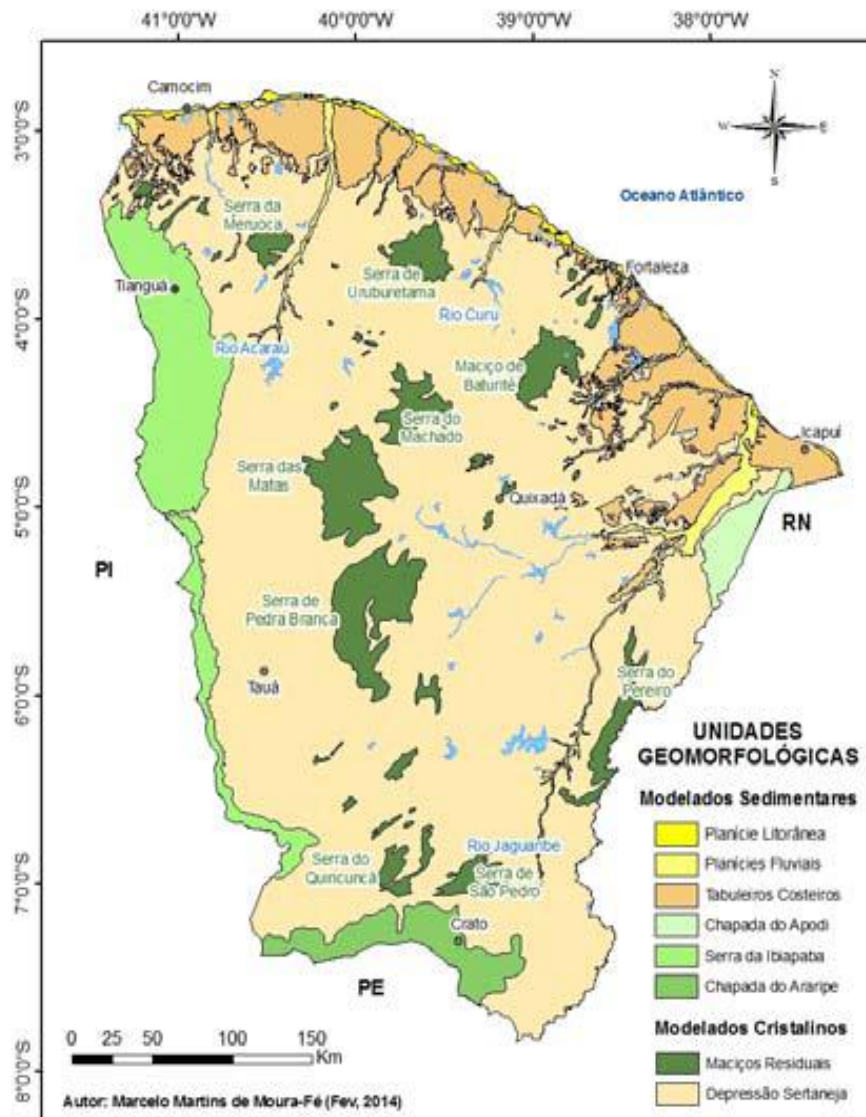


Figura 2.1 – Mapa geomorfológico simplificado do Ceará. (Fonte: Moro, 2015).

3. MATERIAS E MÉTODOS

Este capítulo visa sumarizar todos os materiais utilizados e procedimentos realizados ao longo da elaboração deste trabalho de conclusão de curso, a fim de alcançar os objetivos propostos para este projeto. Desta forma, os procedimentos utilizados como metodologia foram divididos em três etapas principais: Pré-Campo, Campo e Pós Campo, sendo que cada uma delas consistiu em um conjunto de sub-etapas ou fases que contribuíram para a realização deste trabalho.

3.1 Etapa Pré-Campo

Durante esta etapa foram realizados levantamentos bibliográficos referentes à área de estudo para a obtenção de maiores informações e conhecimento geológico da região, de forma a facilitar a etapa de campo, bem como estruturar a geologia regional. Além disso, foram confeccionados pré-mapas para serem usados durante os trabalhos de campo. O primeiro mapa foi desenvolvido a partir de imagens de satélite do modelo digital de elevação de terreno (SRTM) processadas para explicitar o relevo e as estruturas (Figura 3.1). O segundo, a partir de dados planialtimétricos e de acessos da região contribuiu para a plotagem dos pontos em campo (Figura 3.2).

Por meio da utilização dos *softwares Global Mapper e ArcGIS*, essas imagens foram tratadas de forma a integrar informações que contribuíssem na identificação de litotipos e estruturas em campo, fornecendo uma base cartográfica da região de estudo.

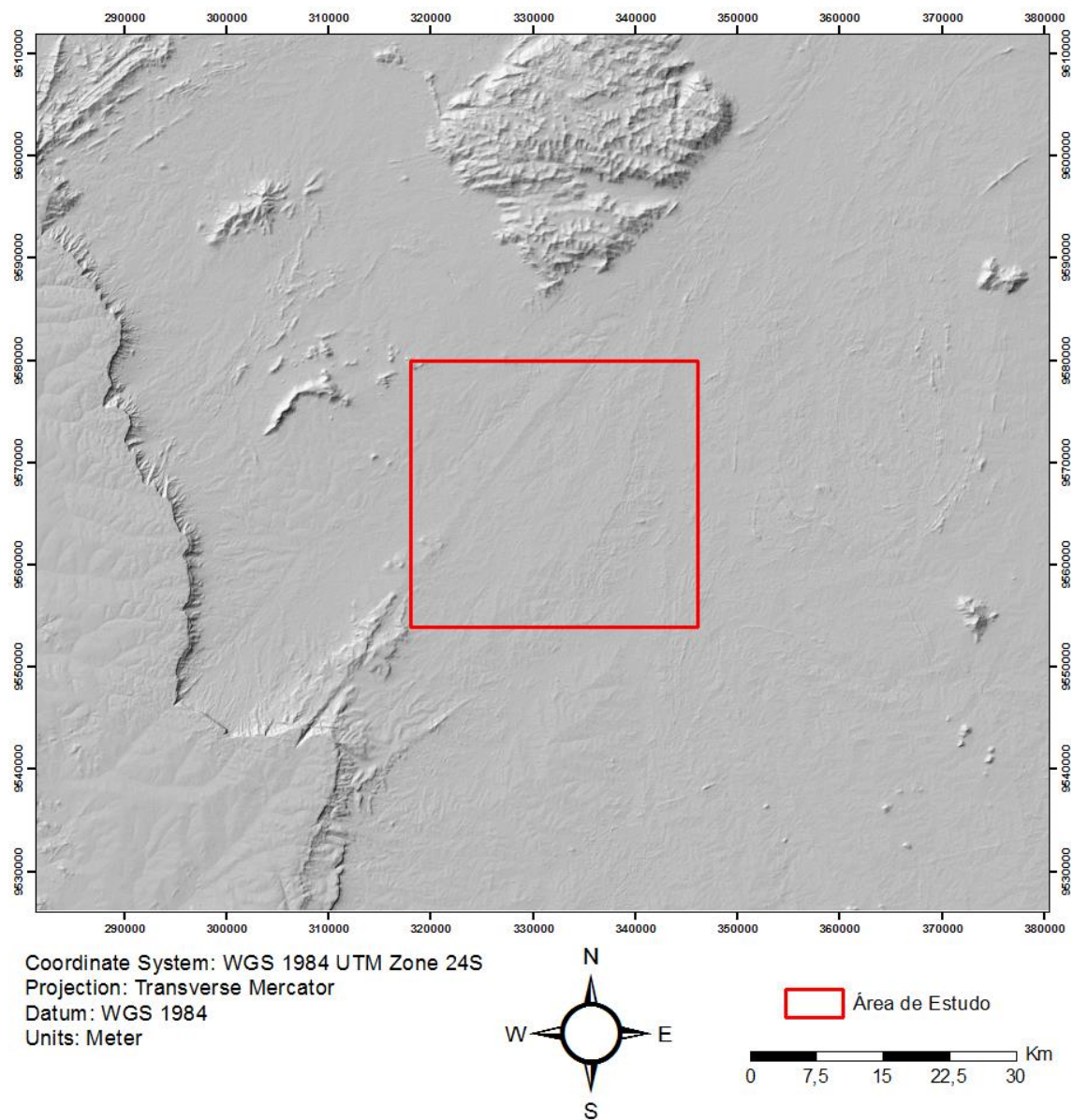
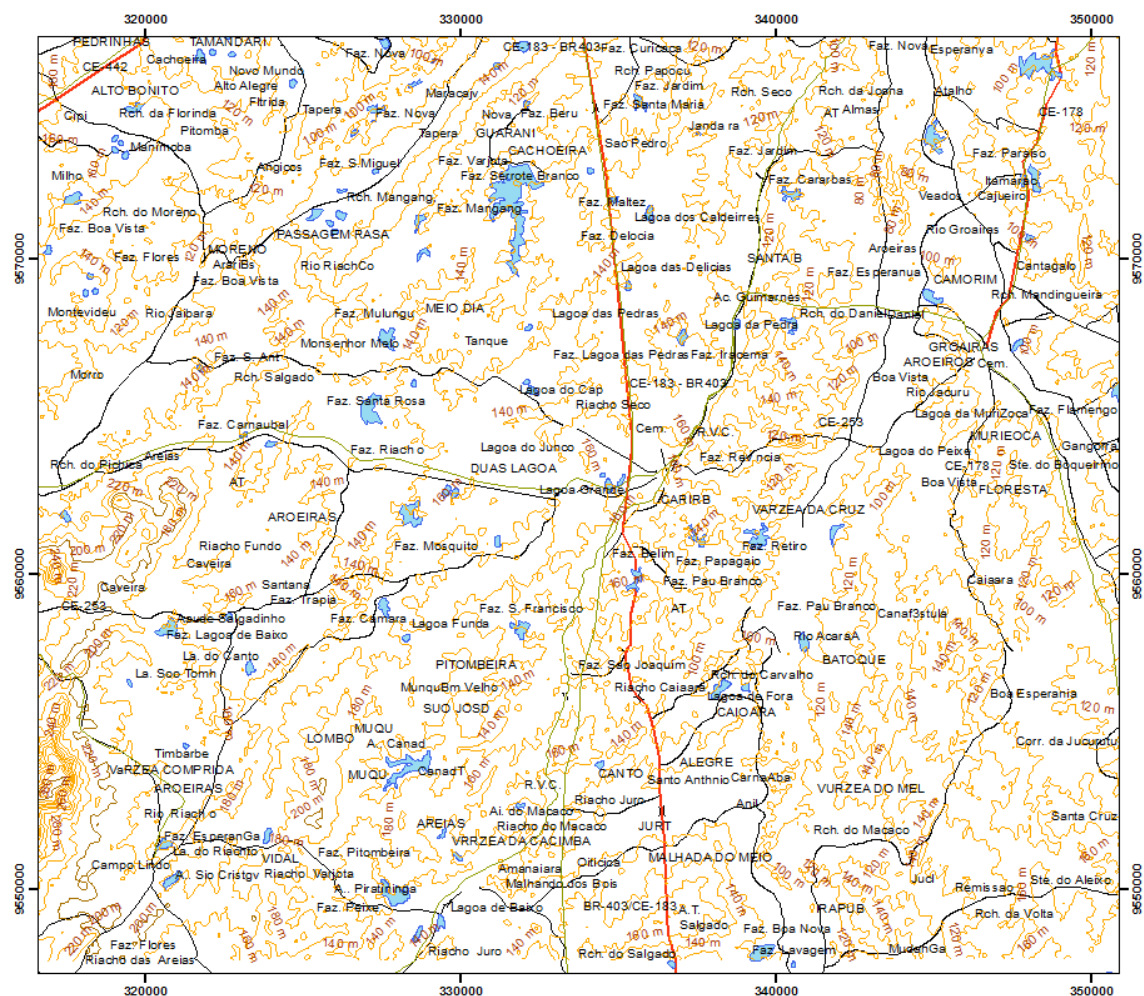


Figura 3.1 – Modelo Digital de Elevação de Terreno (SRTM) após a transformação *hillshade*. Destaque para a área de estudo.



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 24S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Meter

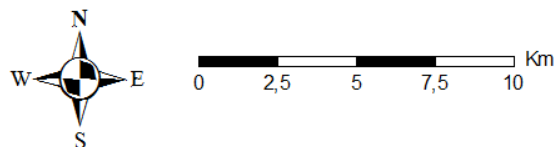


Figura 3.2 – Mapa planialtimétrico, locais e vias de acesso.

3.2 Etapa de Campo

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 4 e 8 de outubro de 2014 no município de Cariré e adjacências, região noroeste do Estado do Ceará. Durante este período foi possível observar e descrever os afloramentos *in situ* visando o modo de ocorrência, estruturas e mineralogia das rochas. Além disso, esta etapa visou coletar dados de campo e amostras para análises posteriores de petrografia, em escala meso e microscópica, e geoquímica.

Para tanto, foi percorrida a área de estudo buscando-se fazer a descrição dos afloramentos tendo como prioridade reconhecer os litotipos através da mineralogia identificada a olho desarmado e com lupa, estruturas preservadas, fraturas, *tension gashes*, veios, falhas, foliações, lineações, indicadores cinemáticos, e medições de sentido e mergulho.

Para esta etapa os materiais utilizados foram martelo e marreta petrográfica, bússolas Clar e Brunton, caderneta de campo, lupa *hasting* com aumento de 14 vezes, escala, trena, câmera fotográfica e GPS Garmin Etrex 10, além do mapa da região e de imagens obtidas através do Google Earth, e dos equipamentos individuais de proteção.

3.3 Etapa Pós-Campo

No primeiro momento, a etapa pós-campo consistiu no tratamento, organização e análise de dados. Inicialmente, as informações de cada ponto – coordenadas geográficas, altitude, descrição do litotipo, medidas estruturais, observações e fotos de campo – foram integradas na forma de tabelas.

3.3.1 Preparação de Amostras

A preparação das amostras coletadas em campo consistiu na redução do tamanho destas a partir dos processos de britagem, quarteamento e moagem para uma posterior análise geoquímica. Vinte amostras foram tratadas no laboratório de preparação de amostras do IG-UNICAMP.

A primeira etapa da redução do tamanho das amostras consistiu na britagem. Foi utilizado um britador de mandíbulas automático para a fragmentação das amostras representativas das rochas, livres de alteração, até a fração grânulo. Posteriormente estas amostras passaram pelo processo de quarteamento manual, garantindo boa

representatividade de todos os tamanhos de grãos da amostra, evitando-se assim a pulverização de grandes volumes. Por fim, houve a pulverização das amostras através do processo de moagem, garantindo maior homogeneidade para a composição e para a granulometria. Na fase de moagem, as amostras foram primariamente moídas no moinho de bolas e devido à dificuldade de homogeneização, as amostras foram seguidamente remoídas no moinho de anéis.

Após esta preparação inicial, parte das amostras foram transformadas em pastilhas prensadas e discos de vidros, utilizadas na Fluorescência de Raio X (FRX), enquanto outra parte foi submetida à dissolução através de ataque de ácidos (nítrico e fluorídrico) em bombas tipo *Parr* por cinco dias para as análises de elementos traços em ICP-MS.

3.3.2 Petrografia

As análises petrográficas foram realizadas no Laboratório de Microscopia e Microtermometria do IG-UNICAMP em microscópio petrográfico a partir de seções delgadas com lamínula de vidro sob luz transmitida. Onze seções delgadas foram examinadas visando a caracterização da mineralogia, texturas e o reconhecimento das assembleias minerais, buscando um melhor entendimento da relação entre as rochas da Faixa Granulítica de Cariré.

3.3.3 Geoquímica de Rocha Total

3.3.3.1 Fluorescência de Raio-X (FRX)

As análises foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios X do IG-UNICAMP a partir de discos de vidro para obtenção de elementos maiores e menores, e de pastilhas prensadas, para a obtenção de alguns elementos traços, de acordo com a metodologia descrita em Potts (1992). O equipamento utilizado na FRX foi do tipo *Philips, PW 2404*, Holanda. Para o controle de qualidade dos resultados foram analisados concomitantemente três amostras de materiais de referência internacionais (GS-N, DR-N e BRP-1).

3.3.3.2 Espectrometria de Massa (ICP-MS)

Elementos traços adicionais, incluindo os Elementos Terras Raras, foram analisados no Laboratório de Geologia Isotópica, no IG-UNICAMP, por meio de ICP-MS *XseriesII (Thermo)* equipado com CCT (*Collision Cell Technology*). O instrumento foi calibrado através de soluções multielementares, sendo estas preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares (100 mg/L, *AccuStandards*). Para o controle de qualidade das análises, utilizou-se o material de referência GS-N (Granito – ANRT, França).

4. GEOLOGIA REGIONAL

A Província Borborema (PB) localizada a leste da porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, compreende uma área com cerca de 450.000 km², delimitada ao sul pela Província São Francisco; a oeste, pela Província Parnaíba; ao norte, pelas bacias costeiras; e a leste, pela margem continental (Almeida *et al.*, 1977, 1981).

Esta Província foi originalmente definida e descrita por Almeida *et al.* (1977, 1981) como uma região complexa de domínios tectônicos e estratigráficos formada por uma colagem orogênica com idade Neoproterozoica a Cambriana (Almeida *et al.*, 1981; Brito Neves *et al.*, 2000). Sua configuração atual está vinculada à convergência dos crátons Amazônico, São Luis-Oeste Africano e São Francisco-Congo, no período entre 700 a 550 Ma, durante o evento de amalgamação continental denominado Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, que deu origem a formação do Supercontinente Gondwana (Almeida *et al.*, 1981; Brito Neves *et al.*, 2000) (Figura 4.1).

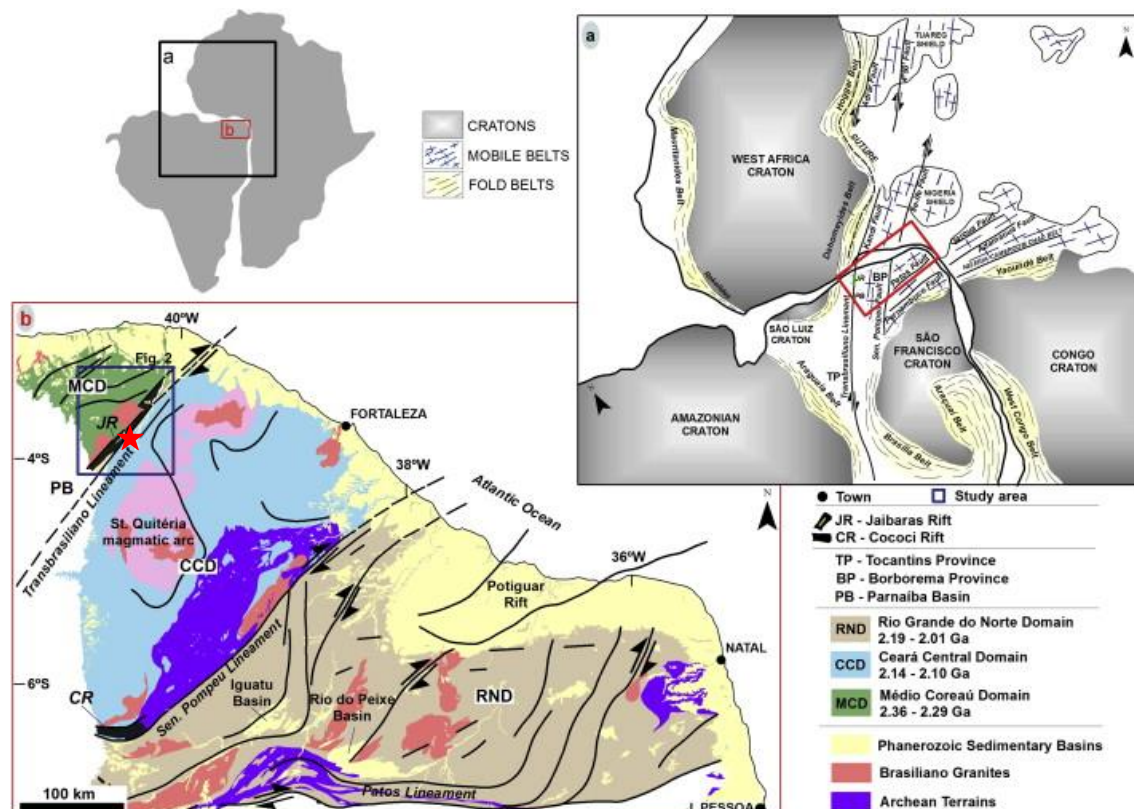


Figura 4.1 – a) Configuração do paleocontinente Gondwana Ocidental, por volta de 500 Ma. Principais províncias geológicas e correlação entre o nordeste do Brasil e o oeste africano (Caby, 1989; Santos *et al.*, 2008; Van Schmus *et al.*, 2008); b) Mapa geológico simplificado do setor norte-noroeste da Província Borborema mostrando os principais domínios tectônicos e as principais zonas de cisalhamento brasileiras (fonte: Pedrosa Jr *et al.*, 2015).

Durante a evolução crustal da PB são atribuídos como principais ciclos tectônicos a orogênese Cariris Velhos e a orogênese Brasileira, de idades Meso a Neoproterozoica (aproximadamente entre 1,2- 0,6 Ga), respectivamente (Brito Neves *et al.*, 1995; Brito Neves & Campos Neto, 2002; Van Schmus *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2008, 2010). Segundo Brito Neves *et al.* (2000), o embasamento cristalino da Província apresenta estruturas associadas aos estágios de amalgamação de blocos crustais durante o Paleoproterozoico Médio, referidas à Orogênese Transamazônica, bem como feições atribuídas ao Arqueano.

A presença de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes orientadas nas direções NE-SW, NNE-SSW e E-W, acomodadas no final do Ciclo Brasiliano/Pan-Africano, completam ainda o cenário Pré-Cambriano da PB (Vauchez *et al.*, 1995; Monié *et al.*, 1997). Segundo Van Schmus *et al.* (1995) e Ferreira *et al.* (1998), a Província pode ser dividida em dois grandes blocos tectônicos, o Domínio Norte e o Domínio Sul, separados pela zona de cisalhamento Patos com *trend* E-W. De acordo com Brito Neves *et al.* (1995,

2000), evidências geocronológicas, apoiadas em assinaturas crustais de Nd e diferenças de idades U-Pb em zircão, o bloco Norte foi complementarmente subdividido em três segmentos crustais menores, conhecidos como Domínio Médio Coreaú, Domínio Ceará Central e Domínio Rio Grande do Norte, respectivamente de norte a sul, limitados entre si pelos lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu (Figura 4.2).

Os domínios Médio Coreaú e Ceará Central serão aqui destacados por compreender a área de análise deste trabalho.

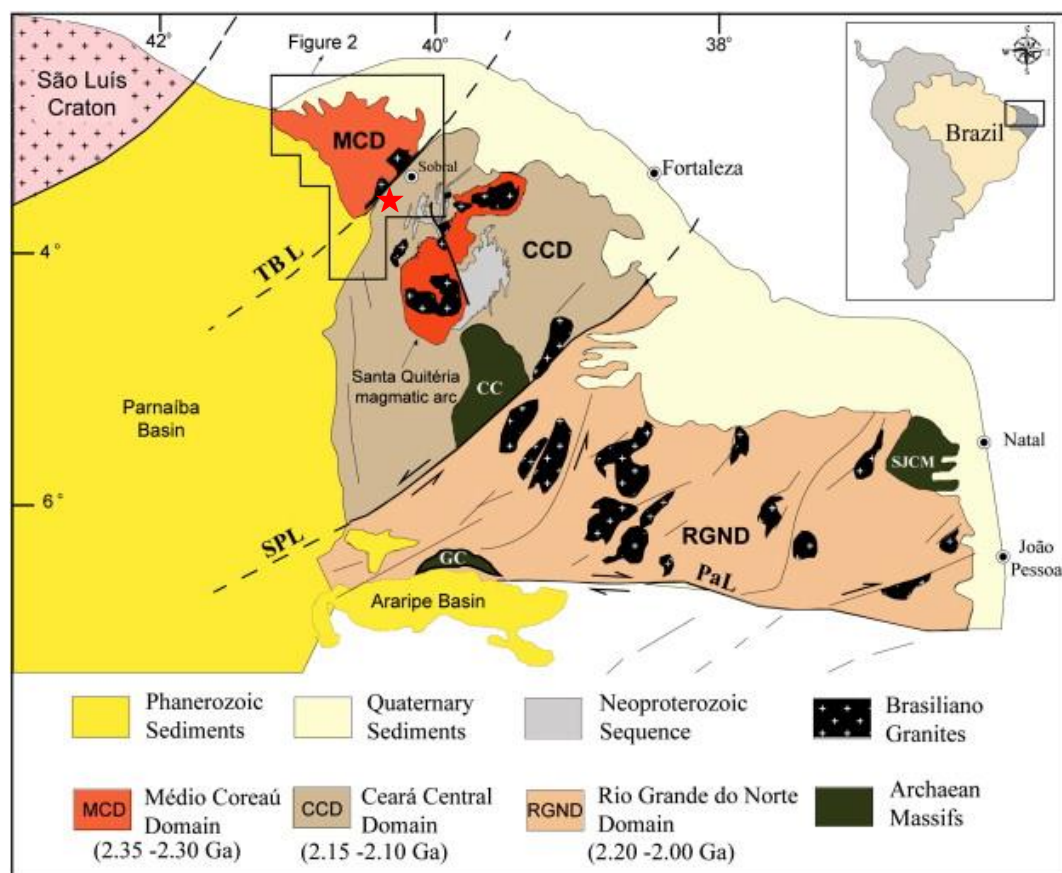


Figura 4.2 – Esboço tectônico simplificado do bloco norte da Província Borborema, mostrando os três principais domínios tectônicos e plútons graníticos brasileiros situados a norte do Lineamento Patos (PaL): Lineamento Transbrasiliano (TBL); Lineamento Senador Pompeu (SPL) (fonte: Amaral *et al.*, 2012).

4.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)

O Domínio Médio Coreaú, localizado a noroeste da Província Borborema, é a menor unidade tectono-estratigráfica deste domínio e consiste em um complexo rochoso infra-supracrustal com idade Paleoproterozoica a Neoproterozoica (Fetter, 1999). Limita-se a noroeste com o cráton São Luis-Oeste Africano (Boher *et al.*, 1992); a oeste, pela Bacia do Parnaíba e com o Lineamento Transbrasiliano - localmente denominado Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (ZCSPII) - a sudeste (Cavalcante *et al.*, 2003), responsável por separar este domínio do Domínio Ceará Central (Fetter *et al.*, 1997). Seguindo a orientação da zona de cisalhamento do Lineamento Transbrasiliano, o domínio ainda consta com a presença de *horsts* e *grabens*, alinhados na direção NE-SW (Torquato & Nogueira Neto, 1996).

São descritos, de acordo com Abreu *et al.* (1994), dois principais conjuntos de rochas e estruturas Pré-Cambrianas neste domínio. O primeiro, mais antigo e complexo, corresponde ao embasamento; o segundo, a sequências supracrustais vulcanossedimentares que sobrepõem o embasamento.

As mais antigas rochas são do embasamento que datam do Paleoproterozoico Inferior, representadas pelo Complexo Granja, envolvendo uma grande variedade de litotipos que inclui suítes tonalito-trondhjemito-granodioríticas (TTG) juvenis que foram provavelmente desenvolvidas em um sistema de arcos de ilhas (Santos *et al.*, 2001), gnaisses de alto grau metamórfico (kinzigitos, khondalitos e migmatitos), anfibolitos, granulitos máficos, enderbitos e leucogranitos (Santos *et al.*, 2001). As idades obtidas pelo método U-Pb em zircões para os ortognaisses TTG revelaram cristalização do protólito ígneo em um período entre 2,36 e 2,29 Ga, enquanto que valores predominantemente positivos de ϵ_{Nd} sugerem origem de derivação mantélica e evolução em ambiente dinâmico do tipo arco, revelando idades de residência crustal (T_{DM}) no intervalo entre 2,61 a 2,38 Ga (Fetter *et al.*, 2000; Nogueira Neto, 2000; Santos *et al.*, 2008, 2009; Amaral *et al.*, 2012; Praxedes *et al.*, 2012).

Segundo Nogueira Neto (2000), o embasamento do DMC foi amplamente afetado por metamorfismo regional de alto grau e migmatização que atingiu pressões estimadas variando entre 7-10 Kbar e 750-840°C para os granulitos máficos e paragneisses granulíticos; e entre 5-6 kbar e 600-700°C para os ortognaisses TTG nas condições de pico metamórfico, durante a Orogênese Brasileira/Pan-Africana.

O complexo do embasamento é parcialmente sobreposto por sequências supracrustais vulcanossedimentares do Paleoproterozoico Superior (Unidade Saquinho) que compreende um cinturão de dobramentos de rochas carbonáticas e pelíticas, sendo metatraquiandesito, metarriolito, metavulcanoclástica, metacarbonato e meta-arenito ferruginoso (Ancelmi *et al.*, 2013) datados através de isótopos de U-Pb em zircão indicando idade de cristalização de 1,79 Ga para o metarriolito (Santos *et al.*, 2002).

Outras duas sequências que sucedem, são as metavulcanossedimentares Neoproterozóicas, compreendidas pelos grupos Martinópole, constituída por metapelito, meta-arcóseo, metagrauvaca, metaconglomerado e metacarbonato metamorfizados em condições de fácies xisto verde a anfibolito e discordantemente pelo Ubajara, que apresenta um grau metamórfico que varia de xisto verde baixo a médio, com preservação de estruturas primárias (Brito Neves, 1983).

Intrusões de plútons sin (Chaval e Tucunduba) e pós-brasilianos (Meruoca e Mucambo) estão encaixados nas suítes de rochas infra e supracrustais. Os granitos Mucambo e Meruoca são relacionados à plutons pós-orogênicos que se alojaram em espaços formados por movimentos distensionais em bacias transtensionais, associadas à movimentação do Lineamento Transbrasiliano.

Estratigraficamente acima e discordante ao Grupo Ubajara, encontra-se uma sequência paleozoica representada pelo Grupo Jaíbaras, constituída por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos (Ancelmi *et al.*, 2013). Estas rochas configuram uma sequência proximal de plataforma continental estável, cuja deposição se iniciou em 980 Ma (Sial *et al.*, 1981). Esta sequência está contida na Bacia Jaíbaras, que é composta ainda por uma terceira sucessão vulcanossedimentar, correspondente ao Grupo Jaíbaras, de ocorrência regional, composta por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados grossos polimíticos e rochas vulcânicas ácidas, básicas e intermediárias depositados em uma bacia *rift*, interpretada como resultante da reativação do Lineamento Transbrasiliano (Oliveira & Mohriak, 2003) (Figura 4.3).

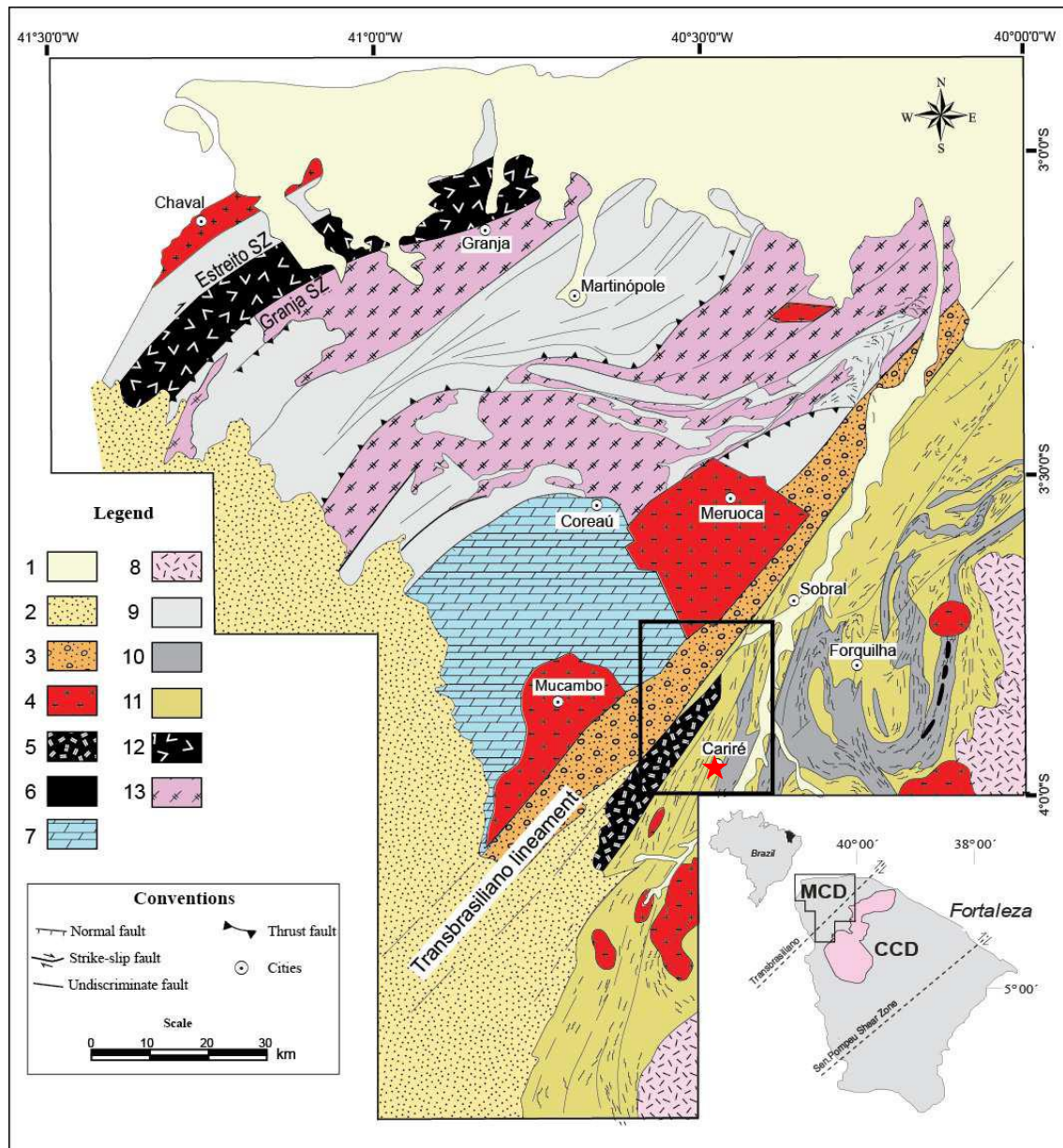


Figura 4.3 – Mapa Geológico dos Domínios Médio Coreáú (DMC) e Ceará Central (DCC). Legenda: 1. Cobertura aluvial; 2. Bacia do Parnaíba; 3. Bacia do Jaibas; 4. Granitos e Monzogranitos do Brasileiro; 5. Granulitos de Cariré; 6. Retroeclogitos de Forquilha; 7. Bacia do Ubajara; 8. Arco Magmático de Santa Quitéria; 9. Grupo Martinópolis; 10. Grupo Ceará; 11. Complexo Canindé; 12. Granulitos Granja; 13. Embasamento migmatítico e gnáissico. (Amaral *et al.*, 2012).

4.2 Domínio Ceará Central (DCC)

O Domínio Ceará Central é a unidade geotectônica mais expressiva da porção norte da PB e compreende a maior parte do estado do Ceará. O DCC limita-se a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP) e a oeste pelo Lineamento Transbrasiliiano (ou localmente, ZCSP II). De acordo com Fetter *et al.* (2000), este domínio é dividido em quatro principais unidades lito-estruturais: (1) o Núcleo Arqueano; (2) o embasamento gnáissico juvenil Paleoproterozoico; (3) a cobertura supracrustal vulcanossedimentar Neoproterozóica; (4) e o complexo plutônico Tamboril-Santa Quitéria.

4.2.1 Núcleo Arqueano

O Núcleo Arqueano é representado pelo Complexo Cruzeta, designado também como Maciço de Tróia- Pedra Branca (Brito Neves, 1975), e é compreendido, segundo Vasconcelos *et al.* (1998), por três unidades arqueanas que foram retrabalhadas no Proterozoico: Mombaça, Pedra Branca e Tróia. O complexo aflora na porção sudeste do DCC, limitado pela ZCSP, e está associado a suítes de rochas com afinidade tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG), a um complexo máfico a ultramáfico e a unidades vulcanossedimentares. Idades por U-Pb convencional em zircão entre 2,7 – 2,8 Ga foram obtidas por Fetter (1999).

4.2.2 Embasamento Gnáissico Paleoproterozoico

O embasamento gnáissico Paleoproterozoico juvenil é constituído por ortognaisses e migmatitos, com assinatura geoquímica de suítes TTG, e por vezes, paragneisses e rochas metamáficas metamorfizadas em fácies anfibolito (Ancelmi *et al.*, 2013). Estas rochas foram agrupadas por Martins (2000) na Suíte Metamórfica Algodões-Choró, e partindo de dados geocronológicos em U-Pb e Sm-Nd Fetter (1999) e Fetter *et al.* (2003) sugeriram para a região um regime de sucessivas colagens de arcos de ilha em torno do núcleo Arqueano. Martins *et al.* (2009) propuseram um modelo de regime de sucessivas colagens de arcos de ilhas em torno do núcleo Arqueano para a região por apresentar similaridades com platôs oceânicos e basaltos gerados em ambientes de *back-arc*.

4.2.3 Supracrustais Neoproterozoicas

A cobertura Neoproterozoica é representada pelo Grupo ou Complexo Ceará e ocorrem, principalmente, bordejando o Arco Magmático de Santa Quitéria (AMSQ). Segundo Cavalcante *et al.* (2003), Fetter *et al.* (2003), e Arthaud (2008) é caracterizada pela ocorrência de rochas predominantemente metapelíticas e metapsamíticas, representadas por cianita-muscovita-biotita gnaiss, sillimanita granada gnaiss, quartzitos, anfibolitos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e metariolitos.

De acordo com Arthaud *et al.* (2008) a análise de metapelitos e idades de cristalização U-Pb em zircão obtidas em anfibolitos intercaladas no Complexo Ceará sugerem que a sedimentação dessa unidade teve início a cerca de 750 Ma a partir do rifteamento do embasamento Arqueano/Paleoproterozoico propondo assim, que os sedimentos que deram origem às rochas metassedimentares do Complexo Ceará foram depositados em uma bacia do tipo retro-arco relacionada ao AMSQ. Idades modelo T_{DM} obtidas por Santos *et al.* (2003), em torno de 2,25 Ga, mostrou que a contribuição do embasamento Paleoproterozoico, como área fonte para a geração das rochas metassedimentares é dominante nesta sequência.

4.3 Zonas de Cisalhamento da Província Borborema

Apesar do Lineamento Transbrasiliano ser a estrutura geológica mais expressiva a afetar a PB, outras estruturas também desempenham, a seu modo, influência sobre a evolução da província.

A PB caracteriza-se por uma rede de zonas de cisalhamento (ZC) dúctil de dimensão continental e caráter transcorrente dextral (Vauchez *et al.*, 1995). Ainda segundo Vauchez, a deformação nessas ZC se inicia em aproximadamente 570-600 Ma e progride até 500 Ma, com redução de temperatura.

De acordo com Chamani (2011), a PB pode ser subdividida em 2 domínios, ocidental e oriental. O domínio ocidental contempla o Lineamento Senador Pompeu e o próprio Transbrasiliano que apresentam *trend* na direção NE-SW, enquanto que o oriental inclui o Lineamento Patos e o Pernambuco, com *trend* E-W.

4.3.1 Lineamento Transbrasiliano (LTB)

O LTB, de acordo com Attoh & Brown (2008), pode ser considerado a mais extensa ZC do mundo. Vários autores (Trompette, 1994; Cordani *et al.*, 2003; Basile *et al.*, 2005; Arthaud *et al.*, 2008; Attoh & Brown, 2008) consideram este lineamento uma continuação da falha de Hoggar-Kandi que aflora desde o norte da África, com feições que se estendem até o sul da América do Sul. Assim, considerando os dois continentes, o lineamento chega a ter cerca de 4000 quilômetros de extensão. Na porção africana a ZC ocorre desde a região central da Argélia até a costa de Togo, na região do golfo da Guiné. No Brasil, o LTB aflora desde o noroeste do Ceará, localmente conhecido como ZCSP II, até o sudoeste do Mato Grosso do Sul, avançando até o território do Paraguai e Argentina, limitado pelos crátons Rio de La Plata e Pampia (Rapela *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2010).

De acordo com Delgado *et al.* (2003), o LTB se tornou ativo a partir do evento colisional Brasileiro II, há 650 Ma, tendo a principal fase de movimentação ao longo das ZC contempladas pelo LTB apresenta feições dextrais, concordante com o observado na falha Hoggar-Kandi (Ferré *et al.*, 2002).

O LTB, ainda, sofreu reativações ao longo de sua extensão desde o Pré-Cambriano-Superior (Oliveira & Mohriak, 2003) até o Cenozoico (Soares *et al.*, 1998).

4.4 Bacia do Jaibaras (BJ)

A Bacia do Jaibaras encontra-se posicionada ao longo do feixe das zonas de cisalhamento com direção NE-SW, que sob os sedimentos da Bacia do Paraíba a sudoeste, afloram o Lineamento Transbrasiliano onde ocorrem uma série de *grabens* e *horsts* (Góes *et al.*, 1994; Sousa & Oliveira, 1995). Caracteriza-se como uma bacia do tipo *rift* continental, com preenchimento molassóide (pós-orogênico), alongada na direção NE-SW, com cerca de 120 quilômetros de extensão e 50 quilômetros de largura. Formou-se por volta de 560-500 Ma, durante o estágio de transição da Plataforma Sul-Americana (Teixeira *et al.*, 2004; Arthaud, 2007).

O preenchimento da Bacia de Jaibaras é constituído por sequências litoestratigráficas que se encontram subdivididas nos Grupos Ubajara e Jaibaras, e na Formação Aprazível. Ocorrem também rochas ígneas vulcânicas incluídas na Suíte Parapuí e plutônicas na Suíte Meruoca.

Segundo Neves (1973), o Grupo Ubajara tem idade Meso a Neoproterozoica e caracteriza o registro de um ciclo tectono-sedimentar completo em margem continental, com litofácies psamíticas proximais (Formação Trapiá), distais (Formação Caiçaras) com passagens laterais e conectadas. Em direção ao topo situa-se uma sequência metacarbonática marinha (Formação Frecheirinha), culminando numa sequência de metarcósios e metagrauvacas (Formação Coreau).

O Grupo Jaibaras data do Neoproterozoico ao Cambriano, e foi caracterizado como uma sequência sedimentar de caráter molassóide, com vulcanismo fissural associado. A base do Grupo Jaibaras é caracterizada por brechas e conglomerados polimíticos intercalados a arenitos arcossianos finos, denominados de Formação Massapê. Estratigraficamente acima e em contato gradacional verifica-se a ocorrência arenitos arcossianos, grauvacas, siltitos e folhelhos, incluídos na Formação Pacujá. (Costa *et al.* 1973; Nascimento & Gava, 1979; Sá *et al.* 1979; Gorayeb *et al.* 1988).

De acordo com Quadros (1996), seccionando os Grupos Ubajara e Jaibaras, as ocorrências magmáticas presentes fora e dentro da Bacia de Jaibaras, têm sido consideradas como pós-brasileiras. As de origem intrusiva pertencem à Suíte Meruoca e são representadas pelos granitos Meruoca, Mucambo, Serra da Barriga, Pajé e Araras, de idade Cambriana. As de natureza extrusiva são incluídas por Gorayeb *et al.* (1988) Suíte Parapuí que se constitui por um conjunto de rochas vulcânicas (basaltos, andesitos, dacitos e riolitos), sub-vulcânicas e vulcanoclásticas, que ocorrem cortando ou recobrimo as formações Massapê e Pacujá.

Por fim, recobrimo em discordância erosiva e tectônica o Grupo Jaibaras e as rochas das Suítes Meruoca e Parapuí, ocorre a Formação Aprazível, com idade Ordoviciano, constituída por conglomerados e brechas polimíticas, contendo seixos de diversos litotipos observados no embasamento cristalino (Quadros, 1996) (Figura 4.4).

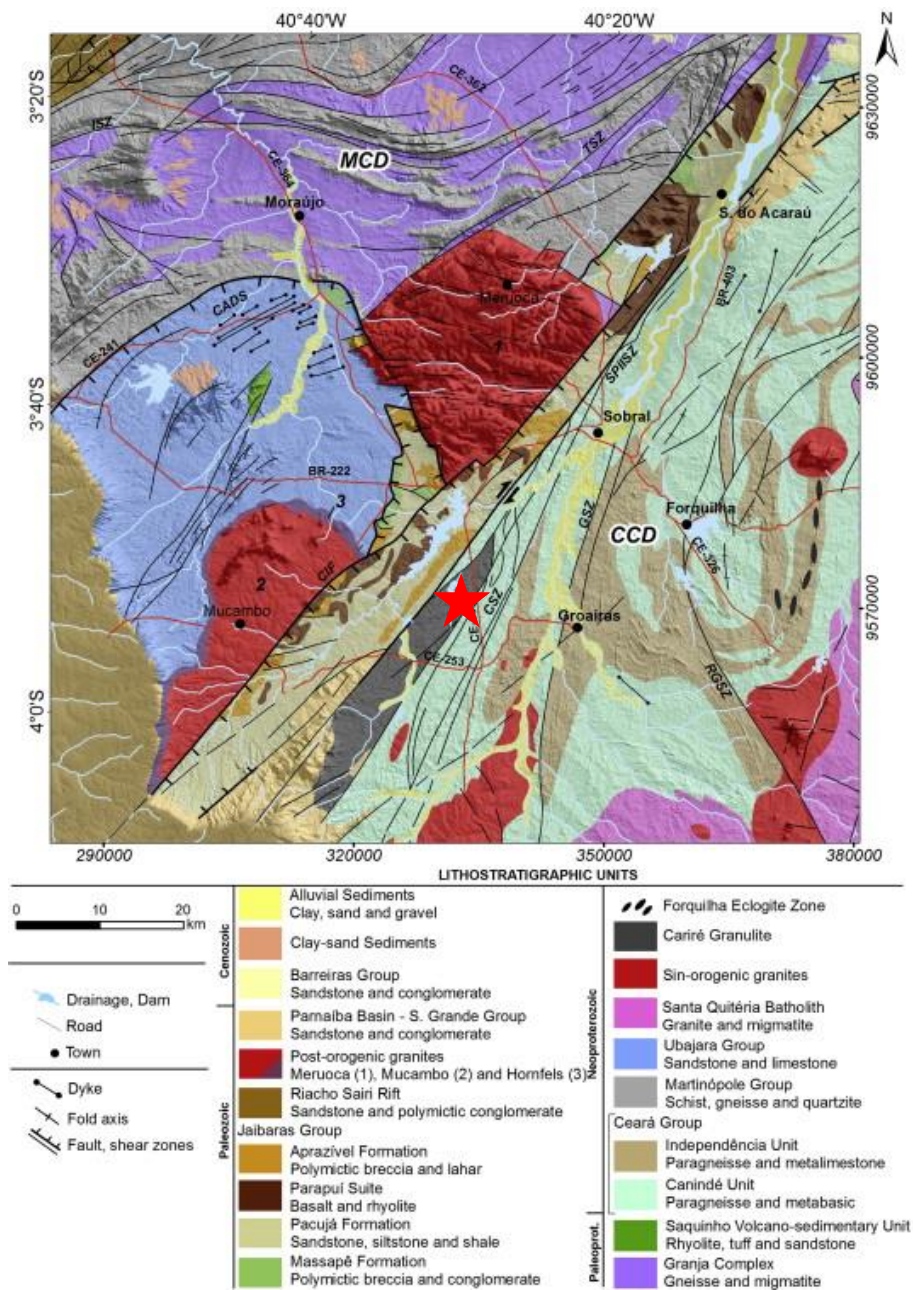


Figura 4.4 – Mapa geológico simplificado do arcabouço estrutural e unidades litoestratigráficas da Bacia do Jaíba. Domínios estruturais: DMC - Médio Coreaú; DCC – Ceará Central. Zonas de cisalhamento: ZCSPII – Sobral-Pedro II; FCI – Café-Ipueiras (Modificado de Cavalcante *et al.*, 2003 (Escala 1:500.000); Santos *et al.*, 2002, 2008; Amaral, 2010).

5. GEOLOGIA LOCAL

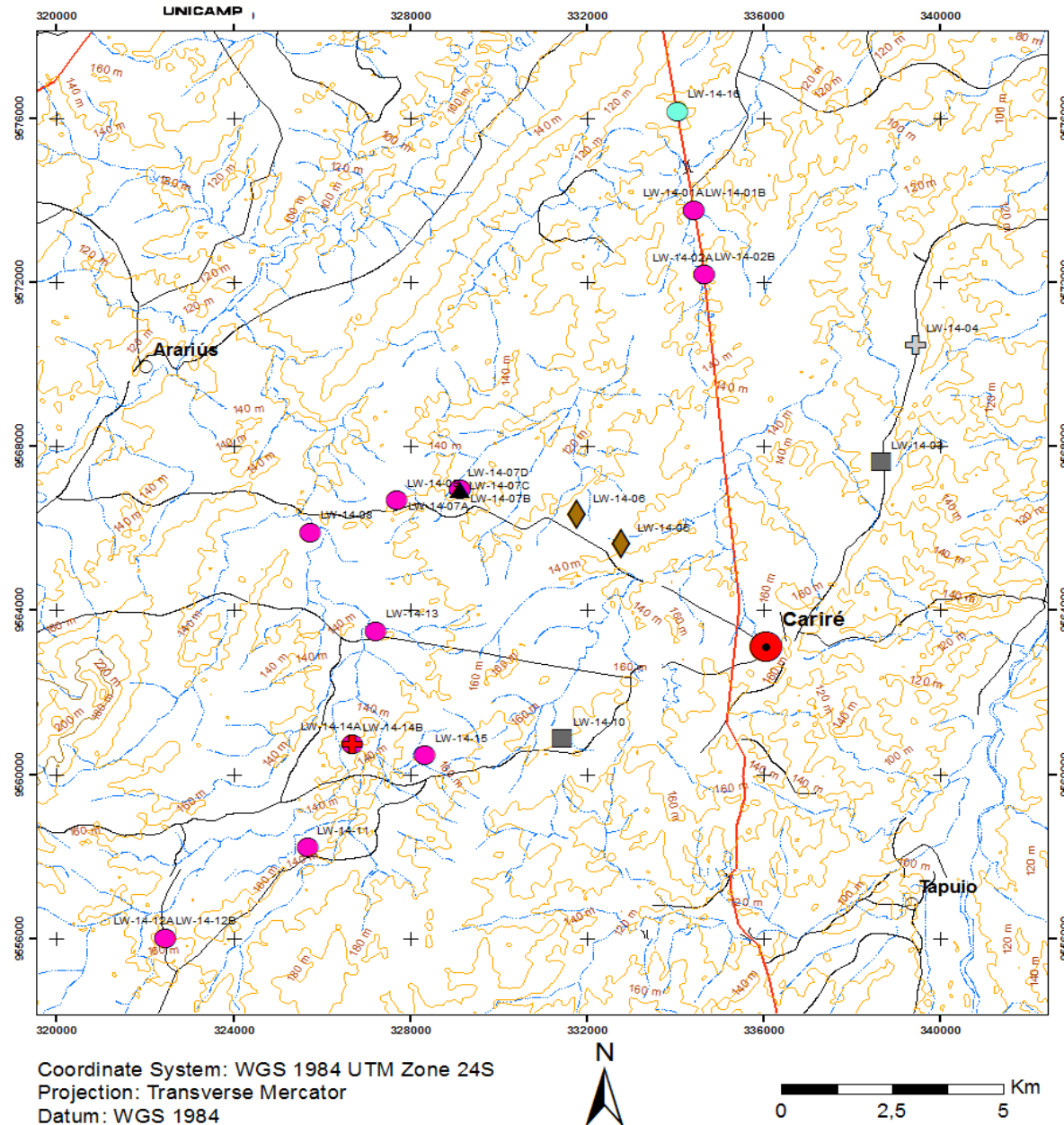
Neste capítulo serão apresentados dados de campo, incluindo fotos, dados petrográficos e estruturais, além dos dois mapas confeccionados da Faixa Granulítica de Cariré, o mapa de pontos e o mapa geológico, ambos em escala 1:100.000.

O mapa de pontos (Figura 5.1), apresenta os principais aspectos topográficos da área de estudo, tais como altimetria, principais drenagens e vias de acesso. Os descritos em campo estão representados de acordo com a classificação litológica, sendo que os pontos amostrados foram também discriminados para geoquímica.

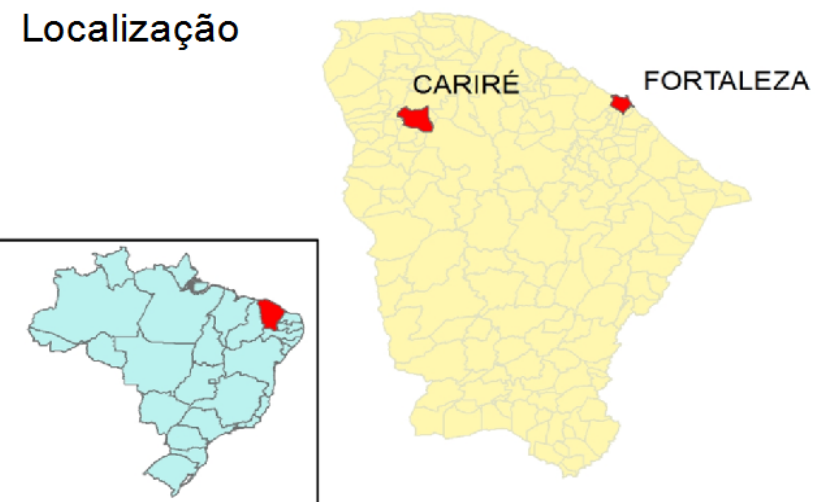
O mapa geológico, por sua vez, compreende a divisão da região de estudo em diferentes litotipos, sendo que estes foram caracterizados a partir das feições de campo, análises petrográficas e análises geoquímicas. Em complemento, fez-se uso das informações utilizadas no desenvolvimento dos mapas pré-campo e dos mapas regionais, explicitados nos capítulos 3 e 4 deste trabalho, respectivamente. O mapa apresenta os contatos inferidos dos granulitos com as rochas encaixantes, de características ígneas, bem como as principais estruturas observadas nos afloramentos. Os litotipos caracterizados compreendem granulitos félsicos, granulitos máficos e granitos, estando o contato das rochas metamórficas com as encaixantes extremamente milonitizados. Além disso, observou-se também alguns conglomerados, a sudoeste da região de estudo, referentes ao contato com a borda da Bacia do Jaibaras (Figura 5.2).



Mapa de Pontos



Localização



LITOLOGIA

- ▲ Basalto
- Granulitos Máficos (pl + cpx + hnb + grt ± qtz ± bt)
- Granulitos Enderbíticos (pl + opx + bt + qtz ± cpx ± grt ± hnb ± chl)
- Gnaiss granodiorítico
- ✚ Granito
- ✚ Granodiorito
- ◆ Milonito

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Sede Municipal de Cariré
- Distritos de Cariré
- Rodovia CE-183
- Vias de Acesso
- Curvas de Nível (20m)
- Drenagens

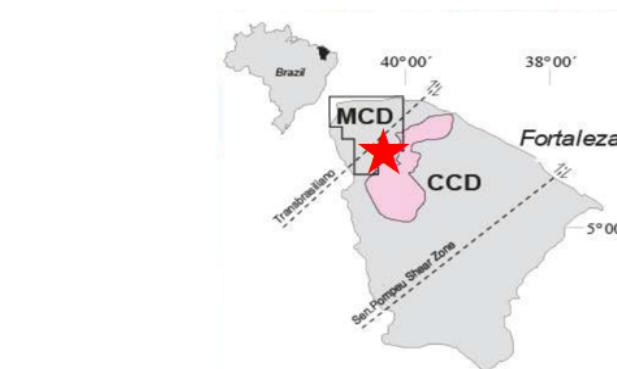
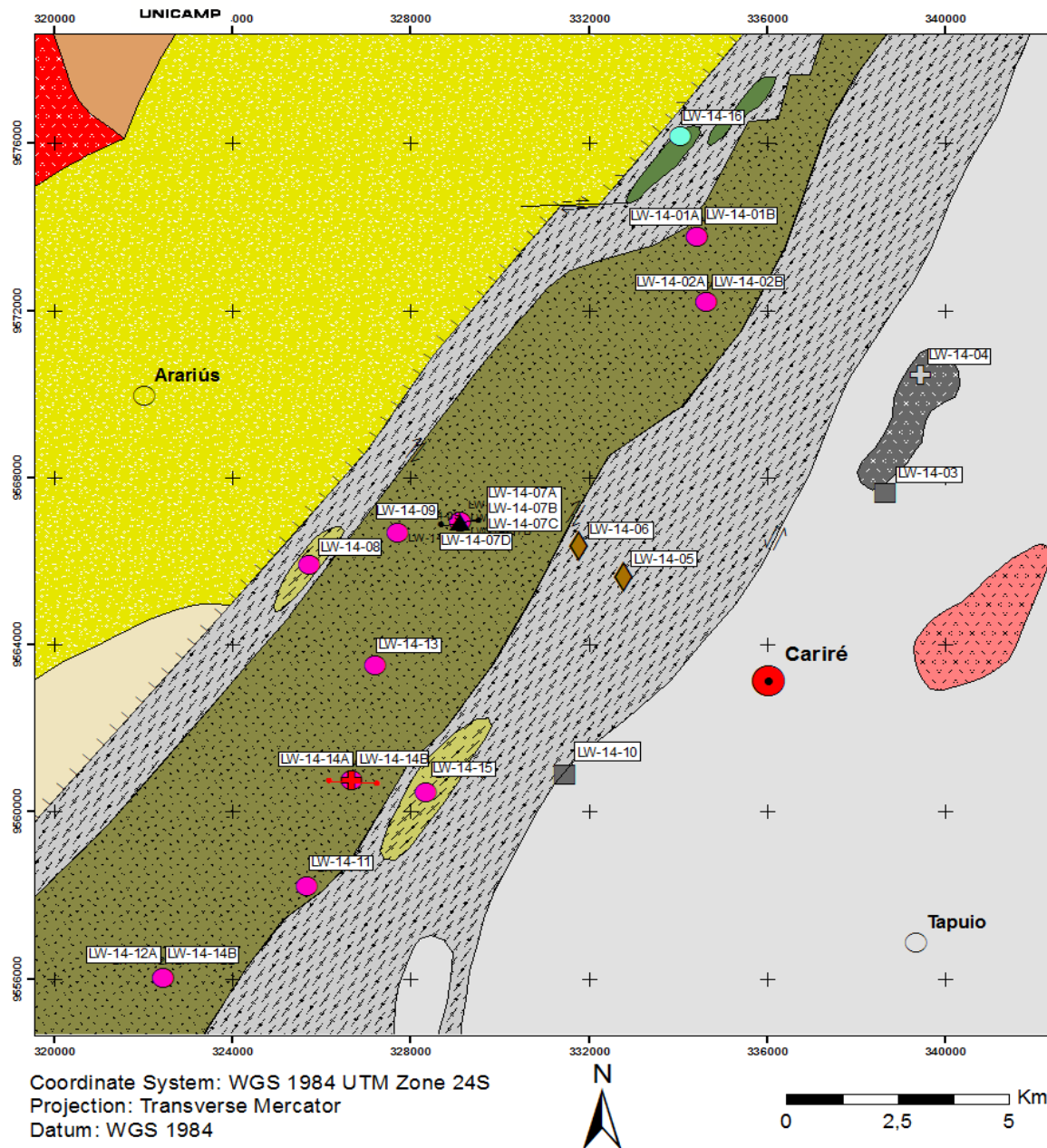
Título: Granulitos adjacentes ao Lineamento Transbrasiliano na região de Cariré, Domínio Ceará Central: aspectos petrográficos e geoquímicos

Aluna: Lays Helmer Mengal
Orientador: Wagner da Silva Amaral
Co-Orientador: João Paulo Araújo Pitombeira

Figura 5.1 – Mapa de Pontos da Faixa Granulítica de Cariré.



Mapa Geológico da Faixa Granulítica de Cariré



Unidades Litológicas

	Grupo Serra Grande
	Grupo Jaibaras
	Granito Mucambo
	Grupo Ubajara
	Granitos e monzogranitos
	Granulito máfico
	Granodiorito
	Granulitos félsicos de composição enderbítica com lentes de granulitos máficos
	Milonitos gradioríticos, granulitos félsicos fortemente milonitizados e lentes de granulitos máficos
	Granulito félsico fortemente milonitizado
	Complexo Canindé

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

	Dique basáltico
	Dique granítico
	Falha transcorrente sinistral
	Falha transcorrente dextral
	Falha normal

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

	Rodovia CE-183
	Vias de Acesso
	Sede Municipal de Cariré
	Distritos de Cariré

Título: Granulitos adjacentes ao Lineamento Transbrasiliano na região de Cariré, Domínio Ceará Central: aspectos petrográficos e geoquímicos

Aluna: Lays Helmer Mengal
Orientador: Wagner da Silva Amaral
Co-Orientador: João Paulo Araújo Pitombeira

Figura 5.2 – Mapa Geológico da Faixa Granulítica de Cariré (modificado de Amaral *et al.*, 2012).

5.1 Região Granulítica de Cariré

Na região de Cariré, próximo ao Lineamento Transbrasiliano na porção norte do Domínio Ceará Central, ocorrem rochas metamórficas de alta pressão, representadas pelos granulitos máficos (clinopiroxênio-granada anfibolitos) e pelos granulitos félsicos (enderbíticos) (Amaral *et al.*, 2012), exemplares descritos em escala de afloramento neste capítulo e petrograficamente no capítulo 6. Ambos ocorrem como corpos e lentes encaixantes em granodioritos, dioritos, tonalitos e migmatitos fortemente cisalhados. De acordo com Nogueira Neto (2000), os protólitos dos granulitos máficos são do tipo basaltos toleíticos N-MORB, enquanto que as rochas granulíticas félsicas apresentam afinidade calco-alcalinas.

Segundo Fetter (1999), Nogueira Neto (2000) e Amaral *et al.* (2012), a evolução estrutural destes granulitos foi compreendida em duas fases: a primeira, caracterizada por uma deformação compressiva de empurrão com vergência para NW interpondo as rochas granulíticas profundas que foram trazidas a níveis crustais mais rasos; a segunda, decorrente de uma deformação transcorrente NE-SW em regime dúctil com estágio final de transtração controlado pelo desenvolvimento da bacia sedimentar do Jaibaras e pela ascensão dos granitos Mucambo e Meruoca.

5.2 Feições de Campo

A partir dos trabalhos de campo, foi possível identificar as principais unidades que constituem a região granulítica de Cariré. Os afloramentos, de modo geral, foram de fácil acesso, sendo que alguns afloravam na beira da estrada (Figura 5.3 A, B e C) enquanto outros, mais distantes, formavam paredões ao lado da ferrovia (Figura 5.3 D) ou eram corpos rochosos em meio a caatinga (Figuras 5.3 F). O afloramento mostrado na Figura 5.3 F é a um milonito em forma de um expressivo lajedo controlado estruturalmente pela zona de cisalhamento Transbrasiliana. Os afloramentos, em maioria, apresentaram-se pouco intemperizados devido as condições climáticas do semi-árido.



Figura 5.3 – Feições de Campo. (A), (B) e (C) Aspecto geral dos afloramentos de corte de estrada da Faixa Granulítica de Cariré (LW-14-01, 05 e 12, respectivamente); (D) Afloramento da ferrovia (LW-14-03); (E) Intrusão granítica no milonito (LW-14-06); (F) Afloramento do Transbrasiliano (LW-14-14).

5.2.1 Granulitos Félsicos

Os granulitos enderbíticos em geral perfazem a porção onde são registradas as condições de maior grau de metamórfico na região granulítica de Cariré, ou seja, na porção onde ocorreu também a grande deformação dinâmica provocada pela zona de cisalhamento Transbrasiliano. Os afloramentos destes granulitos foram descritos em campo como corpos de rochas encaixantes de granulitos máficos (Figura 5.4 A) infracrustais, dioritos e tonalitos intensamente cisalhados. Ocorrem geralmente com largura entre 100 e 200 metros e direção de cisalhamento NE-SW.

De modo geral, são rochas foliadas de granulação média-grossa, textura granoblástica e muitas vezes milonítica superposta, com coloração acinzentada e intercalações mais esbranquiçadas. Algumas amostras apresentam aspecto vítreo indicando que houve recristalização, já em outras, como nos afloramentos mais intensamente milonitizados, são vistos porfiroclastos de plagioclásio nos leucossomas (Figura 5.4 B). A mineralogia principal é caracterizada por minerais félsicos com aproximadamente 35% de plagioclásio e 15% de quartzo, e minerais máficos em torno de 20% de hornblenda, 20% de piroxênio (orto e clino) e 5% de biotita e 5% opacos e acessórios.

Alguns afloramentos apresentavam aspectos transicionais entre o exemplar máfico e félsico dos granulitos (Figura 5.4 C), tal como a coloração do plagioclásio que nesse sistema transicional, verificou-se com tonalidade esverdeada. Os aspectos de transição entre os granulitos máficos e félsicos podem ter sido preservados tanto no metamorfismo progressivo quanto no retrometamorfismo. As amostras mais próximas a deformação apresentam *tension gashes* sinistrais de quartzo (Figura 5.4 D) e indicadores sinistrais também na foliação do granulito (Figura 5.4 E). Intrusões de diques graníticos, pegmatíticos e pseudotaquiliticos ocorrem por vezes discordantes ao granulito, encaixados via de regra, em fraturas de direção E-W (Figura 5.4 F).

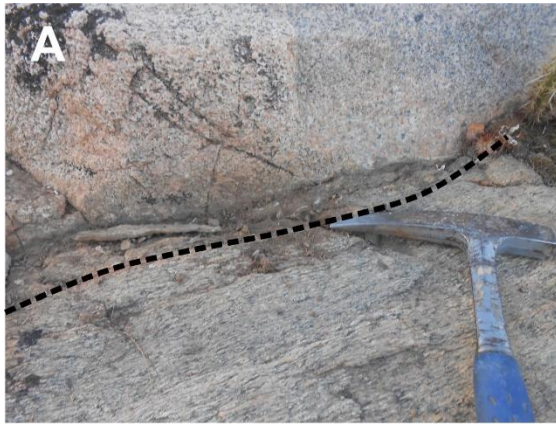


Figura 5.4 – Principais feições de campo dos granulitos enderbíticos. (A) Contato entre granito e granulito; (B) Leucossomas com porfiroclastos de plagioclásio (LW-14-06); (C) Granulito transicional (LW-14-01); (D) *Tension gashes* sinistrais (LW-14-14); (E) Indicadores de deslocamento sinistrais (LW-14-14); (F) Intrusão granítica (LW-14-14).

5.2.2 Granulitos Máficos

Os clinopiroxênio - granada anfibolitos ocorrem ao longo de toda a região granulítica de Cariré, associadas não apenas ao Lineamento Transbrasiliano, mas também as outras transcorrências associadas. Os granulitos máficos foram vistos em campo como corpos lenticulares, geralmente hospedados em metadioritos e metagranodioritos/enderbitos intensamente cisalhados. Observados como corpos rochosos alongados, apresentavam cerca de 10 metros de largura.

Descritos como rochas maciças a levemente foliadas de granulação fina a grossa, textura granoblástica, coloração cinza escuro, os granulitos máficos diferem dos granulitos enderbíticos pelas intercalações félsicas menos espessas (Figura 5.5 A). Alguns pofiroclastos de plagioclásio apresentam textura do tipo delta (Figura 5.5 B), indicando o sentido dextral da cinemática de deformação. Com respeito a mineralogia, são constituídos na porção félsica por 30 % de plagioclásio e 20% de quartzo, e os máficos destacam-se cristais tabulares de hornblenda e ortopiroxênio com cerca de 30 e 20%, respectivamente. Quando presente, as granadas perfazem cerca de 10 a 15% do volume mineralógico da rocha. Megacristais de ortopiroxênio também foram verificados (Figura 5.5 C).

Algumas amostras apresentam diques de composição basáltica (Figura 5.5 D) ou veios com textura pseudotaquilitica (Figura 5.5 E) cortando a rocha inteira, indicando natureza tardia. Outros afloramentos apresentavam marcante alteração por veios de epidoto (Figura 5.5 F).

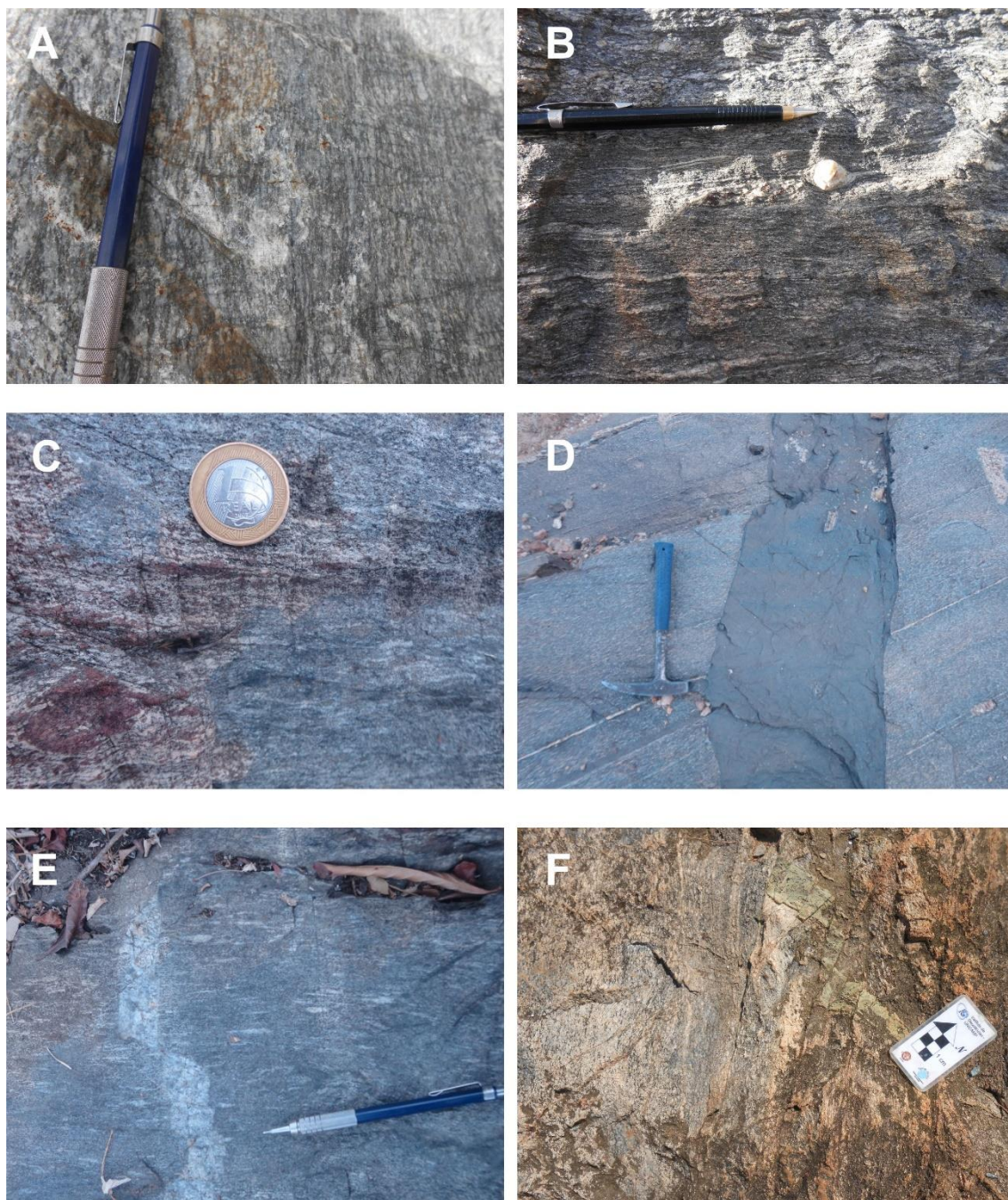


Figura 5.5 – Principais feições de campo dos cpx-grt anfibolitos. (A) Aspecto geral dos granulitos máficos (LW-14-07); (B) Delta dextral de plagioclásio (LW-14-11); (D) Intrusão de dique basáltico (LW-14-09); Veios pseudotaquiliticos; (LW-14-07); (F) Alteração epidotica (LW-14-07).

5.2.3 Granitos

Os granitos foram vistos como corpos intrusivos (diques) nos granulitos, geralmente, com menos de um metro de largura, via de regra, deslocados por falhas de cinemática sinistrais pós metamorfismo. Desta forma, apresentam-se com características bem preservadas ocorrendo em forma de diques faneríticos de granulação média, equigranular e coloração esbranquiçada (Figura 5.6 A).

As análises conjuntas de indicadores cinemáticos, tais como *tension gashes* (Figura 5.6 B) rotacionados, confirmaram o movimento sinistral das estruturas desenvolvidas em condições crustais intermediárias. Falhas direcionais e micro cisalhamentos com *trend* N20E-N30E, paralelos ao *trend* do LTB, deslocaram os diques graníticos (Figura 5.6 C e D). Esses movimentos sugerem que existem reativações sinistrais ao longo do Lineamento Transbrasiliiano em condições mais rasas.

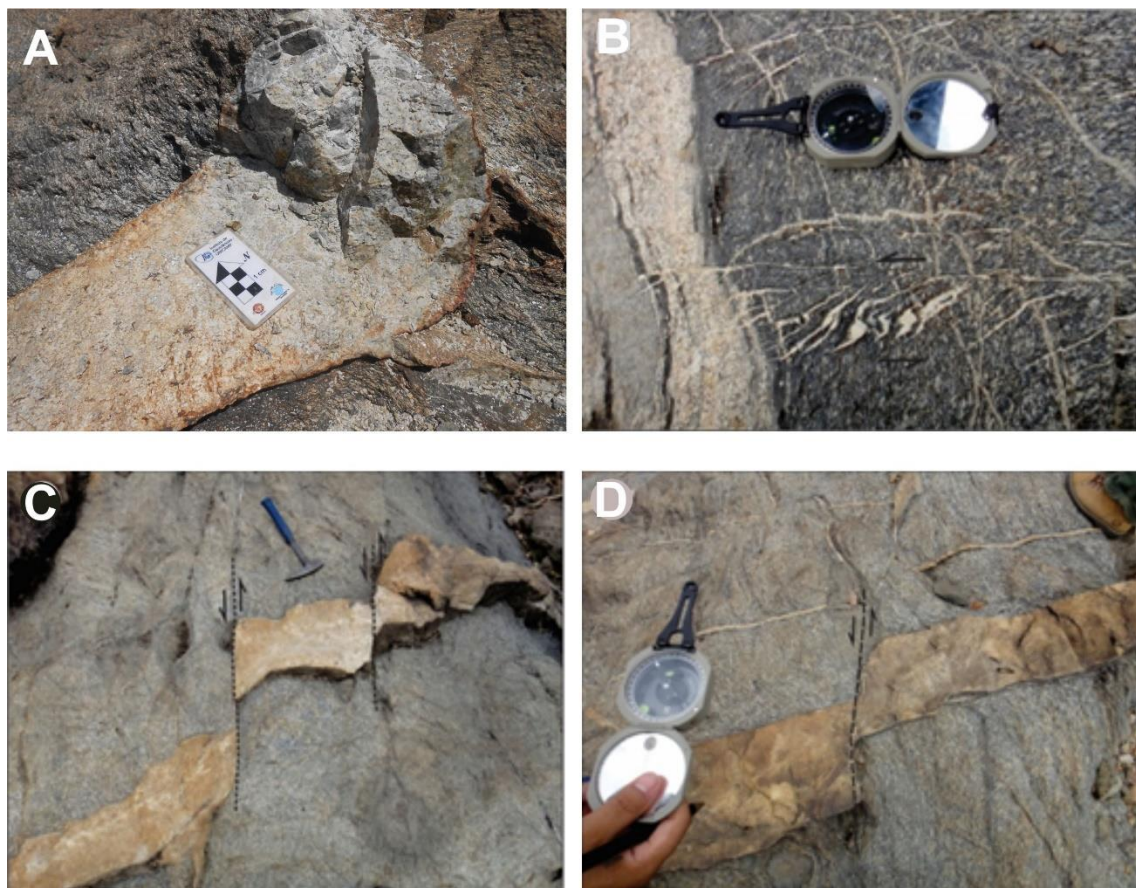


Figura 5.6 – Principais feições de campo dos granitos. (A) Dique granítico em granulito félsico (LW-14-14); (B) Relação de encaixe do granito e dos indicadores cinemáticos das encaixantes (LW-14-14); (C) e (D) Deslocamento sinistral dos diques graníticos (LW-14-14).

6. PETROGRAFIA

Este capítulo dedica-se a apresentar os dados referentes a análise de 11 seções delgadas das amostras que foram coletadas na área de estudo representando os granulitos félsicos e suas associações na região. Foram confeccionadas 8 lâminas referentes aos granulitos félsicos, 2 lâminas referentes aos granulitos máficos e 1 lâmina referente aos granitos que ocorrem como diques. As siglas utilizadas neste capítulo, para a descrição dos minerais, seguem a convenção apresentada por Kretz (1983).

6.1 Granulitos Félsicos

A assembleia mineral dos granulitos félsicos de composição enderbítica é definida por plagioclásio (pl) + ortopiroxênio (opx) + biotita (bt) + quartzo (qtz) $\pm$ clinopiroxênio (augita) (cpx) $\pm$ granada (grt) $\pm$ hornblenda (hnb) $\pm$ clorita (chl). Apresentam granulação que varia de fina a média e nas rochas menos deformadas ocorrem as texturas granoblásticas, composta por plagioclásio (25 a 35%) e quartzo (5 a 20%), e decussada, definida pela hornblenda (5 a 15%).

Granada é menos frequente (0 a 10%) e geralmente ocorre circundada por plagioclásio, biotita e pequenos cristais de ortopiroxênio (10 a 20%), sugerindo descompressão. Em algumas porções próximas à granada, o anfibólio está alterando para clorita. Também entre as fraturas da granada corre preenchimento por anfibólio alterados para sericita e clorita. (Figura 6.1 A e B).

O ortopiroxênio apresenta-se em luz polarizada em tonalidades róseas e acinzentadas, enquanto que em luz normal apresentam tonalidades pálidas de verde a rosa (Figura 6.1 C, D,e E).

Raros cristais de anfibólio também se apresentam na forma granular, assim como clinopiroxênio (augita) (10 a 20%), ambos podendo ocorrer em pequenas lamelas em contato com o ortopiroxênio (Figura 6.1 F) ou como solução sólida (Figura 6.1 G e H). Em algumas situações verifica-se o ortopiroxênio de maneira reliquiar sendo substituído pelo clinopiroxênio (Figura 6.1 I), assim como clinopiroxênio sendo substituído por anfibólio (Figura 6.1 J). Por vezes, verificou-se clorita (10 a 15%), frequentemente

associada a alteração de piroxênio, hornblenda e biotita. A hornblenda apresentam-se com pleocroísmo típico verde a acastanhado.

Alguns cristais maiores de plagioclásio apresentam macla polissintética muito bem definida, enquanto outros apresentam extinção zonada e textura poiquilítica devido saussuritização (Figura 6.1 K).

Nas rochas mais deformadas, a textura é nematoblástica com a foliação definida por biotita e anfibólio, em contato com os piroxênios, e quartzo frequentemente na forma de *ribbons* policristalinos com extinção ondulante. As bandas mais máficas são definidas pela associação $opx + cpx + hbl + bt \pm grt$ enquanto que as mais félsicas são definidas por $pl + qtz$.

Minerais opacos ocorrem com frequência entre 5 e 10%. Outros minerais, tais como zircão, ilmenita, apatita e até mesmo raros microclínio (Figura 6.1 L), por vezes ocorrem em quantidades não significativas, sendo então considerados como mineral acessório.

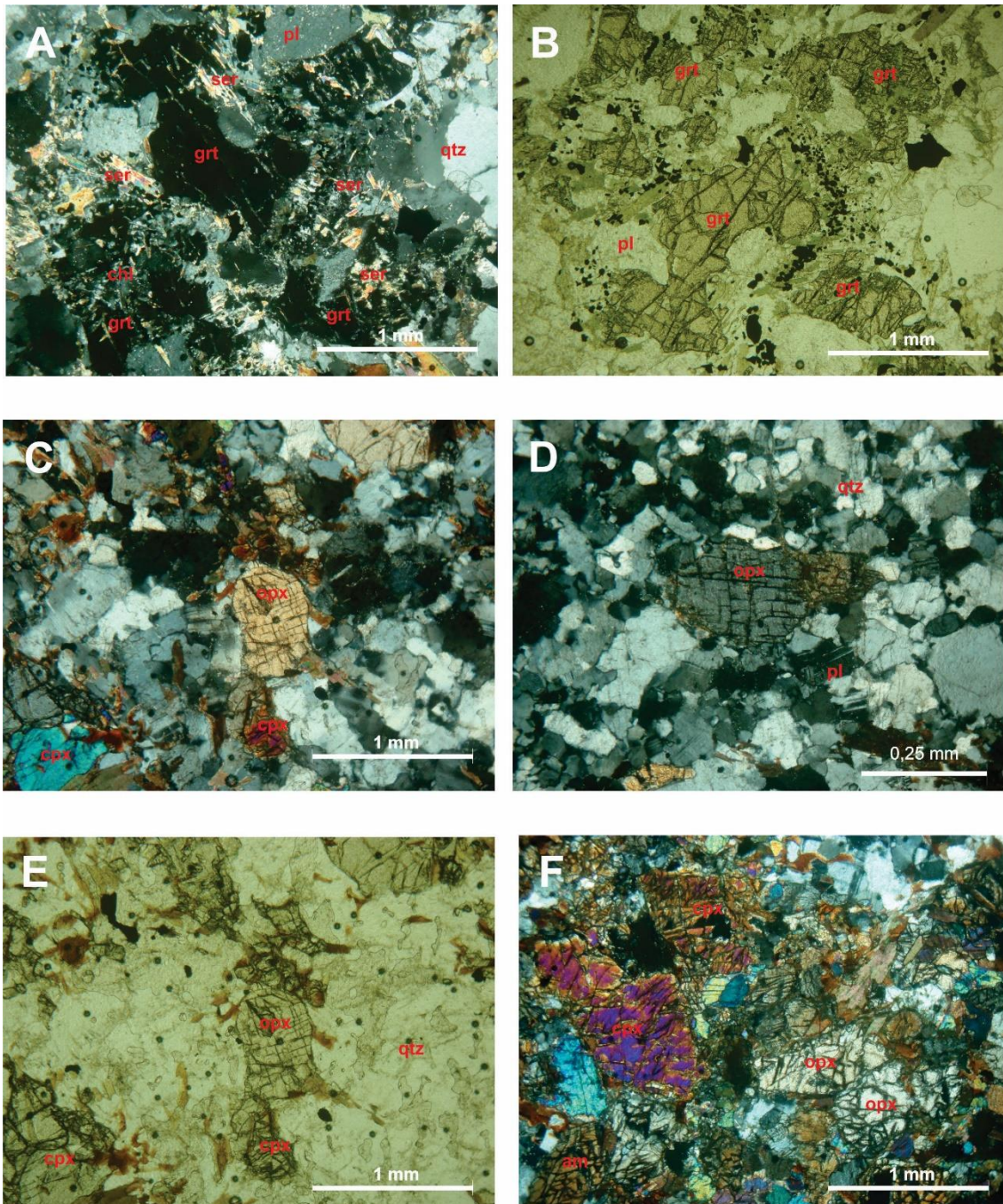


Figura 6.1 – Características petrográficas dos granulitos félsicos. (A) Fotomicrografia mostrando o preenchimento das fraturas da granada por clorita ea sericita em luz polarizaada; (B) Fotomicrografia exibindo o bordejamento da granada porplagioclásio; (C) Fotomicrografia de cristais de ortopiroxênio com coloração rósea e clinopiroxênio com alta birrefringência em luz polarizada; (D) Fotomicrografia de cristais de ortopiroxênio com coloração acinzentada em luz polarizada; (E) Fotomicrografia dos cristais isolados de ortopiroxênio e clinopiroxênio em luz polarizada; (F) Fotomicrografia com a relação de contato e substituição entre os cristais de ortopiroxênio, clinopiroxênio e anfibólio em luz polarizada.

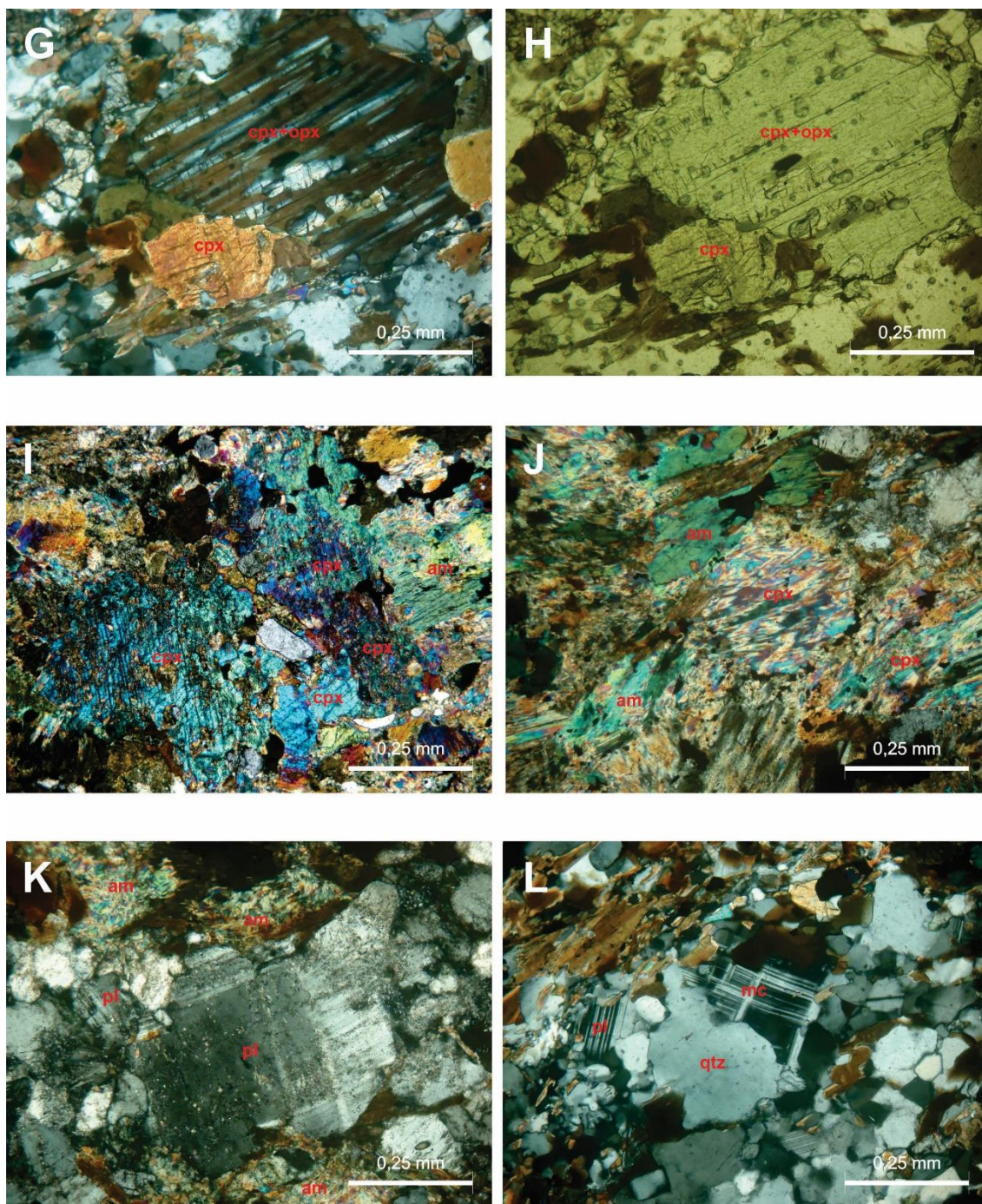


Figura 6.1 – Características petrográficas dos granulitos félsicos. (G) Fotomicrografia exibindo solução sólida de clinopiroxênio e ortopiroxênio; (H) Fotomicrografia a exsolução de clinopiroxênio e ortopiroxênio em luz normal; (I) Fotomicrografia da substituição de ortopiroxênio por clinopiroxênio em luz polarizada; (J) Fotomicrografia da substituição de clinopiroxênio por anfibólio em luz polarizada; (K) Fotomicrografia de plagioclásio zonado poiquilítico e em processo de saussuritização; (L) Fotomicrografia de um cristal de microclínio em meio ao bandamento félsico.

6.2 Granulitos Máficos

Nos granulitos máficos (clinopiroxênio anfibolito), a granulação varia de média a grossa nos termos mais e menos deformados, respectivamente. A assembleia verificada foi plagioclásio + clinopiroxênio + hornblenda + granada $\pm$ quartzo $\pm$ biotita. Neste tipo de granulito é típico a ausência de ortopiroxênio, pois este mineral não é estável a pressões elevadas em que a rocha se estabilizou (Amaral *et al.*, 2012).

Poiquiloblastos de granada (aproximadamente 10%) se destacam na matriz granoblástica composta por plagioclásio (25 a 30%) e quartzo (10 a 15%) nas porções félsicas, e clinopiroxênio (15 a 20%) e hornblenda (25 a 35%) nas porções máficas. A granada frequentemente é bordejada por plagioclásio e hornblenda (Figura 6.2 A).

Porfiroclastos menos deformados de anortita apresentam macla *carlsbad* preservada (Figura 6.2 B), enquanto os mais deformados encontram-se em contato com os clinopiroxênios e apresentam extinção ondulante, textura poiquilítica e intenso processo de sericitização (Figura 6.2 C).

O clinopiroxênio (augita e dipsídio) ocorre tanto na matriz como porfiroclastos isolados que estão se alterando para anfibólio (Figura 6.2 D) como incluso na granada. Inclusões de quartzo e plagioclásio também são comuns. Foram observados simplectitos de plagioclásio com anfibólio (Figura 6.2 E) e bordejamento ou substituição do diopsídio por anfibólio, ambas feições indicando descompressão e retrometamorfismo. Opacos chegam a 10% do volume total. Zircão e rutilo foram encontrados em quantidades pouco expressivas (<1%), assim como o microclínio (Figura 6.2 F).

Os granulitos máficos foram afetados por fluídos hidrotermais tardios, representados pela sausrutização do plagioclásio, preenchimento das fraturas das granadas por clorita na variedade chamoisita (Figura 6.2 G) e alteração epidotítica (Figura 6.2 H).

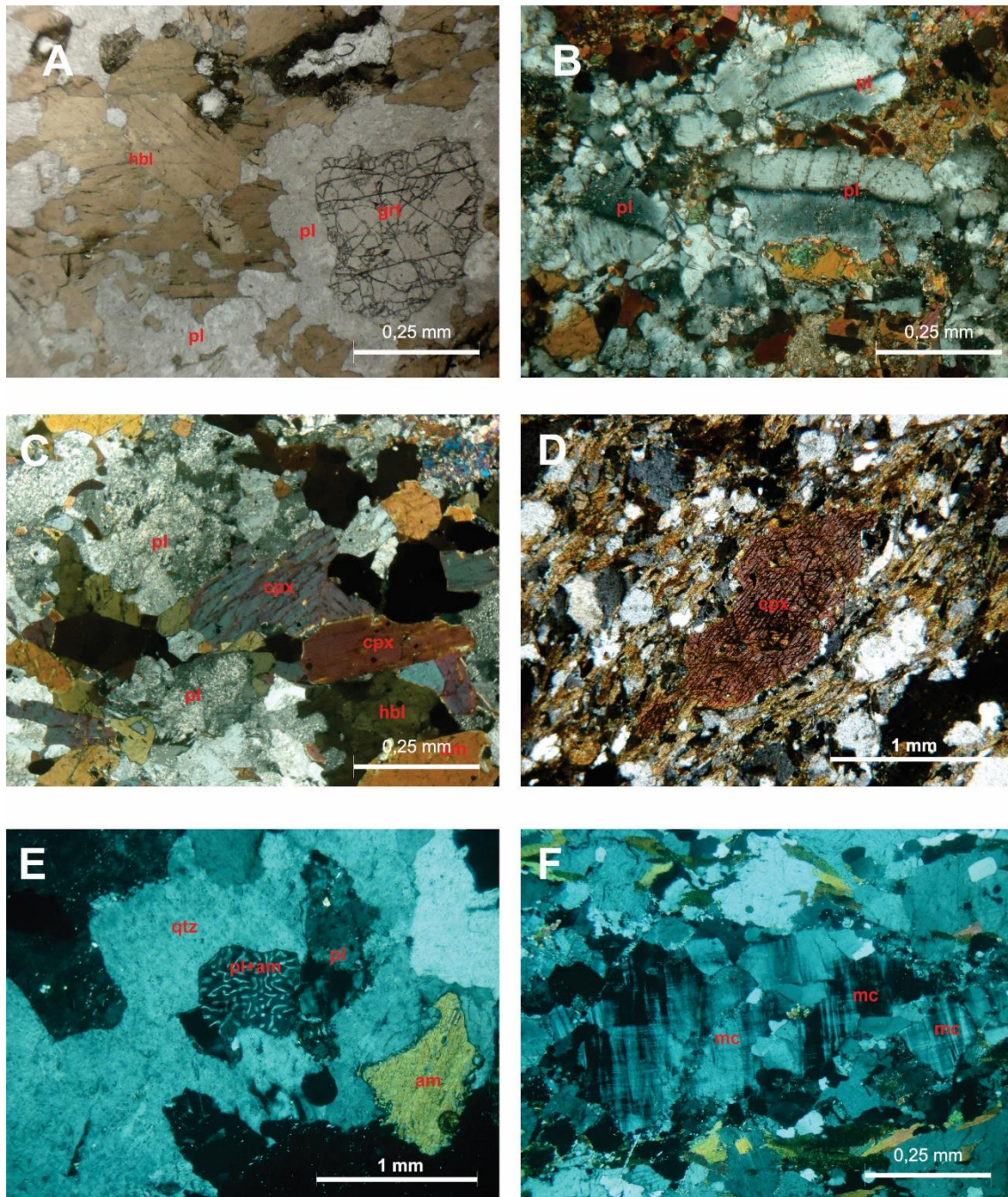


Figura 6.2 – Características petrográficas dos granulitos máficos. (A) Fotomicrografia da granada bordejada por plagioclásio e hornblenda; (B) Fotomicrografia do plagioclásio com macla *carlsbad* preservada; (C) Fotomicrografia da relação de contato entre o clinopiroxênio e o plagioclásio intensamente sericitizado; (D) Fotomicrografia da alteração do clinopiroxênio para anfibólio; (E) Fotomicrografia de um simplectito de plagioclásio e anfibólio; (F) Fotomicrografia de um cristal de microclínio em meio ao bandamento félsico.

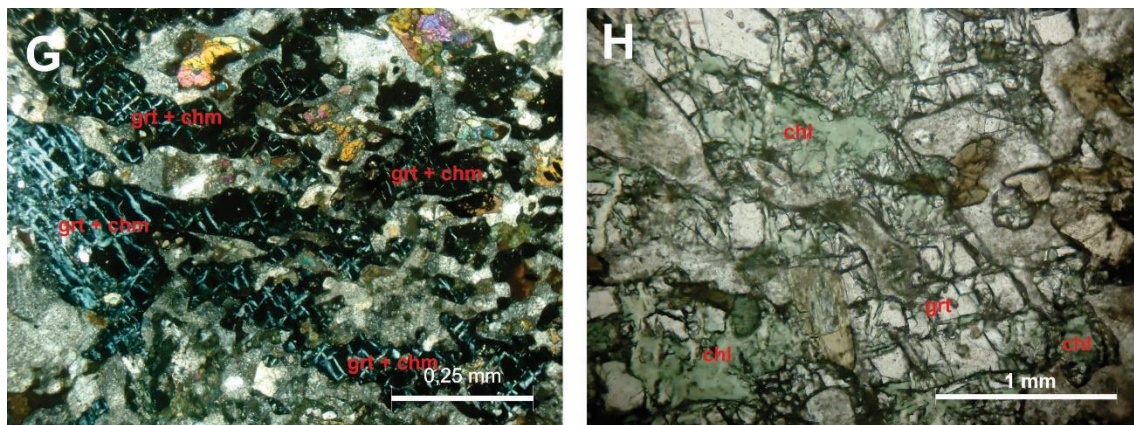


Figura 6.2 – Características petrográficas dos granulitos máficos. (G) Fotomicrografia de granada percoladas por chamosita; (H) Fotomicrografia da alteração clorítica no cpx anfibolito.

6.3 Granitos

O granito observado em seção delgada apresentou-se via de regra isotrópico, fanerítico com granulação média, coloração cinza, leucocrática, hocrystalina e equigranular. A assembleia é composta por quartzo + plagioclásio + microclínio $\pm$ muscovita $\pm$ biotita. A matriz é composta por quartzo (aproximadamente 30%), plagioclásio (aproximadamente 30%) e microclínio (25%).

Cristais maiores de plagioclásios apresentam-se intensamente sericitizados (Figura 6.3 A). Os plagioclásios correm também com intercrescimentos de vênulas de quartzo em forma de bastonetes e em contato com o feldspato potássico, gerando a textura mimerquítica (Figura 6.3 A).

Os cristais de quartzo apresentam ocorrência poli e monocristalina, ambos com extinção ondulante (Figura 6.3 B). São ainda comuns na composição da assembleia mineral pequenos cristais de biotita (aproximadamente 5%) e muscovita (aproximadamente 10%) em meio a matriz (Figura 6.3 B).

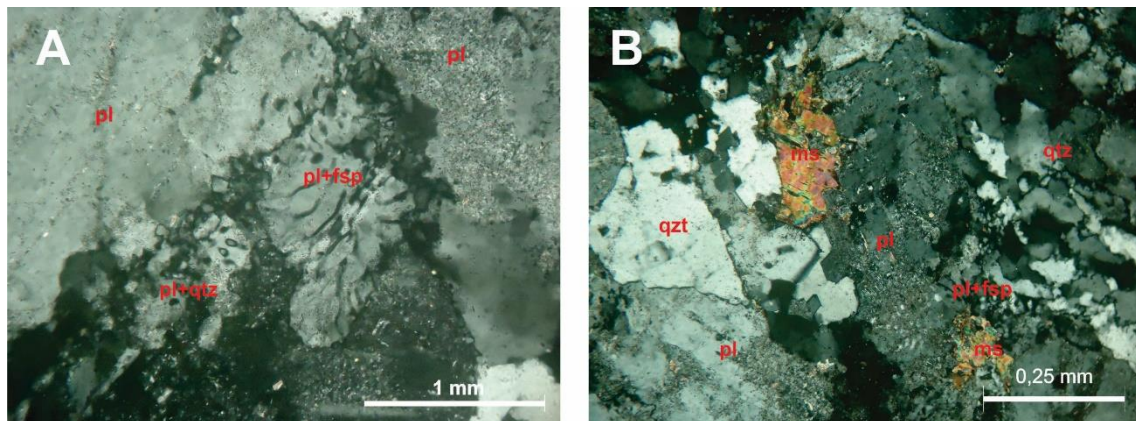


Figura 6.3 – Características petrográficas do granito. (A) Fotomicrografia mostrando a intensa sericitização do plagioclásio, vênulas de quartzo em plagioclásio e mimerquita de feldspato e plagioclásio; (B) Fotomicrografia indicando quartzo mono e policristalino, alteração do plagioclásio e muscovita.

7. GEOQUÍMICA

Este capítulo apresenta os resultados de dezesseis análises geoquímicas realizadas nas amostras coletadas em campo da área de estudo. Para isso, utilizou-se de métodos de Fluorescência de Raio-X e ICP-MS. A partir dos resultados obtidos foram elaborados diagramas classificatórios e de discriminação tectônica. A tabela de dados encontra-se em anexo nas Tabelas 1 e 2.

7.1 Diagramas Classificatórios

Os dados químicos obtidos para as amostras representativas dos granulitos da Faixa Granulítica de Cariré estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 (FRX e ICP-MS, respectivamente). Considerando o conteúdo de SiO_2 das amostras analisadas, os granulitos enderbíticos apresentam uma variação de 51,55 a 65,37%, enquanto os granulitos máficos variam restritamente entre 47,94 a 48,6%.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 realizou-se diversos diagramas de classificação dos protólitos a fim de avaliar as amostras estudadas com base em suas afinidades químicas e tectônicas. Utilizando diagramas classificatórios para rochas plutônicas, observa-se no diagrama $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 , proposto por Middlemost (1985) (Figura 1), que os protólitos dos granulitos félsicos localizam-se nos campos dos monzodioritos, dioritos e granodioritos, enquanto que os protólitos dos granulitos máficos encontram-se entre o campo dos monzo-gabro e gabro e entre gabro e gabro-diorito.

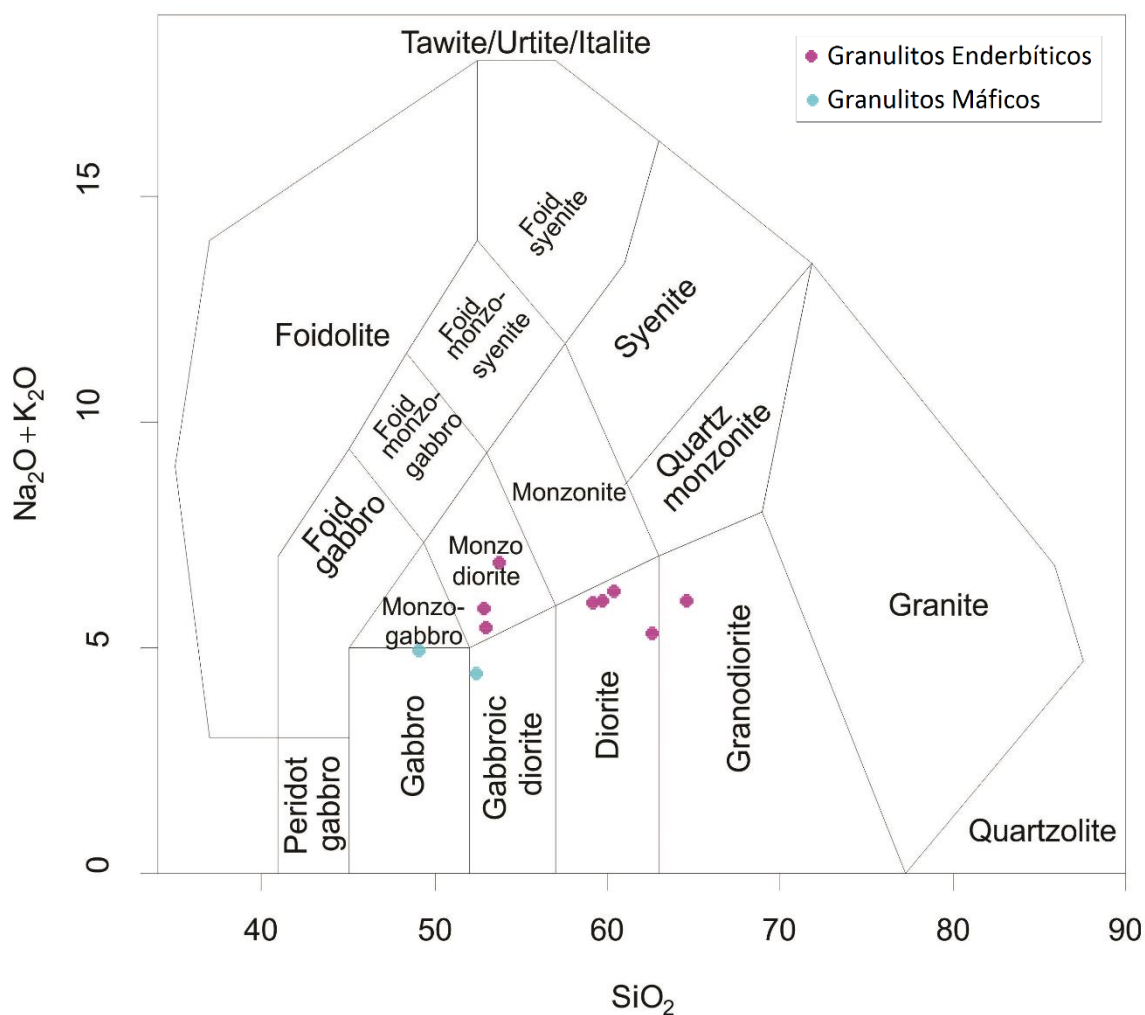


Figura 7.1 – Diagrama de Álcis vs. Sílica proposto por Middlemost (1985) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

Em termos de valores normativos para a série dos feldspatos foi elaborado o diagrama ternário de O'Connor (1965) (Figura 7.2), tendo nos vértices os extremos da série An-Ab-Or. Considerando os valores de Na₂O entre 3,31 a 4,78%, de K₂O entre 0,91 a 2,94% e de CaO entre 4,29 a 8,86% para os granulitos félsicos e de Na₂O entre 2,9 a 3,76%, de K₂O entre 1,12 a 1,32% e de CaO 8,53 a 9,69% para os granulitos máficos, ambos granulitos mostraram tendência composicional maior dos protólitos na região dos tonalitos e também nos granodioritos para alguns dos félsicos, mostrando predominância de plagioclásios cálcicos e sódicos em detrimento de feldspatos potássicos. Isso reforça a classificação dessas rochas como sendo de natureza enderbítica e não charnokítica.

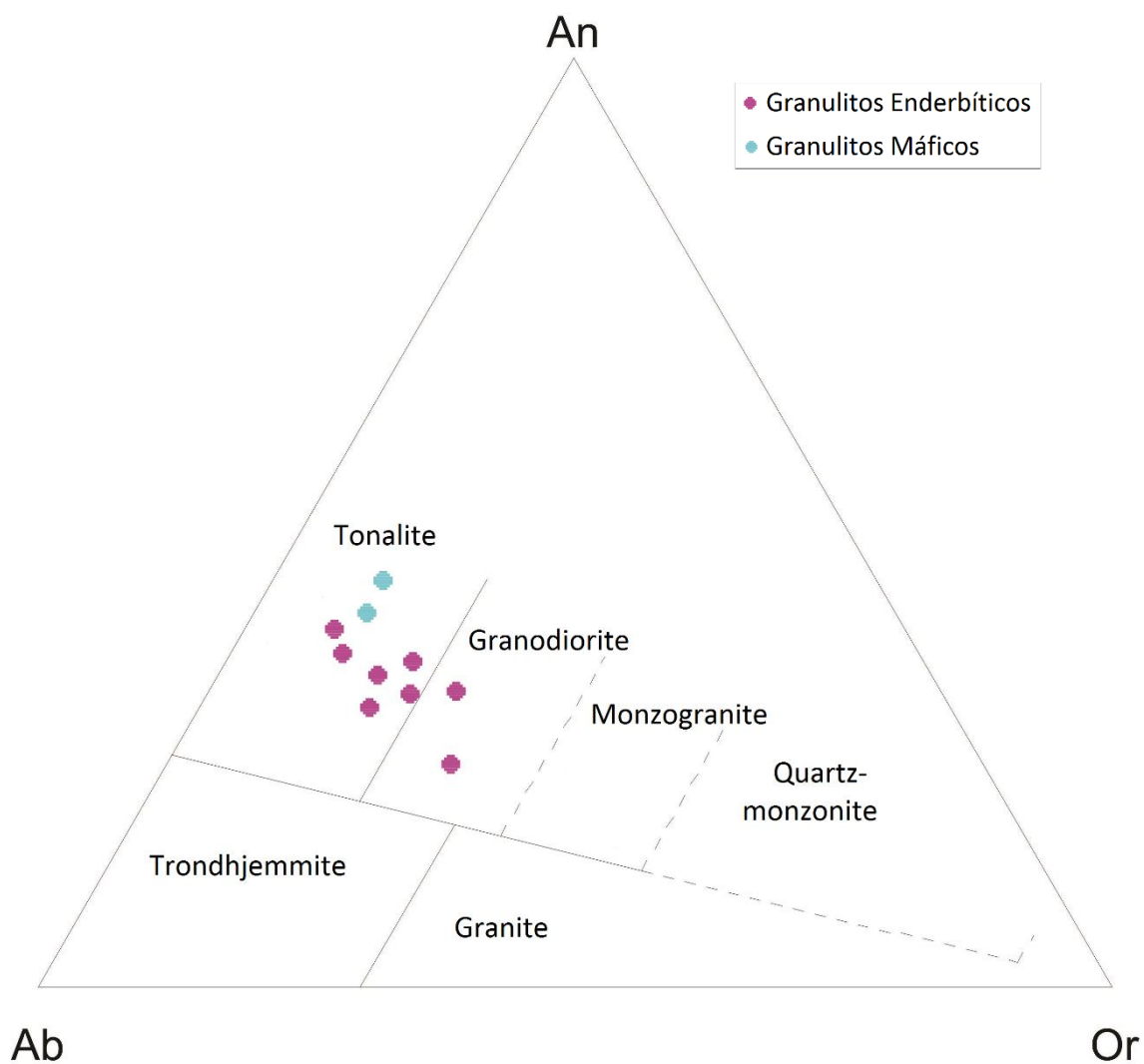


Figura 7.2 – Diagrama normalizado nos termos de composição de An-Ab-Or por O'Connor (1965) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

Utilizando diagramas que consideram a afinidade química das rochas, no proposto por Miyashiro (1974), verifica-se que as amostras plotam próximas a linha de divisão entre as séries Tholeííticas e Calco-Alcalinas (Figura 7.3). A maioria dos pontos localizam-se no campo correspondente a série calco-alcalina, mas também ocorrem pontos no campo da série toleítica, exibindo considerável variação química dos protólitos o que indica caráter intermediário dos mesmos.

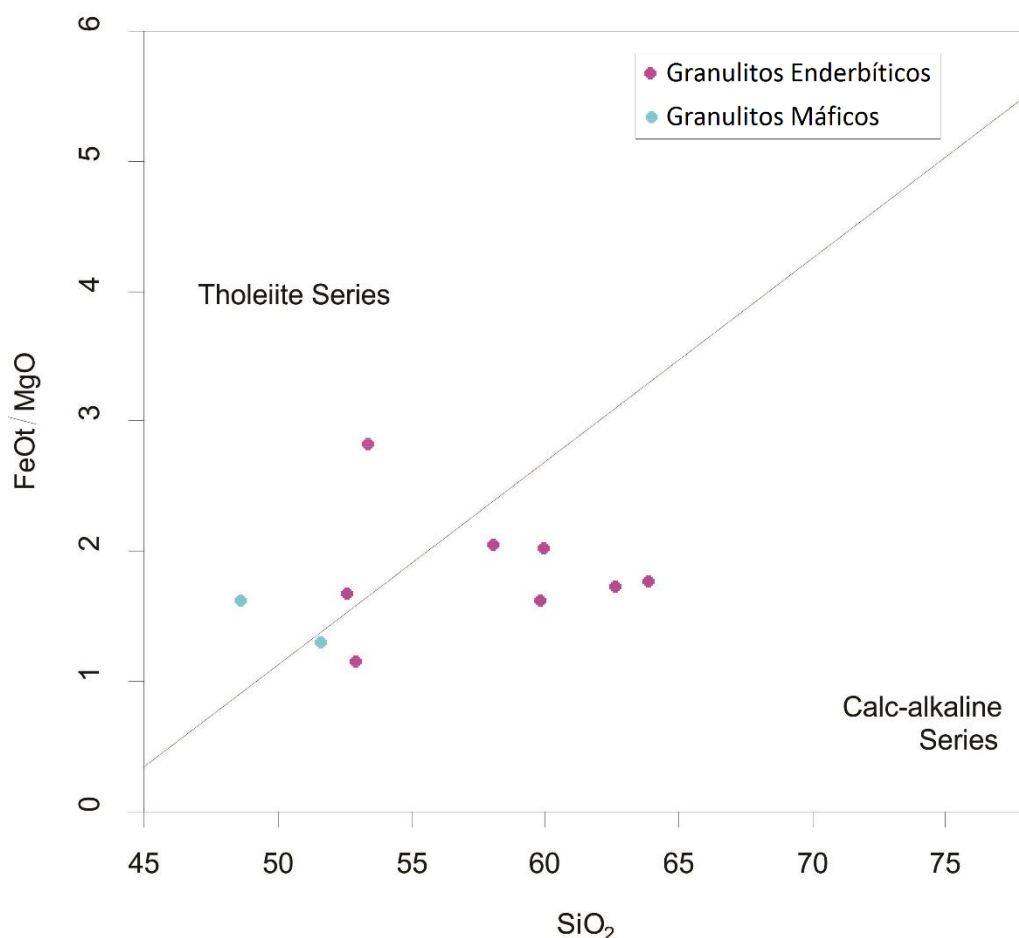


Figura 7.3 – Diagrama das Séries Calcicalina-Tholeiítica vs. Sílica por Miyashiro (1974) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

Os diagramas de Frost *et al.* (2001) propõem três níveis classificatórios para granitoides através de parâmetros químicos que mostram a afinidade das rochas a partir do Índice de Ferro ($\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ vs. SiO_2), do Índice Calcio-Alcalino ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ vs. SiO_2) e do Índice de Alumina Saturação ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$).

O diagrama do Índice de Ferro (Figura 7.4a) é utilizado para medir o enriquecimento em Fe relativamente ao Mg. Verificou-se que quase a totalidade das amostras são classificadas como magnesianas, localizando-se amplamente neste campo, com exceção da amostra LW-14-09 que encontra-se no limiar entre os dois campos. Observa-se também que estas rochas apresentam um aumento discreto nos valores de $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ com o aumento de SiO_2 , sendo os granulitos félsicos os que apresentam maiores teores de SiO_2 . A afinidade magnesiana das amostras sugere que estas foram submetidas a cristalização precoce de magnetita suprimindo o enriquecimento em ferro.

Já no diagrama do Índice Calcio-Alcalino (Figura 7.4b), observa-se o domínio do caráter calco-alcálico tanto para as amostras de granulitos máficos quanto para os félsicos, ou seja, tais rochas apresentam conteúdos baixos de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ relativo ao CaO . As características obtidas para este índice refletem a composição dos plagioclásios presentes nas amostras, corroborando com a petrografia destas, assim como com o digrama proposto por O'Connor discutido anteriormente na Figura 7.3, onde apresenta uma predominância de plagioclásios cálcicos e sódicos em detrimento de feldspatos potássicos.

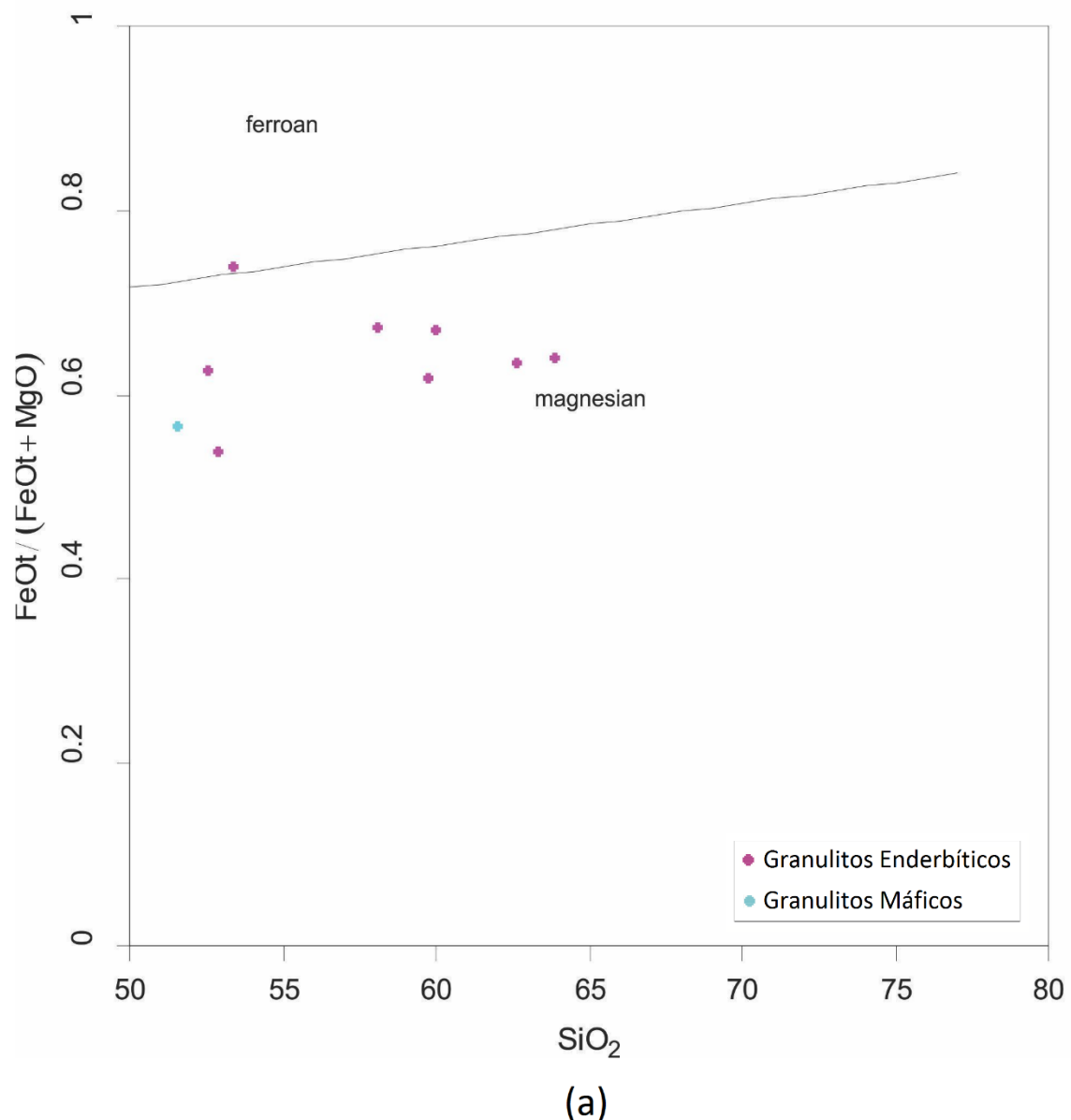


Figura 7.4 – (a) Diagrama do Índice de Ferro proposto por Frost *et al.* (2001) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

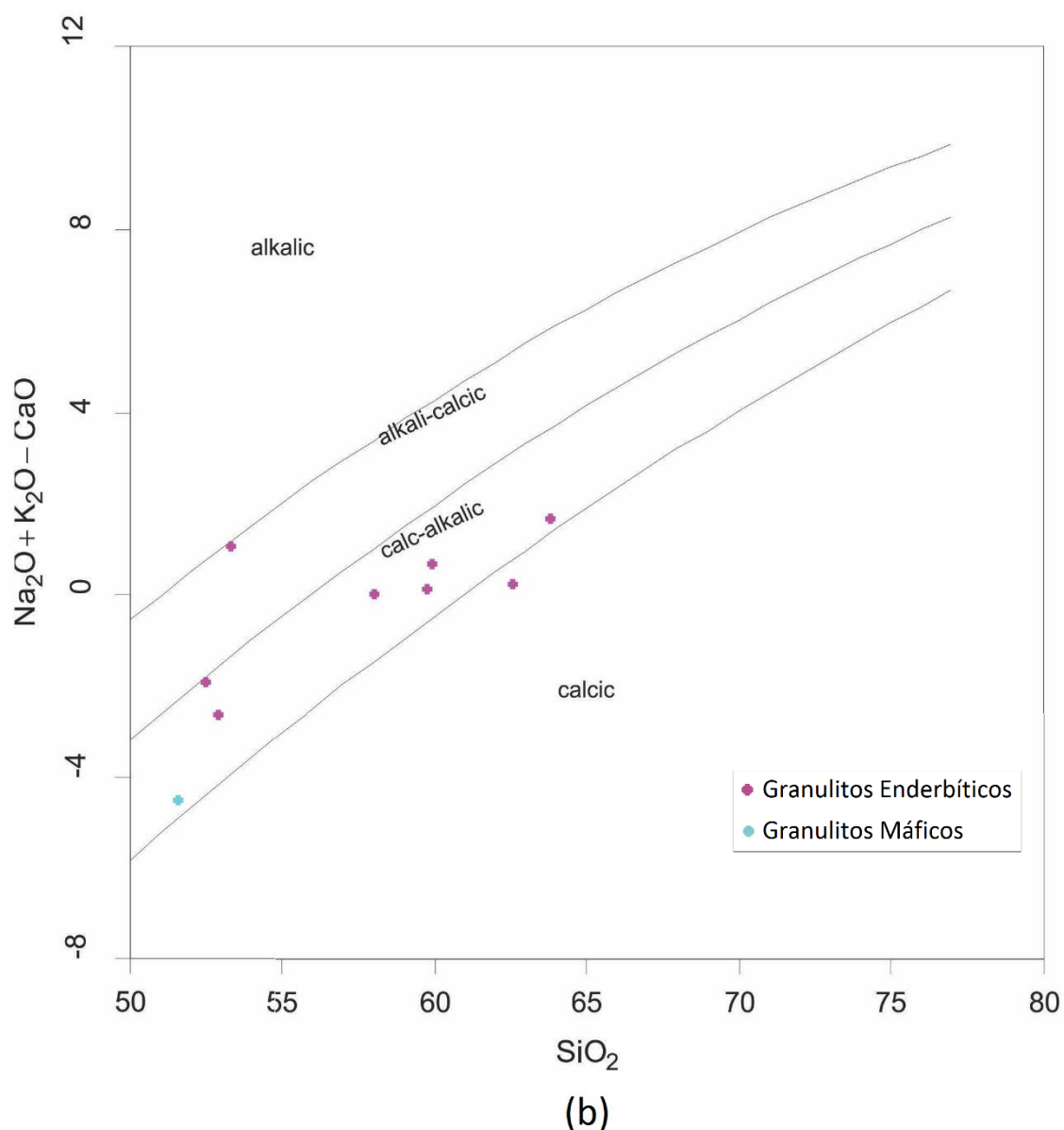


Figura 7.4 – (b) Diagrama do Índice de Calcio-Alcalino proposto por Frost *et al.* (2001) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

Por fim, o diagrama do Índice de Alumina Saturação (Figura 7.4c) consiste na relação entre a proporção Al_2O_3 e a soma das proporções $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ das rochas. Dessa forma, determinou-se o caráter metaluminoso de todas as amostras. A característica metaluminosa observada nas amostras ($A/\text{CNK} < 1$) reflete a presença de minerais cálcicos, tais como piroxênio, hornblenda e biotita, identificados nas análises petrográficas. Observa-se também que algumas amostras encontram-se próximas ao limiar entre os domínios Metaluminoso e Peraluminoso, indicando que estas

apresentam um leve aumento no teor de alumínio, caracterizando a presença de minerais tais como biotita e granada, confirmados pela petrografia.

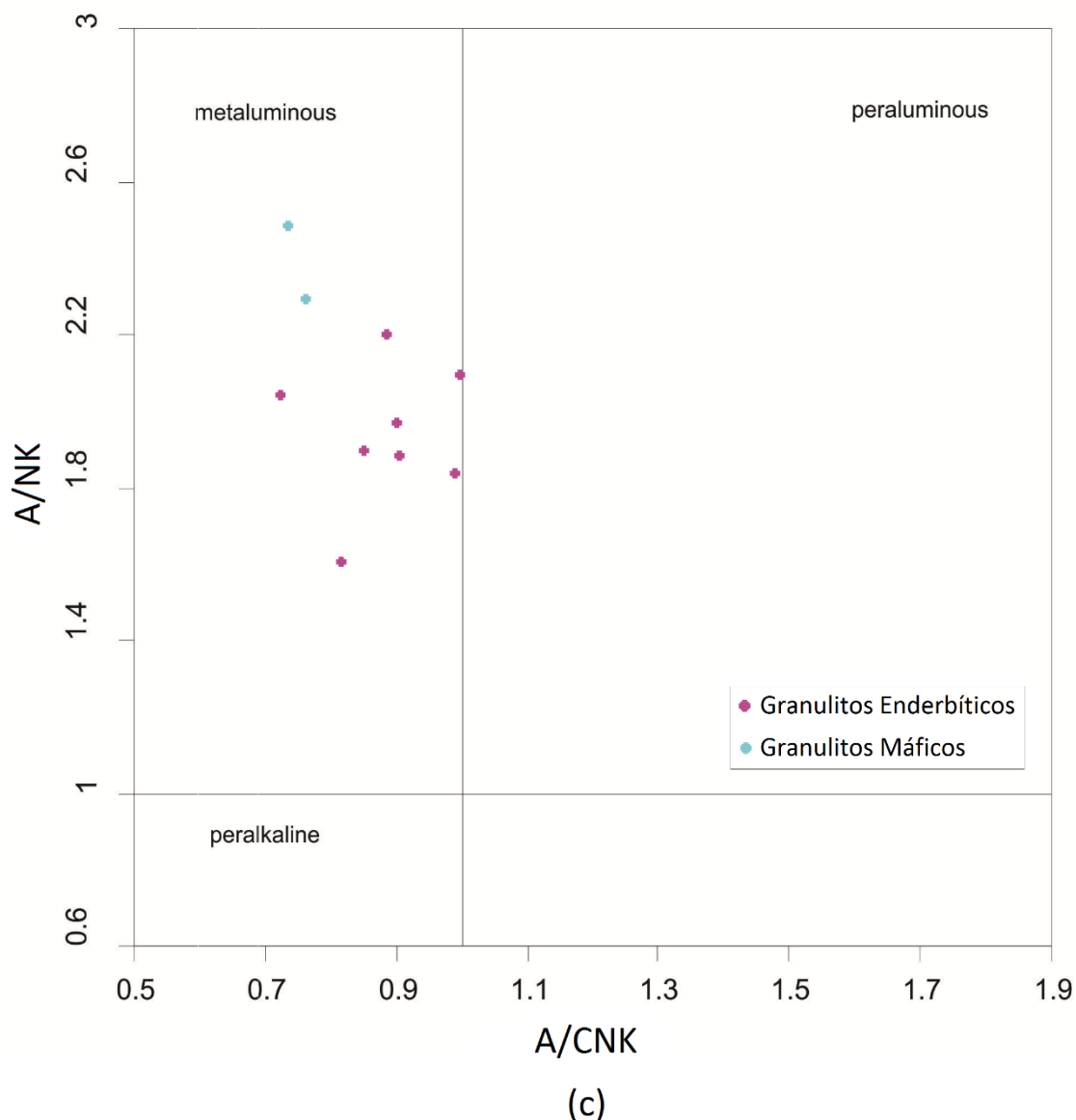


Figura 7.4 – (c) Diagrama do Índice de Alumina Saturação proposto por Frost *et al.* (2001) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

7.2 Diagramas Multielementares e Spiderdiagramas

7.2.1 Elementos Maiores e Menores

Nos diagramas de variação química de Harker para óxidos de elementos maiores (Figura 7.5), observa-se que os conteúdos de TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 e FeO diminuem com a incorporação de SiO_2 no sistema, resultando em uma correlação linear negativa para estes óxidos, como pode ser visto nos diagramas correspondentes.

Com respeito às variações de Na_2O e K_2O , verifica-se um maior espalhamento para estes elementos, entretanto há uma leve correlação linear positiva com o aumento de SiO_2 . Esta dispersão ocorre devido a maior mobilidade destes elementos nas condições de ambiente em que tais rochas foram formadas, assim como o aumento destes elementos é evidenciado através da presença de feldspatos alcalinos nas rochas.

Os valores altos e crescentes de Al_2O_3 em relação ao SiO_2 refletem a retenção deste elemento na estrutura dos principais minerais constituintes das rochas estudadas tais como plagioclásios, anfibólios e piroxênios.

Valores médios de CaO (entre 4 e 9%) comparados aos teores de álcalis (Na_2O entre 3 e 5% e K_2O entre 1 e 3%) refletem a variação composicional dos plagioclásios entre o extremo cálcico (albita) e o sódico (anortita) presente nos litotipos analisados também petrograficamente, em detrimento do feldspato potássico (ortoclásio). Teores de P_2O_5 e TiO_2 , apesar de não serem muito altos, podem estar associados à presença de minerais como apatita e titanita, respectivamente, fases minerais acessórias que foram verificadas em análises petrográficas.

Mais especificamente, verifica-se que os granulitos enderbíticos apresentam teores menores de óxidos formados por elementos máficos com relação ao SiO_2 do que os granulitos máficos (MgO entre 2,19 e 7,01%, CaO entre 4,29 e 8,86% e FeO^t entre 4,63 e 10% para os enderbitos; e MgO entre 6,28 e 7,49%, CaO entre 8,53 e 9,69% e FeO^t entre 8 e 10,23% para os cpx anfibolitos), enquanto que os óxidos formados por elementos félsicos apresentam teores mais altos para os granulitos enderbíticos do que para os máficos (Na_2O entre 3,5 e 5% e K_2O entre 1 e 3% para os enderbitos; e Na_2O entre 3 e 4% e K_2O próximos a 1% para os máficos). Contudo, o comportamento mais evidente para a maioria dos elementos que mostra tendências lineares, em detrimento de um comportamento mais suave, pode indicar processos de mistura de magmas, como proposto por Frost & Frost (2014).

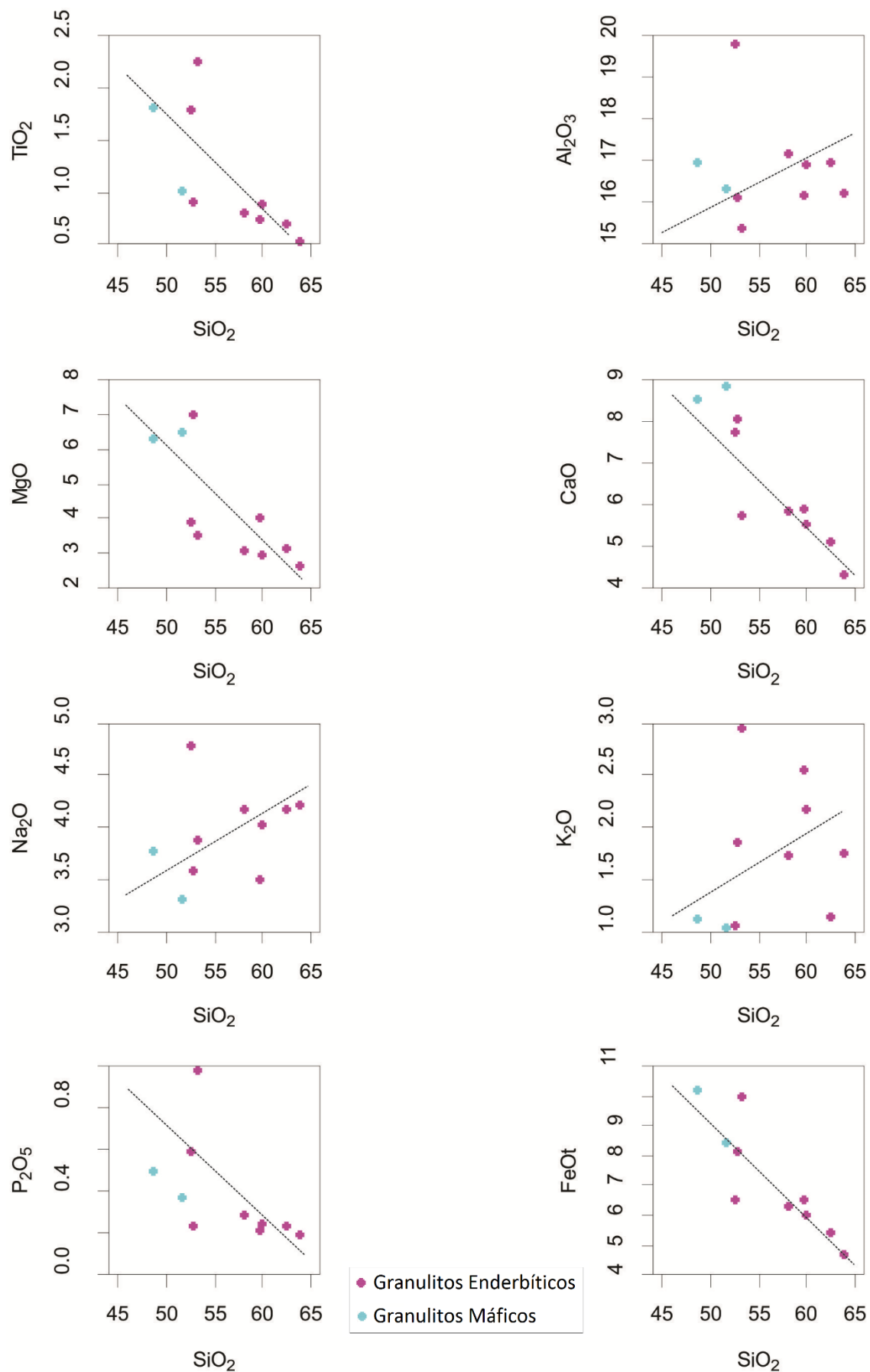


Figura 7.5 - Diagramas de variação dos óxidos em relação a SiO_2 proposto por Harker para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré.

7.2.2 Elementos Terras Raras

Padrões de Elementos Terras Raras normalizados pelo condrito (Boynnton, 1984) são apresentados na Figura 7.6. Observa-se o enriquecimento em elementos terras raras leves (LREE: La-Sm) em relação aos elementos terras raras pesados (HREE: Gd-Lu) refletindo um fracionamento entre estes grupos, como pode ser constatado pelas razões $(La/Yb)_N$ entre 9,25 e 20,58 e razões $(La/Sm)_N$ entre 2,95 e 3,72. São observadas anomalias positivas de Eu, com exceção da amostra LW-14-13, correspondente a um granulito enderbítico que apresenta uma leve anomalia negativa de Eu. A presença de anomalias positivas de Eu sugerem que a rocha fonte do qual o magma derivou-se, assim como as amostras analisadas, contém quantidades significativas de plagioclásio cálcico e hornblenda, fases minerais que acomodam o Eu^{2+} em suas estruturas cristalinas, pela substituição do Ca^{2+} (Winter, 2001), com exceção do enderbito LW-14-13 que, portanto, pode não conter estas fases minerais.

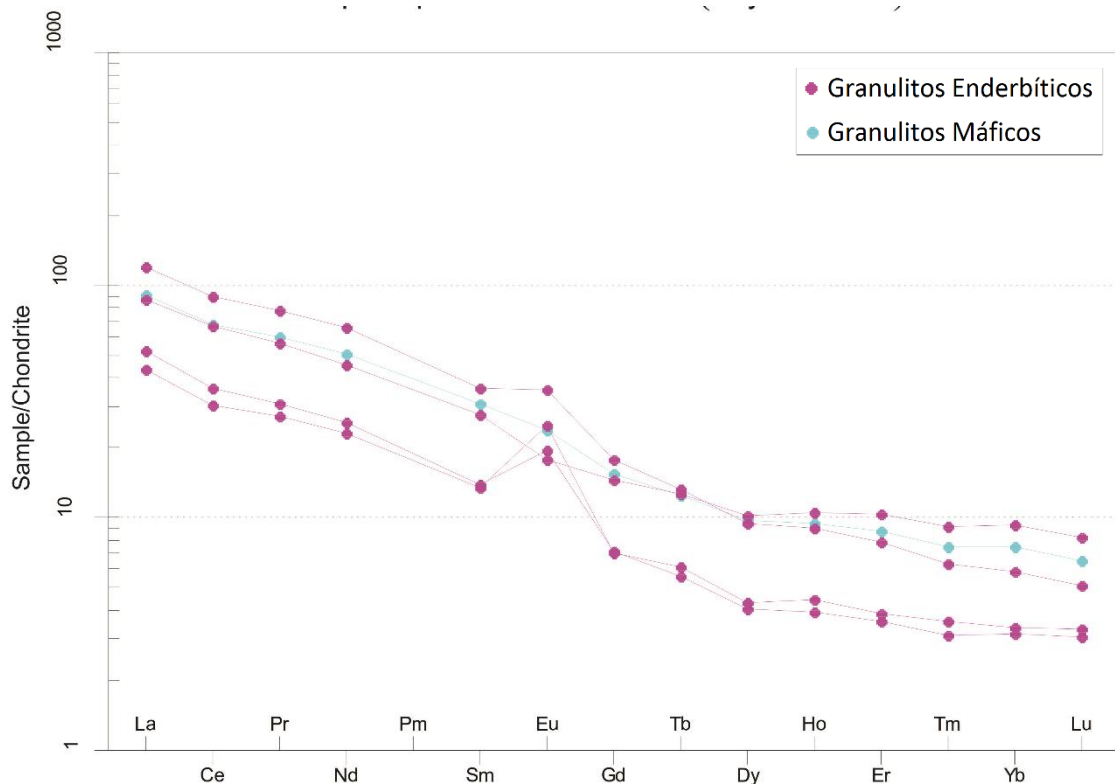


Figura 7.6 – Normalização Condritica dos Elementos Terras Raras por Boynton (1984) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré

7.2.3 Elementos Menores, Traços e Terras Raras

O spiderdiagrama multielementar normalizado pela crosta inferior, proposto por Weaver & Tarney, (1984) (Figura 7.7), mostra os padrões dos elementos incompatíveis.

Estes elementos são divididos em dois grupos, os que apresentam grandes raios iônicos chamados de LILE (*Large Ion Litophile Elements*) e outro que inclui elementos com grande valência iônica (ou cargas elevadas) chamados de HFSE (*High Field Strength Elements*).

As rochas analisadas apresentam enriquecimento em LILE, tais como Ba, Rb, Sr, K e P, com relação aos elementos HFSE, tais como Nb, Ta, Zr e Hf. Além disso, pode-se observar anomalias positivas bem marcadas de Ti em todas as amostras e nos elementos U, Y e no Th para a amostra LW-14-13, bem como anomalias negativas distintas em Nb, Zr e Th para as amostras LW-14-01B e 07B.

Adicionalmente, a leve anomalia positiva de Sr (com exceção da amostra LW-14-13) também pode indicar hospedagem no plagioclásio, uma vez que apresenta tendência a ser incorporado por este mineral. Da mesma forma, Rb e Ba podem refletir residência destes elementos nos feldspatos alcalinos, quando presente esta fase mineral, através da substituição do K. A anomalia positiva bem marcada de U pode ter sido causada devido a refusão dos protólitos, uma vez que estes foram levados para ambientes supracrustais, o U pode ter sido incorporado no processo de anatexia, enquanto que anomalia observada no Ti, reflete a presença de ilmenita, titanita e rutilo nas amostras como mineral acessório, assim como as anomalias de Th indicam presença de monazita. Todas essas fases minerais foram confirmadas nas análises petrográficas.

Anomalias negativas observadas no elemento Zr, por sua vez, podem indicar formação de zircão. Este mineral pode ter sido retido na fonte ou preferencialmente cristalizados em outras suítes magmáticas, tendo sido pouco incorporado pelas amostras analisadas apesar de terem sido vistas na petrografia.

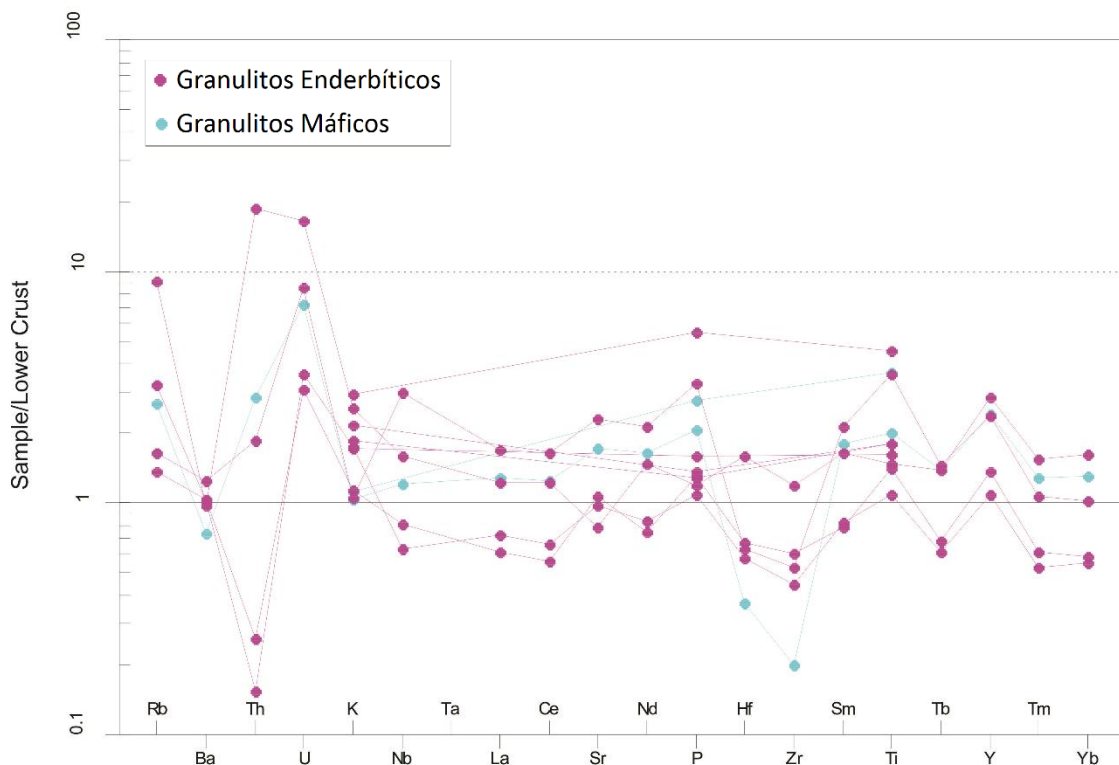


Figura 7.7 – Normalização Infracrustal dos multielementos por Weaver & Tarney (1984) para as amostras da Faixa Granulítica de Cariré (algumas amostras não possuem todos os elementos por isso plotaram como linhas).

7.3 Diagramas de Discriminação Tectônica

No diagrama multicatiônico R_1 - R_2 de Batchelor+Bowden (1985) (Figura 7.8), observa-se que quase a totalidade das amostras localizam-se no campo *Pre-plate Collision*, evidenciando que os protólitos dos granulitos foram gerados antes da colisão dos blocos crustais representados pelos Domínios Médio Coreaú e Ceará Central (Amaral, 2010).

Ao analisar as classificações tectônicas propostas por Pearce *et al.* (1984), observa-se que no diagrama Rb vs. Y+Nb (Figura 7.9a), exceto para a amostra LW-14-12B, as rochas são classificadas como Granitos de Arco Vulcânico (VAG), ocorrência também verificada no diagrama Rb vs. Ta+Yb (Figura 7.9c), assim como no de Ta vs. Yb (Figura 7.9d). No diagrama Nb vs. Y, com exceção da amostra LW-14-13, as rochas plotam no campo correspondente ao Granitos de Arco Vulcânico + Granitos sin-colisionais (VAG+syn-COLG) (Figura 7.9b). A amostra LW-14-12B, por sua vez, por apresentar teores de Nb e Y mais altos mostra sua ocorrência no campo dos Granitos Intra-Placa (WPG) (Figura 7.9a e b).

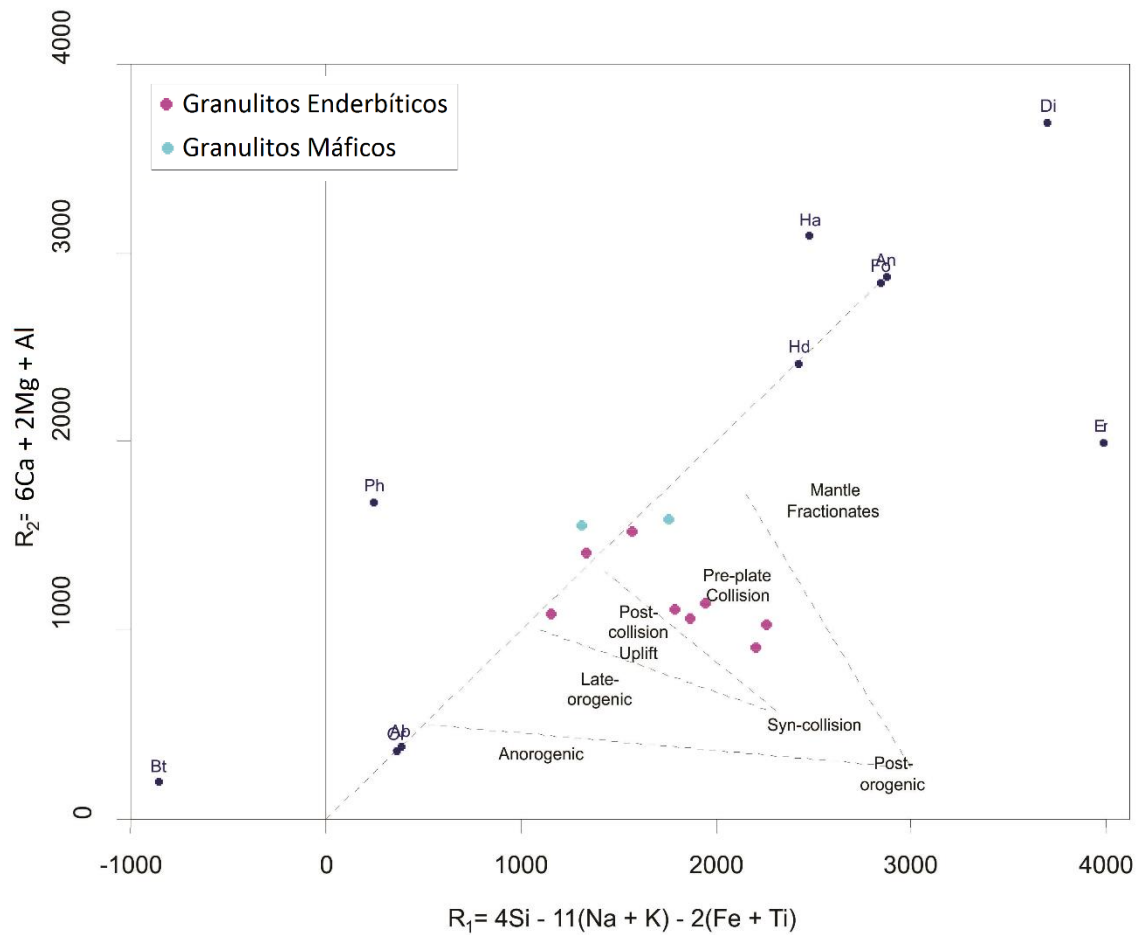


Figura 7.8 – Diagrama Multicatiônico R_1 - R_2 por Batchelor + Bowden (1985).

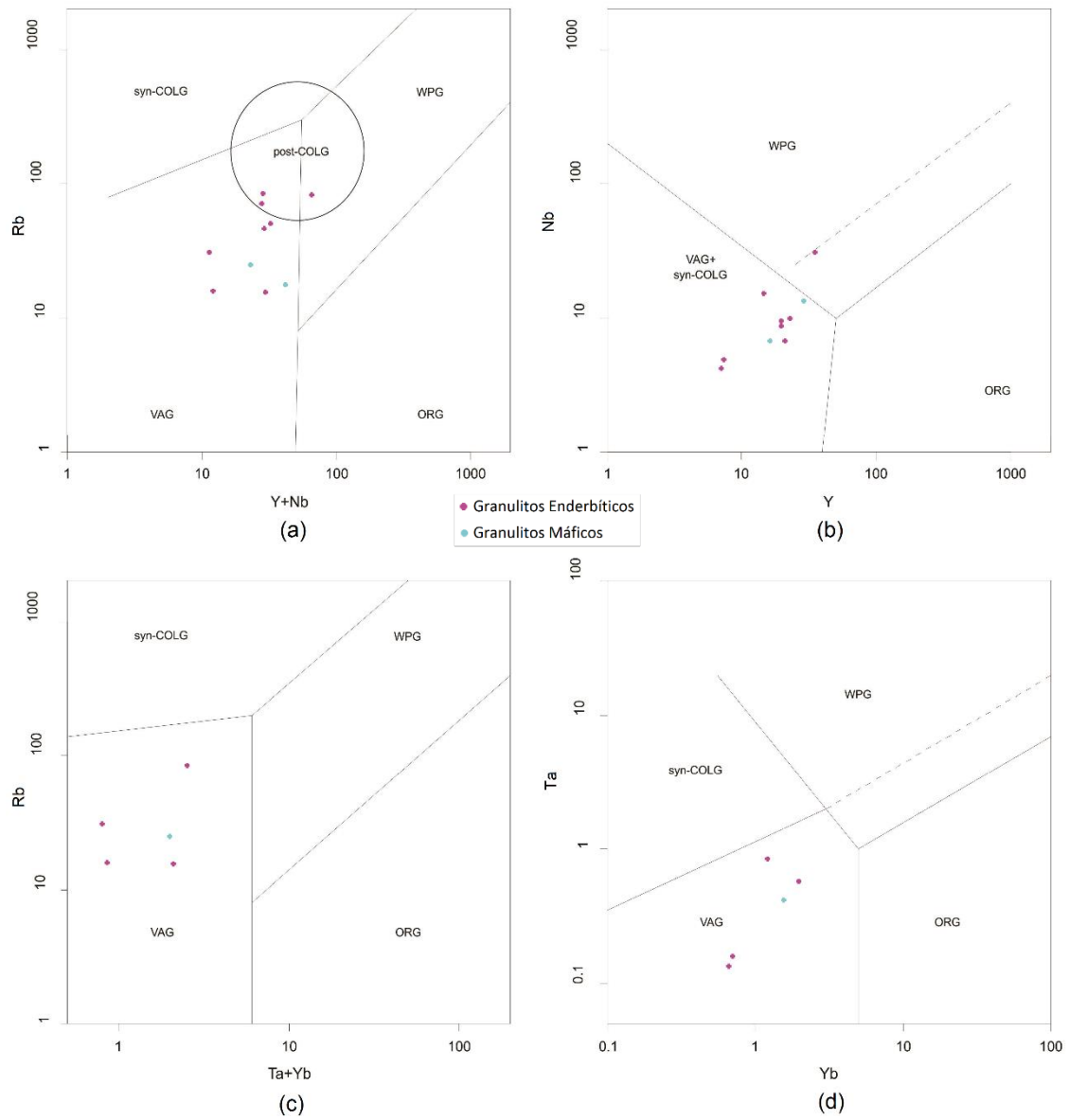


Figura 7.9 – Diagramas de Discriminação Tectônica dos Granitos por Pearce (1984). (a) Rb vs. Y+Nb; (b) Nb vs. Y; (c) Rb vs. Ta+Yb; (d) Ta vs. Yb.

8. DISCUSSÃO E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

Com base nas características geoquímicas apresentadas somados aos estudos petrográficos realizados na área de estudo, buscou-se compreender melhor a configuração tectônica da região, bem como os processos metamórficos envolvidos durante a formação dos granulitos estudados no presente trabalho. Desta forma, serão aqui sumarizados e discutidos os principais aspectos geoquímicos e isotópicos observados, além da relação verificada no mapa geológico elaborado, de modo a assimilar a relação da Região Granulítica de Cariré com a evolução geológica da região.

Os granulitos da Faixa Granulítica de Cariré (Amaral *et al.*, 2012), associadas a transcorrência do Lineamento Transbrasiliano, foram verificadas como corpos e lentes alongados no sentido NE-SW alocadas em meio a granodioritos, tonalitos e migmatitos intensamente cisalhados (vide Figura 5.2).

Essas rochas apresentam afinidade cálcio-alcálica de baixo potássio a tholeiíticas. A tendência cálcio-alcálica que caracteriza as rochas estudadas, bem como o caráter metaluminoso com fraca tendência peraluminosa, são reportados na literatura por Winter (2001) a ambientes de arco continental a transicional (sin-colisional) (vide Figura 7.9).

Outras características marcantes para os protólitos estudados são o enriquecimento em LREE, apresentado fracionamento entre estes elementos em relação aos HREE (vide Figura 7.6); enriquecimento em LILE, tais como Ba, Rb, Sr, K e P, bem como anomalias positivas observáveis em alguns HFSE, tais como Ti, Y, Th, U, Zr, e empobrecimento em outros, mostrando anomalias negativas de Nb, Ta, Zr e Hf (vide Figura 7.7)

As altas concentrações de LILE podem sugerir metassomatismo da cunha mantélica, previamente enriquecida por fluidos provindos da subducção. Como são elementos de extrema mobilidade, são facilmente extraídos do manto e migram para o local da gênese do magma cálcio-alcálico que podem eventualmente se concentrar na crosta continental, enriquecendo o protólito nesses elementos (Wernick, 2003). Ademais, as interações do magma proveniente do manto com a crosta continental, através de diversos processos, tais como contaminação, assimilação e fusão da crosta,

evidenciam também o enriquecimento em elementos incompatíveis conforme observado em algumas amostras (Winter, 2001).

As anomalias positivas dos HFSE referidos podem implicar ainda que nestes complexos granitoides cálcio-alcálinos devem ocorrer rochas cumuláticas enriquecidas em minerais compostos por estes elementos (Wernick, 2003). Elementos como Nb, Ta e Hf apresentam concentrações anormalmente baixas nos magmas associados a zona de subducção, sendo por isso uma característica associada a tal configuração tectônica. Este empobrecimento é em parte ocasionado à baixa solubilidade destes elementos, dificultando, conseqüentemente, o transporte deles até a zona de geração de magmas por fluidos aquosos originados da desidratação da crosta subductada (Winter, 2001).

Dessa forma, as análises elementares somado ao caráter metaluminoso das amostras sugerem que elas são quimicamente semelhantes aos granitoides de arco vulcânico (Winter, 2001), o que é corroborado nos diagramas de discriminação tectônica apresentados. Além disso, a composição química sugere ainda que estas rochas podem ser derivadas da fusão parcial de rochas infracrustais ou de zonas de subducção de ambiente pré-colisional (Winter, 2001), configuração tal também observada no diagrama de discriminação tectônica (vide Figura 7.8).

Trabalhos anteriores realizados por Fetter (1999), Castro (2004) e Arthaud (2007) na Província Borborema, propõem um estágio pré-colisional associado a um magmatismo juvenil ao redor de 800 Ma, registrados em zircão de ortognaisses metaluminosos de composição granodiorítica, podendo também representar o registro de um arco intra-oceânico (Fetter *et al.*, 2003).

Estudos geocronológicos feitos por Fetter *et al.* (2003), permitiram a caracterização de um ambiente tectônico compressivo, a partir de análises U-Pb em granitoides, definindo o intervalo entre 640 e 620 Ma como sendo o início do período da subducção com polaridade para SE. O início da fase de colisão continental entre os Domínios Médio Coreaú e o Ceará Central (com idades 2,3 e 2,1 Ga, respectivamente), registrado pelo metamorfismo de mais alta pressão (fácies eclogito), datam de 650 a 630 Ma, constituindo o registro mais antigo do metamorfismo no DCC, segundo Amaral (2010) e Santos *et al.* (2015).

Costa *et al.* (2010) propôs o modelo de *Slab Breakoff* de Davies & Blanckenburg (1995) de ruptura de parte da crosta oceânica como razão da ascensão da astenosfera.

Em consequência, houve atuação do metamorfismo de alta temperatura na fácies granulito, acompanhado da geração de migmatitos e diatexitos. Ainda, deu-se início a exumação rápida das rochas de alto grau metamórfico por falhamento reversos, causando as texturas de descompressão descritas petrograficamente nos granulitos máficos. Este estágio sin-colisional tardio datou de 620 a 580 Ma e está bem registrado nas rochas granulíticas de Cariré com aproximadamente 613 Ma (Amaral, 2010).

Por fim, entre 580 a 480 Ma, teve-se o período de instalação das principais zonas de cisalhamento transcorrentes (Monié *et al.* 1997; Fetter, 1999, Fetter *et al.*, 2003; Cunha, 2007) e a colocação da granitogênese pós-colisional (Plútons Meruoca e Mucambo) (Fetter, 1999; Castro, 2004; Teixeira, 2005).

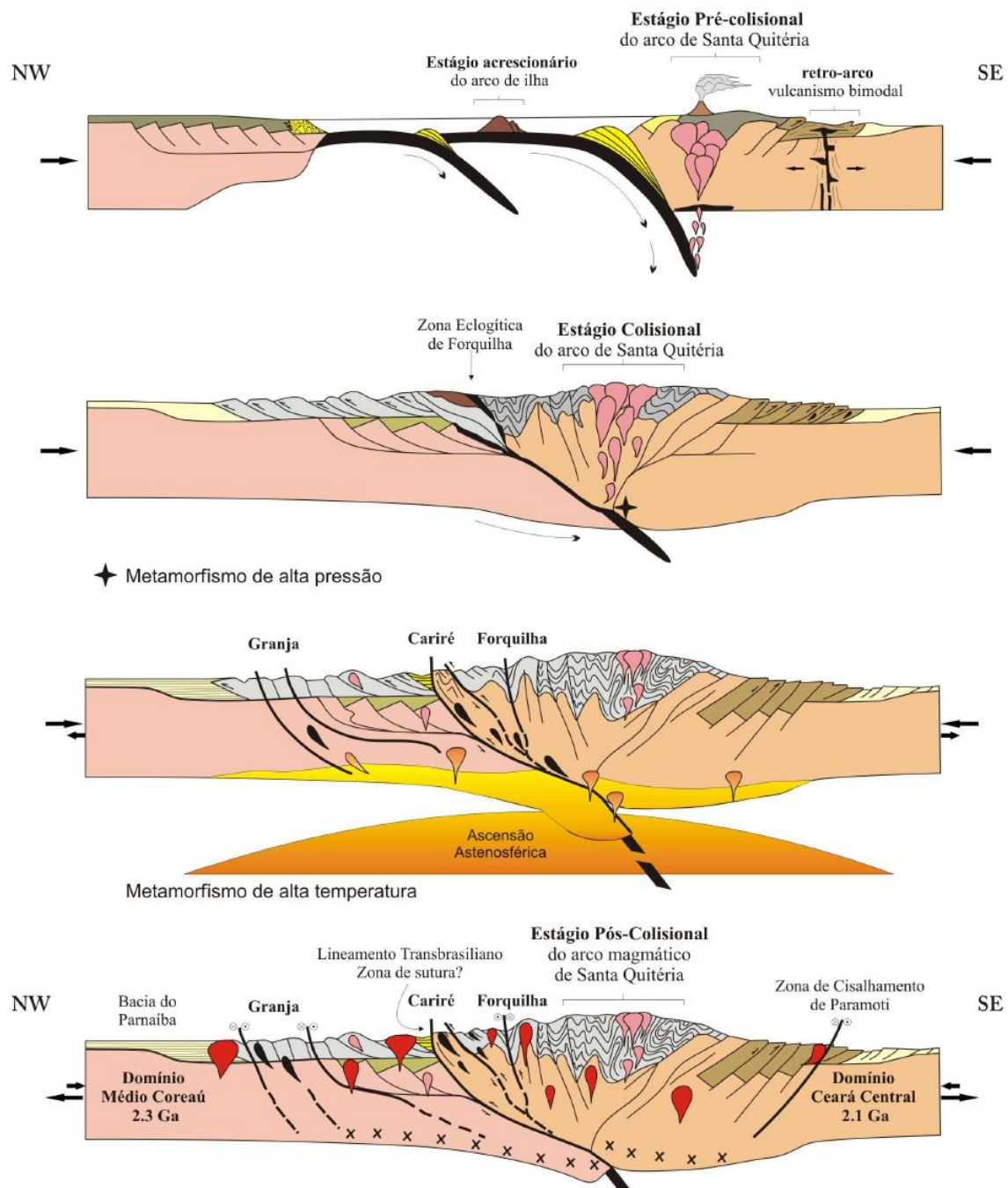


Figura 8.1 – Modelo tectônico da evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central (Fonte: Amaral, 2010).

Duas amostras do dique granítico do afloramento LW-14-14B foram analisadas, uma indeformada (Figura 8.2) e outra levemente deformada (Figura 8.3).

As populações de zircão de ambas as amostras são bastante semelhantes. Os grãos são predominantemente prismáticos, exibindo núcleos bem definidos e bordas espessas (Figura 8.2a). Grãos de zircão arredondados e ovais são frequentes e são interpretados como herdados.

As análises de núcleo de cristais de zircão realizadas na amostra menos deformada não definiram nenhuma idade, devido à grande quantidade de grãos de zircão herdados (característica comum em diques graníticos) (Figura 8.2a). Existem cristais com idades concordantes em torno de 650 Ma, 450 Ma e outros concordantes em torno de 315 Ma (Figura 8.2b). Cristais com idades mais jovens (ca. 300 Ma) forneceram idades discordantes e foram desconsiderados, pois não têm significado geológico para esta região.

Já as análises em cristais da amostra levemente deformada revelaram a presença de cristais jovens, populações herdadas do embasamento Paleoproterozoico (Figura 8.3a). Foram excluídos cristais discordantes do diagrama e assim pode-se observar pelo menos quatro grupos de idades concordantes bem definidas (Figura 8.3b). As idades concordantes mais antigas obtidas em cristais arredondados com zoneamento interno se encaixam em torno de 682 ± 14 Ma e outro grupo apresenta idades concordantes de 629 ± 6 Ma. Um terceiro grupo de 583 ± 13 Ma, composto por cristais ligeiramente menores, são consistentes com a idade metamórfica obtida pela amostra menos deformada. A última faixa etária concordante é de 446 ± 7 Ma correlacionando-se com o evento magmático pós-colisional tardio registrado no Domínio Ceará Central em aproximadamente 470-460 Ma.

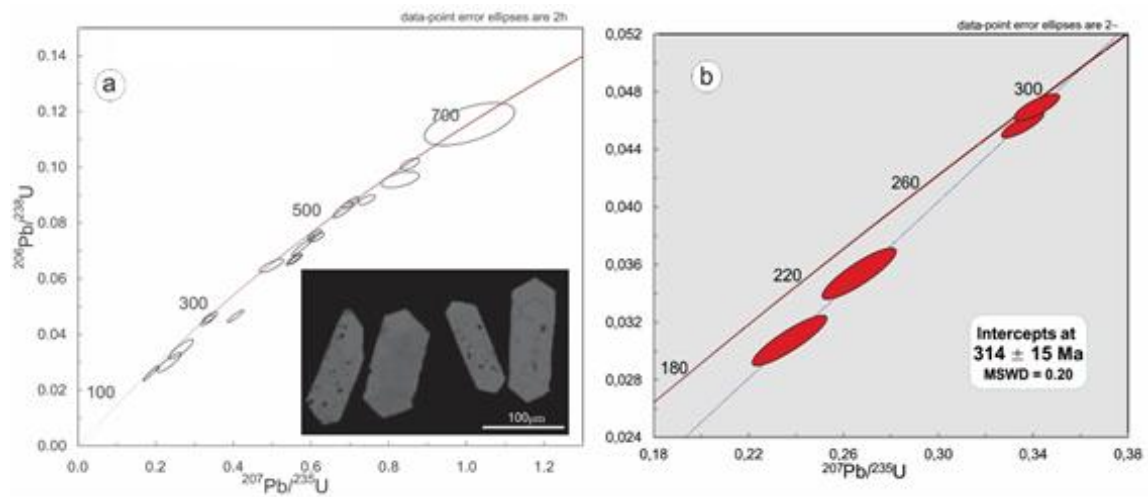


Figura 8.2 – (a) Diagrama $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ na linha da concórdia para a amostra não deformada. (b) Detalhe para dois grãos de zircão concordantes em torno de 315 Ma.

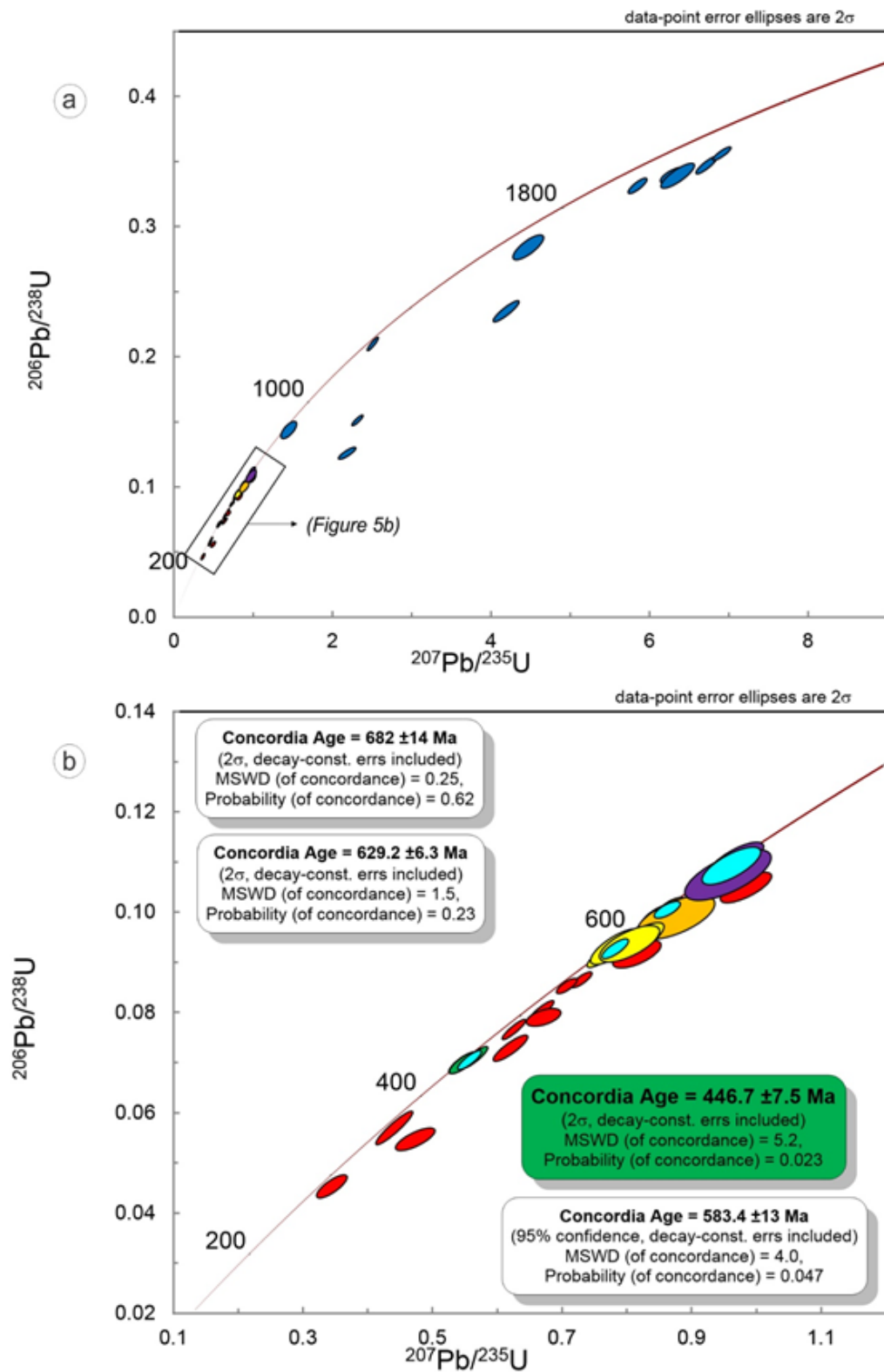


Figura 8.3 – (a) e (b) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ na linha da concórdia para a amostra levemente deformada.

9. CONCLUSÕES

Considerando os dados de campo e petrográficos obtidos para as rochas da Faixa Granulítica de Cariré, foi possível verificar as principais assembleias e algumas paragêneses que constituem os granulitos. Os granulitos félsicos e máficos são constituídos, respectivamente, por ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio + quartzo $\pm$ hornblenda $\pm$ granada $\pm$ biotita e clinopiroxênio + plagioclásio + granada + hornblenda $\pm$ quartzo $\pm$ rutilo.

Dados geoquímicos de rocha total apresentaram para as amostras uma afinidade cálcio-alcálica de baixo potássio a tholeiítica, caráter magnésiano e metaluminoso com fraca tendência peraluminosa. Enriquecimento em LREE, nos LILE, Ba, Rb, Sr, K e P, e nos HFSE Ti, Y, Th, U e Zr bem como anomalias negativas de Nb, Ta, e Hf, caracterizaram os protólitos que originaram os granulitos da região de Cariré como sendo gabros a monzogabros, para os granulitos máficos, e tonalitos, granodioritos a monzodioritos, para os granulitos félsicos.

Somados as análises geoquímicas, os diagramas de discriminação tectônica sugerem um ambiente de formação pré-colisional, com assinatura geoquímica de arco vulcânico e provável contribuição de fluidos advindos de zonas infracrustais e/ou de subducção. O metassomatismo de fontes mantélicas juntamente a processos de interação crustal, são propostos aqui como possíveis processos relacionados à formação dos protólitos.

Estudos anteriores realizados na região mostram que a trama estrutural da área inclui uma fase inicial de compressão e deformação contracional com vergência para NW, responsável pela exumação dos granulitos da infraestrutura. Seguiu-se uma fase de transcorrências NE-SW em regime dúctil, prosseguindo em alguns casos em transtação e a subsequente colocação de granitos. As falhas de empurrão de idade brasileira causaram a colocação dos granulitos nos granodioritos cisalhados, configurando discordância local em termos de pressão e temperatura (Amaral *et al.*, 2012).

A associação das informações de configuração geológica, assembleia mineral, termobarometria, composição química e geoquímica isotópica das rochas de alto grau dos Domínios Noroeste da Província Borborema convergem com os estudos previamente publicados sobre os granulitos, eclogitos e ortognaisses da região africana

afetada pelo evento Transbrasiliano. A similaridade entre tais rochas verificadas no Brasil e no oeste africano reforçam a correlação geológica entre as áreas de orogenia Brasiliana/Pan-Africana uma vez que pertenceram a Gondwana Ocidental.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. A. M.; GAMA Jr., T.; GORAYEB, P. S. S.; HASUI, Y. **O cinturão de cisalhamento Noroeste do Ceará.** In: VII CONG. LATINO-AMER. GEOL., 1994, Belém, Pará, Anais, 1, 1994, p. 20-34.

ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. **Províncias estruturais brasileiras.** In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. Atas... Campina Grande, SBG/NE. Bol. 6, p. 363-391. 1977.

ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. DE; FUCK, R. A. **Brazilian Structural Provinces: An Introduction.** Earth-Science Reviews, n. 17, p. 1-29, 1981.

AMARAL, W. S. **Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao arco magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema.** Tese de Doutorado, Universidade de Campinas – UNICAMP. 248 p. 2010.

AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S.; WERNICK, E.; NOGUEIRA NETO, J. A.; DANTAS, E. L.; MATTEINI, M. **Highpressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: Tectonic setting, metamorphic conditions and U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd geochronology.** Gondwana Research, n. 22, p. 892–909, 2012.

ANCELMI, M. F.; SANTOS, T. J. S.; REGINATO, R. A.; AMARAL, W. S.; MONTEIRO, L. V. S.; **Geologia da Faixa Eclogítica de Forquilha, Domínio Ceará Central, noroeste da Província Borborema.** Brazilian Journal of Geology, 43(2): 235-252. 2013.

ARBEX Jr, J. & OLIC, N. B. **O Brasil em Regiões – Nordeste.** Editora Moderna, São Paulo. 1999.

ARTHAUD, M. H. **Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 132 p. 2007.

ARTHAUD, M. H.; CABY, R.; FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PARENTE, C. V. **Geology of the Northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa.** In: PANKHURST, R. J., TROUW, R. A. J.; BRITO NEVES, B. B.; DE WIT, M. J. (Orgs.), West Gondwana: Pre-Cenozoic

Correlations Across the South Atlantic Region. Londres: Geological Society of London, 1ª ed., v. 294, p. 49-67. 2008.

ATTOH, K. & BROWN, L. D. **The neoproterozoic Trans-Saharan/Trans-Brasiliano shear zones: suggested tibetan analogs.** Eos Transactions AGU, 89(23) (Joint Assembly Supplement) abstract S51A-04. 2008.

BATCHELOR, R. A. & BOWDEN, P. **Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters.** Chemical Geology 48:43–55. 1985.

BASILE, C.; MASCLE, J.; GUIRAUD, R. **Phanerozoic geological evolution of the Equatorial Atlantic domain.** Journal of African Earth Sciences, 43: 275–282 doi: 10.1016/j.jafrearsci.2005.07.011. 2005.

BOHER, M.; ABOUCHAMI, W.; MICHARD, A.; ALBAREDE, F.; ARNDT, N. Y. Crustal growth in West Africa at 2.1Ga. Journal of Geophysical Research, n. 97, p. 345-369, 1992.

BOYNTON, W.V. **Cosmochemistry of the rare earth elements; meteorite studies.** In: Rare earth element geochemistry. Henderson, P. (Editors), Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 63-114. 1984.

BRITO NEVES, B.B. **Regionalização Geotectônica do Precambriano Nordeste.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP. 198 p. 1975.

BRITO NEVES, B. B.; SCHMUS, W. R. V.; SANTOS, E. J.; CAMPOS NETO, M. C.; KOZUCH, M. **O Evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas.** Revista Brasileira de Geociências, n. 25, p. 279-296, 1995.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. **Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil.** Tectonic Evolution of South America, Rio de Janeiro, p. 151-182, 2000.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C. **Ciclo Brasileiro: discussão prefacial.** In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa, Anais, vol. 41, p. 295, 2002.

CABY, R.; ARTHAUD, M.H. **Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt, Northeast Brazil.** *Geology*, 14: 871-874. 1986.

CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS, M. F.; PAIVA, I. P.; GOMES, F. E. M.; CAVALCANTE, 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, CPRM, 2003.

CASTRO, N. A., BASEI, M.A.S., CAMPOS NETO, M.C. **Geocronologia e evolução tectônica Proterozóica do Domínio Ceará Central (Região entre Madalena e Taparuaba, Província Borborema, NE do Brasil).** *Simpósio de 40 Anos de Geocronologia no Brasil*, USP-São Paulo, 74. 2004.

CHAMANI, M. A. C. **Tectônica Intraplaca e Deformação Sinsedimentar Induzida por Abalos Sísmicos: o Lineamento Transbrasiliiano e Estruturas Relacionadas na Província Parnaíba, Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – USP. 206 p. 2011.

CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; D'AGRELLA FILHO, M. S. **From Rodinia to Gondwana: a review of the available evidence from South America.** *Gondwana Research*, 6(2): 275-283 doi: 10.1016/S1342-937X(05)70976-X. 2003.

COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B.; LINS, C.A.C.; BACCHIEGGA, I.F.; HABEKOST, C.R.; CRUZ, W.B. **Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí, Maranhão.** Brasília, MME/DNPM. Bol. 11. 140p. (Série Geológica Básica). 1973.

COSTA, F.G.; de ARAÚJO, C.E.G; VASCONCELOS A.M.; PALHETA, E.S.M; JUSTO, A.P. **O Complexo Tamboril-Santa Quitéria: evidências de slab breakoff durante colisão continental neoproterozóica, norte da Província Borborema.** 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém-PA. 2010.

CUNHA, F.S.S. **Condicionamento Estrutural das zonas de cisalhamento da região de Forquilha, Domínio Ceará Central: uma abordagem integrada de sensoriamento remoto e geologia estrutural.** Tese de Doutorado, Centro de Ciências exatas e da Terra, UFRN. 2007.

DAVIES, J.H. & Von BLANCKENBURG, F. **Slab breakoff: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens.** Earth Planetary Science Letters, 129: 85-102. 1995.

de ARAÚJO, C.E.G.; PLÍNIO, T.R.G.; COSTA, F.G., PALHETA, E.S.M.; CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; MOURA, C.A.V.; **²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb Zircon ages of pre- and syncollisional granitoids from the Tamboril-Santa Quitéria granitic-migmatitic complex, Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): geodynamic implications.** VII-SSAGI South American Symposium on Isotope Geology, Brasília-DF. 2010.

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.; PERROTA, M. M.; HEINECK, C. A. **Geotectônica do Escudo Atlântico.** In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília: CPRM/SGB, Brasília: p. 227-334. 2003.

FERRÉ, E.; GLEIZES, G.; CABY, R. **Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: a synthesis.** Precambrian Research 114: 199-219 doi: 10.1016/S0301-9268(01)00226-1. 2002.

Ferreira, V. P.; SIAL, A. N.; JARDIM DE SÁ, E. F. **Geochemical and isotopic signatures of the Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema Province, northeastern Brazil.** J. South A. Earth Sci., n. 11(5), p. 439-455, 1998.

FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. **Geologic history and framework of Ceará State: Northwest Borborema Province, NE Brazil.** South American Symposium on Isotope Geology. Brazil, Extended Abstracts, p. 112-114, 1997.

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.** University of Kansas. PhD Thesis, 145 p. 1999.

FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A. U–**Pb and Sm–Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”**. Revista Brasileira de Geociências, 30, p. 102-106, 2000.

FETTER A.H.; SANTOS, T.J.S.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.; WERNICK, E.; **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana**. Gondwana Research, 6(2):265-273. 2003.

FROST, B. R.; BARNES C. G.; COLLINS, W. J.; ARCULUS, R. J.; ELLIS, D. J. & Frost, C. D. **A geochemical classification for granitic rocks**. Journal of Petrology 42: 2033–2048. 2001.

FROST, B. R. & FROST, C. D. **Essentials of igneous and metamorphic petrology**. Cambridge University Press, 303 p. 2014.

GÓES, A.M.O.; TRAVASSOS, W.A.S.; NUNES, K.C. **Projeto Parnaíba-Reavaliação da Bacia**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém, 1994. Bol. Res. Expand. Belém, SBG. p.11-14. 1994.

GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M. de; CORREA, J.A.M.; MOURA, C.A.V. **Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Sequência Ubajara-Jaibaras**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. Anais. Belém, SBG. v.6, p.2678- 2688. 1988.

KRETZ, R. **Symbols of rock-forming minerals**. American mineralogist, 68:77-279. 1983.

MIDDLEMOST, E. A. K. **Magma and Magmatic Rocks. An Introduction to Igneous Petrology**. London, New York: Longman, 266 p. 1985.

MIYASHIRO, A. **Volcanic rock series in island arcs and active continental margins**. Am. J. Sci., 274, 321-355. 1974.

MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M. H. **The Neoproterozoic Brasileiro Orogeny in Northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Ceará**, Precambrian Research, n. 81, p. 241-264, 1997.

MORO, M. F; MACEDO, M. B; MOURA-FÉ, M. M de; CASTRO, A. S. F; COSTA, R. C. **Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística de estado do Ceará**. In: Rodriguésia, n° 3, vol 66. Rio de Janeiro. 2015.

NASCIMENTO, D.A. & GAVA, A. **Novas Considerações sobre a Estratigrafia da Bacia Jaibaras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9., Natal, 1979. Atas. Natal, SBG. p.9-29. 1979.

NEVES, B.B.B. **Elementos da geologia pré-cambriana do Nordeste Oriental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracajú, 1973. Anais. Aracajú, SBG. v.2, p.105-128. 1973.

NOGUEIRA NETO, J. A. **Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de granja e cariré, extremo noroeste da Província Borborema**. Tese de Doutorado, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 171 p. 2000.

O'CONNOR, J. T., **A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios**. U.S. Geological Survey Professional Paper. P 0525-B, p. B79-B84.

OLIVEIRA, D. C.; MOHRIAK, W. U. **Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil**. Mar. Petrol. Geol., n. 20, p. 351-383, 2003.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Análise Geoambiental do Estuário do Rio Jaguaribe-CE: Tensores Naturais e Antrópicos**. UECE, 2006.

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. W. & TINDLE, A. G. **Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks**. Journal of Petrology 25:956–983. 1984.

PEDROSA Jr., N. C.; VIDOTTI, R. M.; FUCK, R. A.; LEOPOLDINO OLIVEIRA, K. M.; CASTELO BRANCO, R. M. G. **Structural framework of the Jaibaras Rift, Brazil, based on geophysical data**. Journal of South American Earth Sciences, n. 15, p. 318-334. 2015.

PRAXEDES, I. F.; SILVA, A. J. F.; SOARES, W. C.; MAGINI, C.; AZEVEDO, M. R.; NOGUEIRA NETO, J. A.; FUCK, R. A. **Idade de Anatexia do Complexo Granja, Domínio Médio Coreaú (DMC), Província Borborema (PB) - Dados Iniciais.** 46º Congresso Brasileiro de Geologia e 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Santos, Brasil, Anais, 2012.

RAMOS, V. A.; VUJOVICH, G.; MARTINO, R.; OTAMENDI, J. **Pampia: A large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent.** Journal of Geodynamics, 50(3-4): 243-255 doi: 10.1016/j.jog.2010.01.019. 2010.

RAPELA, C. W.; PANKHURST, R. J.; CASQUET, C.; FANNING, C. M.; BALDO, E. G.; GONZÁLEZ-CASADO, J. M.; GALINDO, C.; DALQUIST, J. **The Río de La Plata craton and the assembly of SW Gondwana.** Earth-Science Reviews, 83: 49-82 doi: 10.1016/j.earscirev.2007.03.004. 2007.

QUADROS, M. L. E. S. **Estudo Tectono-Sedimentar da Bacia de Jaibaras, na Região entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, Noroeste do Estado do Ceará.** Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará – UFPA, 133 p. 1996.

SÁ, E.F.J. de; HACKSPACHER, P.C.; NOGUEIRA, A.M.M.; MGREATH, I.; LINS, F.A.; SRIVASTAVA, N.K.I. 1979. **Observações sobre a estratigrafia e sequências ígneas da Bacia de Jaibaras, Nordeste do Ceará.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NORDESTE, 9., Natal. Atas. Natal, SBG. p.30-38. 1979.

SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A.; FETTER, A.H.; HACKSPACHER, P.C.; **Petrografia e litogeoquímica das rochas do embasamento cristalino da região de Granja-CE.** Revista de Geologia - UFC, 14(1):33-48. 2001.

SANTOS, T. J. S.; FETTER, A. H.; HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHMUS, W. R.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW segment of the Borborema Province, NE Brazil, during the assembly of the western Gondwana.** Journal of South American Earth Sciences, n. 25, p. 271–284, 2008.

SANTOS, P. C.; MADEIRA, S. H.; LOBO, S. **Geografia do Brasil: aspectos físicos, econômicos e sociais.** Enciclopédia do Estudante. Editora Moderna, São Paulo. 2008.

SANTOS, T. J. S.; GARCIA, M. G. M.; AMARAL, W. S.; CABY, R.; WERNICK, E.; ARTHAUD, M. H.; DANTAS, E. L.; SANTOS, H. M. **Relics of eclogite facies assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana.** Gondwana Research, n. 15, p. 454-470, 2009.

SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M.; BRITO NEVES, B. B. **The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil.** J. South Am. Earth Sci., n. 29, 61-76, 2010.

SANTOS, T.J.S.; AMARAL, W.S.; ANCELM, M.F.; PITARELLO, M.Z.; FUCK, R.A.; DANTAS, E.L. **U-Pb age of the coesite-bearing eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: implications for western Gondwana assembly.** Gondwana Res. 28, 1183e1196. 2015.

SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. E. **Rare-Earth Element Geochemistry of The Meruoca and Mucambo Plutons, Ceara, Northeast Brazil.** Chemical Geology, Amsterdam, n. 31, p. 271-283, 1981.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L.; RABELO, L. **The Pantanal basin: recent tectonics, relationships to Transbrasiliano lineament.** In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. INPE, 1998, p. 459-469.

SOUSA, M.A. & OLIVEIRA, M.F.B. **Geophysical evidences of the Transbrasiliano Lineament in Parnaíba Basin.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado. Bol. Res. Expand. Gramado, SBG. p.260-261. 1995.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. **Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará.** Revista de Ciências Agrônomas, pp. 77-86. Fortaleza, 1979.

TEIXEIRA, M. A. L.; GAUCHER, C.; PAIM, P. S. G.; FONSECA, M. M.; PARENTE, C. V. P.; SILVA FILHO, W. F.; ALMEIDA, A. R. **Bacias do Estágio de Transição da Plataforma Sul-Americana.** In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Orgs.), Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo: 487-536, 2004.

TEIXEIRA, M.L.A. **Integração de Dados Aerogeofísicos, Geológicos e Isotópicos do Limite Norte do Complexo Tamboril-Santa Quitéria-CE, Província Borborema.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2005.

TORQUATO, J.R. & NOGUEIRA NETO, J.A. **Histograma da região de dobramentos do Médio Coreau.** Revista Brasileira de Geociências, 26, p. 303-314. 1996.

TROMPETTE, R. **Geology of Western Gondwana (2000 – 500 Ma). Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa.** Balkema, Rotterdam, 350p. 1994.

VAN SCHMUS, W. R.; OLIVEIRA, E. P.; SILVA FILHO, A. F.; TOTEU, F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I. P. **Proterozoic Links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt.** Geological Society of London, p. 69-99. Special Publication, 294. 2008.

VASCONCELOS, Antônio Maurílio; GOMES, Francisco Edson Mendonça (Orgs.). **Iguatu, folha SB.24-Y-B:** estado do Ceará. 1 CD Rom. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil -PLGB. Brasília: CPRM, 1998.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M. H.; AMARO, V. **The Borborema shear zone system, NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, n. 8, p. 247-266, 1995.

WEAVER, B.L. & TARNEY, J. **Major and trace element composition of the continental lithosphere.** Physics and Chemistry of the Earth. 15: 39-68. 1984.

WERNICK, E. **Rochas Magmáticas: Conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** São Paulo: Editora Unesp, 2004.

WINTER, J. D. **An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology.** Prentice Hall, New Jersey, 697 p. 2001.

ZANELLA, M.E. **As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. Ceará: um novo olhar geográfico.** Edições Demócrito Rocha, Fortaleza. 480p. 2005.

11.ANEXOS

11.1 Fluorescência de Raio-X

Serviço executado: Trituração e moagem da amostra, determinação da perda ao fogo à 1000°C (%PF), preparação de discos de vidro, pastilhas prensadas e análise química por espectrometria de fluorescência de raios X (Philips, PW 2404, Holanda).

Os elementos traços foram determinados em pastilhas prensadas e os elementos maiores e menores em discos de vidro.

Controle de qualidade: Para o controle de qualidade dos resultados, a amostra “LW-14-12A” foi duplicada na preparação da amostra, durante a etapa de moagem e três amostras de materiais de referência internacionais (GS-N, DR-N, BRP-1) foram analisadas em paralelo. Os valores obtidos e os recomendados são reportados nas tabelas a seguir.

Nas determinações dos elementos: Ce, La, Nd e Sc, os valores obtidos são considerados indicativos.

Tabela 1 – Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geoquímica - Instituto de Geociências - Unicamp

Amostra Nº Lab.	LW-14- 01A L-699	LW-14- 01B L-700	LW-14- 01C L-701	LW-14- 02A L-702	LW-14- 02B L-703	LW-14- 03 L-704	LW-14- 04 L-705
(%)							
SiO ₂	52,88	62,59	46,70	72,77	52,30	52,57	69,09
TiO ₂	0,901	0,707	1,465	0,244	1,046	1,058	0,372
Al ₂ O ₃	16,14	16,99	17,10	13,81	17,92	18,20	15,92
Fe ₂ O ₃	9,06	6,05	11,26	2,23	8,51	8,67	2,56
MnO	0,128	0,085	0,171	0,028	0,152	0,152	0,040
MgO	7,01	3,13	9,24	0,27	5,18	5,29	1,23
CaO	8,07	5,08	10,49	1,15	7,42	7,55	2,65
Na ₂ O	3,59	4,17	2,75	3,10	4,18	4,25	4,76
K ₂ O	1,85	1,14	0,37	5,75	1,56	1,59	2,69
P ₂ O ₅	0,230	0,234	0,222	0,079	0,404	0,406	0,162
P.F.(1000°C)	0,32	0,08	0,53	0,54	0,89	0,42	0,48
Soma	100,2	100,2	100,3	100,0	99,6	100,2	99,9
(µg g ⁻¹)							
Ba	923	747	354	1209	1494	1152	1298
Ce	61	21	23	180	62	65	40
Cr	316	154	168	9,8	210	54	54
Cu	31	15,7	99	2,1	41	1,7	2,0
Ga	18,5	22,0	18,1	20,4	20,8	20,0	22,1
La	13	<13	<13	71	23	45	26
Nb	6,7	4,9	4,9	23,8	7,4	5,6	4,8
Nd	34	<11	19	71	26	47	27
Ni	88	25,4	168	2,4	43	11,6	8,3
Pb	4,6	6,7	6,0	21,3	21,5	31	25,8
Rb	72	16,0	5,9	167	37	75	57
Sc	20	13	37	4	19	4	5
Sr	565	571	352	146	976	858	924
Th	<2	<2	2,0	14,6	1,8	2,4	2,0
V	143	70	226	9,2	166	37	27,3
Y	21,0	7,3	24,3	24,5	16,2	5,8	3,7
Zn	108	84	86	55	137	59	60
Zr	140	140	113	247	203	158	135

Tabela 1 (cont.) – Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geoquímica - Instituto de Geociências - Unicamp

Amostra	LW-14-07A	LW-14-07B	LW-14-07C	LW-14-08	LW-14-09	LW-14-11	LW-14-12A
Nº Lab.	L-706	L-707	L-708	L-709	L-710	L-711	L-712-A
(%)							
SiO ₂	48,60	63,85	59,69	65,37	58,05	59,95	52,30
TiO ₂	1,815	0,539	1,059	0,402	0,812	0,899	1,826
Al ₂ O ₃	16,98	16,26	17,96	15,25	17,16	16,90	19,74
Fe ₂ O ₃	11,37	5,15	6,48	5,44	6,98	6,70	7,29
MnO	0,169	0,069	0,111	0,099	0,104	0,090	0,100
MgO	6,28	2,61	3,06	2,19	3,06	2,97	3,92
CaO	8,53	4,29	5,63	5,04	5,86	5,51	7,74
Na ₂ O	3,76	4,22	4,54	3,65	4,17	4,02	4,75
K ₂ O	1,12	1,75	0,91	1,85	1,72	2,18	1,04
P ₂ O ₅	0,499	0,195	0,284	0,151	0,288	0,244	0,595
P.F.(1000°C)	1,00	1,13	0,61	0,68	0,86	0,57	0,50
Soma	100,1	100,1	100,3	100,1	99,1	100,0	99,8
(µg g ⁻¹)							
Ba	952	729	308	595	706	898	938
Ce	60	27	21	37	49	48	53
Cr	79	74	136	29,1	68	36	107
Cu	26,9	11,5	18,2	6,4	10,8	35	21,8
Ga	18,3	19,5	23,2	15,4	22,6	20,4	24,3
La	15	15	14	14	23	16	31
Nb	13,3	4,2	6,7	7,0	9,5	9,9	15,5
Nd	44	<11	13	<11	29	35	34
Ni	32	21,4	27,3	12,2	19,0	22,3	30
Pb	5,7	11,2	11,2	8,5	6,6	9,6	16,8
Rb	17,7	31	8,3	52	46	51	16,1
Sc	28	10	18	11	13	18	15
Sr	707	513	675	379	695	620	1197
Th	4,2	<2	<2	2,3	2,7	<2	<2
V	152	73	73	92	115	123	135
Y	28,8	7,1	8,7	17,2	19,8	22,8	14,5
Zn	107	76	110	66	66	80	98
Zr	184	99	79	121	171	259	122

Tabela 1 (cont.) – Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geoquímica - Instituto de Geociências - Unicamp

Amostra	LW-14-12A	LW-14-12A	LW-14-12B	LW-14-13	LW-14-14A	LW-14-14B	LW-14-16
Nº Lab.	L-712-B	L-712	L-713	L-714	L-715	L-716	L-717
(%)	média						
SiO ₂	52,53	52,41	53,33	59,76	51,55	76,07	47,94
TiO ₂	1,791	1,808	2,268	0,742	1,009	0,094	1,741
Al ₂ O ₃	19,83	19,79	15,37	16,19	16,32	13,50	13,75
Fe ₂ O ₃	7,25	7,27	11,11	7,23	9,41	1,07	13,64
MnO	0,098	0,099	0,133	0,110	0,157	0,013	0,213
MgO	3,88	3,90	3,53	4,00	6,48	0,22	7,49
CaO	7,76	7,75	5,75	5,92	8,86	2,49	9,69
Na ₂ O	4,78	4,76	3,88	3,50	3,31	4,48	2,90
K ₂ O	1,05	1,05	2,94	2,55	1,04	1,36	1,32
P ₂ O ₅	0,592	0,594	0,984	0,215	0,373	0,035	0,560
P.F.(1000°C)	0,63	0,57	0,64	0,14	1,33	0,52	0,94
Soma	100,2	100,0	99,9	100,3	99,8	99,9	100,2
(µg g ⁻¹)							
Ba	899	919	1623	712	544	733	269
Ce	48	51	118	56	56	<13	62
Cr	106	106	34	110	216	10,2	250
Cu	22,6	22,2	30	15,6	71	12,1	68
Ga	24,6	24,5	19,8	17,8	20,4	19,1	14,1
La	38	34	57	21	17	<13	21
Nb	15,2	15,4	31	8,8	6,7	3,8	10,1
Nd	43	39	62	33	38	<11	41
Ni	30	30	24,1	43	49	2,2	115
Pb	16,7	16,8	11,1	12,4	12,8	12,9	7,6
Rb	15,5	15,8	82	84	25	27,1	45
Sc	16	16	15	12	29	<3	43
Sr	1203	1200	746	413	923	638	222
Th	<2	<2	5,8	7,3	2,3	<2	<2
V	135	135	110	144	215	10,6	249
Y	14,7	14,6	35	19,8	16,2	1,2	40
Zn	96	97	115	74	93	26,5	121
Zr	119	121	408	190	67	94	310

Tabela 1 (cont.) – Dados geoquímicos obtidos por FRX para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geoquímica - Instituto de Geociências - Unicamp

		GS-N ⁽¹⁾		DR-N		BRP-1	
		(valor obtido)	(valor cert. ± 1sd)	(valor obtido)	(valor cert. ± 1sd)	(valor obtido)	(valor cert. ± 1sd)
(%)							
SiO ₂		65,97	65,80±0,73	52,91	52,85±0,73	50,07	50,39±0,27
TiO ₂		0,654	0,68±0,1	1,051	1,09±0,08	3,819	3,81±0,06
Al ₂ O ₃		14,70	14,67±0,33	17,59	17,52±0,55	12,23	12,40±0,14
Fe ₂ O ₃		3,74	3,75±0,14	9,69	9,70±0,29	15,59	15,59±0,16
MnO		0,052	0,056±0,013	0,220	0,22±0,02	0,215	0,216±0,006
MgO		2,33	2,30±0,2	4,32	4,40±0,27	3,93	3,94±0,05
CaO		2,47	2,50±0,19	7,04	7,05±0,24	7,83	7,95±0,11
Na ₂ O		3,82	3,77±0,17	2,96	2,99±0,19	2,74	2,71±0,04
K ₂ O		4,68	4,63±0,22	1,70	1,70±0,1	1,52	1,52±0,02
P ₂ O ₅		0,282	0,28±0,058	0,230	0,25±0,05	0,622	0,63±0,02
(µg g ⁻¹)	LD						
Ba	7,0	1343	1400±124	386	385±12	547	555±14,6
Ce	13,0	125	135±45,12	51	46±6	85	93,3±2,3
Cr	2,5	58	55±10,49	35	40±10,3	11,2	11,8±1,2
Cu	1,0	21,9	20±1,79	48	50±7,2	167	160±4,8
Ga	2,0	22,3	22±6,55	20,0	22±4,5	20,8	24,8±1,0
La	13,0	77	75±7,34	17,1	21,5±3,9	18	42,6±1,1
Nb	0,5	22,6	21±4,54	7,0	7±3,1	28,9	29,5±2,0
Nd	11,0	51	49±3,54	39	23,5±2	63	51,9±1,3
Ni	2,0	36	34±11,08	18,1	15±11,1	24,6	23,4±1,8
Pb	2,5	53	53±9,22	59	55±11,4	3,2	5,5±0,4
Rb	1,0	183	185±14,39	71	73±7,6	36	35,4±1,2
Sc	3,0	5	7,3±0,68	26,5	28±3	26	28,5±1,2
Sr	1,0	570	570±51,63	374	400±49,6	497	492±11,8
Th	2,0	43	41±6,94	2,8	5±4,6	2,8	3,97±0,17
V	5,0	65	65±16,58	211	220±34,4	375	391±10
Y	1,0	17,2	16±12,15	26	26±6,9	43	42±2,2
Zn	2,0	46	48±9,05	145	145±16,4	142	142±3
Zr	2,0	232	235±33,47	129	125±24,8	315	311±10

LD = Limite de detecção

sd = desvio padrão

valor cert. = valor do certificado

⁽¹⁾ = Govindaraju 1995

11.2 Espectrometria de Massas (ICP-MS)

Serviço executado: Quantificação de elementos traço em amostras de rochas por ICP-MS

Metodologia: As amostras foram dissolvidas utilizando uma mistura de ácidos nítrico e fluorídrico em bombas tipo Parr. Todas soluções foram preparadas com água ultra-pura (18,2 M Ω .cm), obtida por sistema Milli-Q. O ácido nítrico (HNO₃) foi purificado por sub-bulição. Os frascos utilizados para as diluições foram previamente limpos com HNO₃ 5% e enxaguados com água ultra-pura.

O limite de detecção (LD) foi determinado como sendo a média ($\bar{x}$) mais 3 desvios-padrão (s) de dez medidas do branco ($LD = \bar{x} + 3s$).

As medições foram realizadas em ICP-MS XseriesII (Thermo) equipado com CCT (Collision Cell Technology).

Otimização do instrumento, isótopos medidos e condições: Antes das medidas o instrumento foi ajustado, conforme recomendado pelo fabricante. Os isótopos (⁷Li, ⁹Be, ⁴⁵Sc, ⁷¹Ga, ⁸⁹Y, ⁹¹Zr, ⁹³Nb, ⁹⁵Mo, ¹³³Cs, ¹³⁷Ba, ¹³⁹La, ¹⁴⁰Ce, ¹⁴¹Pr, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁵¹Eu, ¹⁵⁷Gd, ¹⁵⁹Tb, ¹⁶³Dy, ¹⁶⁵Ho, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁹Tm, ¹⁷²Yb, ¹⁷⁵Lu, ¹⁸⁰Hf, ¹⁸¹Ta, ¹⁸²W, ²⁰⁸Pb, ²⁰⁹Bi, ²³²Th, ²³⁸U) foram medidos na configuração normal. Os isótopos (⁵¹V, ⁵²Cr, ⁵⁹Co, ⁶⁰Ni, ⁶³Cu, ⁶⁶Zn, ⁸⁵Rb, ⁸⁸Sr, ¹¹⁴Cd, ¹¹⁸Sn e ¹²¹Sb) foram medidos com a CCT.

Calibração do instrumento: A calibração do instrumento foi efetuada com soluções multielementares preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares de 100 mg/L (AccuStandards).

Controle de qualidade: O controle de qualidade foi efetuado pela análise do material de referência GS-N (granito).

Tabela 2 – Dados geoquímicos obtidos por ICP-MS para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geologia Isotópica - Instituto de Geociências - Unicamp

		duplicata					
		LW-14-01B	LW-14-07B	LW-14-12A	LW-14-12	LW-14-13	LW-14-14A
Li	$\mu\text{g.g}^{-1}$	16.2	12.5	16.5	16.3	15.5	13.3
Be	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.03	1.27	1.11	1.23	1.34	1.12
Sc	$\mu\text{g.g}^{-1}$	12.8	9.97	12.9	12.6	17.5	23.3
V	$\mu\text{g.g}^{-1}$	61.4	63.4	108	108	121	177
Cr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	155	70.7	95.1	95.3	92.5	180
Co	$\mu\text{g.g}^{-1}$	17.3	13.5	17.2	17.1	22.9	29.4
Ni	$\mu\text{g.g}^{-1}$	27.2	18.8	27.7	27.8	41.6	43.4
Cu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	15.2	10.0	21.6	22.1	14.6	75.1
Zn	$\mu\text{g.g}^{-1}$	85.8	69.7	87.9	87.7	72.1	83.7
Ga	$\mu\text{g.g}^{-1}$	20.6	18.5	23.6	23.0	17.8	19.7
Rb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	14.9	35.6	17.9	19.3	99.6	29.5
Sr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	603	553	1309	1293	448	984
Y	$\mu\text{g.g}^{-1}$	9.49	7.54	16.5	15.8	20.0	16.9
Zr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	122	90.1	106	64.4	239	40.2
Nb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	4.04	3.14	14.9	14.7	7.97	6.00
Mo	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.39	0.38	0.44	0.38	0.75	0.39
Cd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.05	0.06	0.06	0.10	0.09	0.08
Sn	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.03	0.10	1.22	1.25	1.43	1.43
Sb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03
Cs	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.03	0.18	0.25	0.26	2.00	0.45
Ba	$\mu\text{g.g}^{-1}$	779	768	937	920	733	555
La	$\mu\text{g.g}^{-1}$	13.4	16.0	37.2	37.1	26.8	28.1
Ce	$\mu\text{g.g}^{-1}$	24.5	29.2	72.7	72.9	53.5	55.0
Pr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	3.31	3.74	9.49	9.53	6.91	7.28
Nd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	13.8	15.3	39.6	39.4	27.3	30.5
Sm	$\mu\text{g.g}^{-1}$	2.60	2.71	7.01	6.96	5.39	5.98
Eu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.83	1.42	2.62	2.58	1.31	1.76
Gd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.83	1.86	4.57	4.53	3.73	4.01
Tb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.29	0.27	0.62	0.62	0.60	0.59
Dy	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.38	1.29	3.04	3.04	3.30	3.12
Ho	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.32	0.28	0.65	0.63	0.76	0.67
Er	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.81	0.75	1.65	1.64	2.16	1.82
Tm	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.12	0.10	0.20	0.20	0.30	0.24
Yb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.70	0.66	1.22	1.20	1.95	1.56
Lu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.11	0.10	0.16	0.16	0.27	0.21
Hf	$\mu\text{g.g}^{-1}$	2.42	2.08	2.27	1.49	5.71	1.32
Ta	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.16	0.14	0.86	0.86	0.58	0.42
W	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.04	0.08	0.24	0.27	0.13	0.11
Pb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	6.75	8.17	16.3	16.1	13.8	11.8
Bi	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Th	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.11	0.06	0.78	0.80	7.89	1.21
U	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.15	0.18	0.43	0.35	0.83	0.36

Tabela 2 (cont.) – Dados geoquímicos obtidos por ICP-MS para as amostras da região de Cariré.

Laboratório de Geologia Isotópica - Instituto de Geociências - Unicamp

		GS-N	GS-N	Limites de
		Obtido	certificado	deteção (LD)
Li	$\mu\text{g.g}^{-1}$	51.5	55	0.03
Be	$\mu\text{g.g}^{-1}$	4.25	5.4	0.04
Sc	$\mu\text{g.g}^{-1}$	6.37	7.3	0.10
V	$\mu\text{g.g}^{-1}$	58.1	65	0.1
Cr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	58.7	54	0.4
Co	$\mu\text{g.g}^{-1}$	60.8	65	0.02
Ni	$\mu\text{g.g}^{-1}$	32.2	32.8	0.2
Cu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	18.5	20	0.2
Zn	$\mu\text{g.g}^{-1}$	42.4	48	3.4
Ga	$\mu\text{g.g}^{-1}$	19.7	22	0.009
Rb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	184.4	185	0.2
Sr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	539	570	0.07
Y	$\mu\text{g.g}^{-1}$	16.5	16	0.02
Zr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	249	235	0.04
Nb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	21.8	21	0.05
Mo	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.97	1.2	0.02
Cd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.01	0.04	0.02
Sn	$\mu\text{g.g}^{-1}$	3.09	3	0.08
Sb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.61	0.7	0.01
Cs	$\mu\text{g.g}^{-1}$	5.65	5.4	0.004
Ba	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1402	1400	0.08
La	$\mu\text{g.g}^{-1}$	68.5	75	0.01
Ce	$\mu\text{g.g}^{-1}$	126	135	0.02
Pr	$\mu\text{g.g}^{-1}$	14.5	14.5	0.006
Nd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	51.4	49	0.009
Sm	$\mu\text{g.g}^{-1}$	7.92	7.5	0.007
Eu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.83	1.7	0.003
Gd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	5.01	5.2	0.006
Tb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.63	0.6	0.003
Dy	$\mu\text{g.g}^{-1}$	2.98	3.1	0.003
Ho	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.62	0.6	0.003
Er	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.70	1.5	0.004
Tm	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.23	0.22	0.02
Yb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1.53	1.4	0.005
Lu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.21	0.22	0.002
Hf	$\mu\text{g.g}^{-1}$	6.11	6.2	0.005
Ta	$\mu\text{g.g}^{-1}$	2.61	2.6	0.003
W	$\mu\text{g.g}^{-1}$	451	450	0.01
Pb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	51.8	53	0.05
Bi	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0.17	0.18	0.006
Th	$\mu\text{g.g}^{-1}$	42.2	41	0.003
U	$\mu\text{g.g}^{-1}$	8.04	7.5	0.03