



**Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e
Geofísica**

Dissertação de Mestrado

**ESTILO ESTRUTURAL E CONTEXTO
TECTONOESTRATIGRÁFICO DO
GRUPO UBAJARA NO NW DO CEARÁ**

Dissertação n.º 216/PPGG

**Autora:
ROANNY ASSIS DE SOUZA**

**Orientador:
Prof. Dr. EMANUEL FERRAZ JARDIM DE SÁ**

**Co-orientador:
Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR ALVES DA SILVA**

Natal – RN, agosto de 2018



**Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e
Geofísica**

Dissertação de Mestrado

**ESTILO ESTRUTURAL E CONTEXTO
TECTONOESTRATIGRÁFICO DO
GRUPO UBAJARA NO NW DO CEARÁ**

**Autora:
ROANNY ASSIS DE SOUZA**

Dissertação apresentada em 03 de setembro de 2018, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN como requisito à obtenção do Título de MESTRE em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:
Prof. Dr. EMANUEL FERRAZ JARDIM DE SÁ (DG/PPGG/UFRN –
Orientador)
Prof. Dr. ZORANO SÉRGIO DE SOUZA (DG/PPGG/UFRN – Membro
interno)
Dr. VLADIMIR CRUZ DE MEDEIROS (Serviço Geológico do Brasil/CPRM –
Membro externo)

Natal – RN, agosto de 2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Ronaldo Xavier de Arruda - CCET

Souza, Roanny Assis de.

Estilo estrutural e contexto tectonoestratigráfico do Grupo Ubajara no NW do Ceará / Roanny Assis de Souza. - 2018.
65f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, 2018.

Orientador: Emanuel Ferraz Jardim de Sá.

Coorientador: Fernando César Alves da Silva.

1. Geodinâmica - Dissertação. 2. Província Borborema - Dissertação. 3. Grupo Ubajara - Dissertação. 4. Estilo estrutural - Dissertação. 5. Contexto tectonoestratigráfico - Dissertação.
I. Sá, Emanuel Ferraz Jardim de. II. Silva, Fernando César Alves da. III. Título.

RN/UF/CCET

CDU 551.2/.3

DEDICATÓRIA

*À minha família, de sangue e de coração, com quem divido
minha vida através dos anos e dos lugares por onde passo,
todo o meu amor e gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Eu costumo dizer que o mestrado foi a fase mais incrível e reveladora da minha vida até hoje. Nesse processo eu me reconheci e conheci tantas pessoas amadas, aprendi a superar grandes medos e inseguranças que carregava comigo, e aprendi o mais difícil até então, ter paciência. Bom, como todos os ciclos de Wilson, este também se encerra com uma grande orogenia que gerou enormes estruturas no meu coração, e da qual eu levarei uma bacia de antepaís metamorfoisada cheia de gente querida e lições de vida molássicas.

Minha gratidão imensurável ao Papai, por segurar na minha mãozinha tantas vezes e por me mostrar como os planos Dele são lindos, e a Jesus por ser o cara mais lindo que eu já conheci!

Aos meus pais, Eliza e Agostinho, e minha irmã Lorennny por me ensinarem mais nesses dois anos e meio, do que a vida toda, que todos nós somos humanos passíveis de erros e acertos, mas que no fim, o amor incondicional supera tudo. Vocês são meu esteio, meu sangue e minha certeza de que nunca estarei sozinha nesse mundo.

Ao Mineiro (Heuzer) por ser meu lar, meu amor e meu maior parceiro na etapa final dessa jornada e pela vida. Você me transborda e me faz ser uma pessoa melhor e mais feliz. Obrigada por me dar paz no meio do caos. Você é lindo meu nego.

À Natal, por ser o primeiro lugar em que me senti em casa depois de tanta andança, e por me trazer tantos irmãos como a Cla e a Ana. Gratidão por vocês serem tão vocês, e me ensinarem a ser tão eu, por dividirem comigo todos os momentos bons, não tão bons, horríveis, e extremamente felizes, por se permitirem viver apesar de todas as incertezas. Ainda bem que a gente tem a gente! Eu amo vocês, nessa e em todas as outras vidas que já dividimos. Essa cidade jamais seria a mesma coisa pra mim sem a companhia de vocês minhas sereias.

Aos meus amados amigos da Geologia UFRN, Ricardo e João por serem os primeiros e continuarem sendo tão incríveis através dos anos, por segurarem todas as barras, por me fazerem rir até chorar e por tantas vezes, deixarem tudo de lado pra me ajudar. Vocês merecem o mundo e eu estou ansiosa para conquistá-lo ao lado de vocês. Carlinha, por sempre chegar de supetão na minha

sala, rendendo milhares de risadas, por escutar todas as histórias que eu tenho pra contar e por torcer por mim como se fosse por ela. Erla e Karol, por fazerem da Sala 02 um baile funk da estratigrafia, e um lugar mais aconchegante de se chegar. Obrigada por serem meu ombro amigo em tantos momentos, e por me deixarem fazer parte da vida de vocês. Ao CA por ser meu refúgio durante esses anos, às tardes regadas de truco, aos planos mirabolantes pro dia da defesa, às músicas estranhamente viciantes descobertas juntos, e aos amigos maravilhosos que conheci por lá: Marcola, Txchuca, Barbariza, Derick, Kan, Vini, Carlota, Dalton, Ruivo, Dinarte, Armando, Khalil, Ramon, Joyce, Adler e Mega. À Ju, Allyson, Paixão e Matheus por serem os mestres e amigos mais incríveis do meu convívio, e por me darem a tranquilidade de saber que num futuro próximo teremos docentes de coração enorme e tato humano. À 021 por ter feito parte da minha história do jeito mais louco possível, por vocês terem tornado a vida tranquila e com mais churrascos, conviver com vocês foi lindo, e eu irei sempre os levar no meu coração (principalmente a Lauren e seus 17 filhotes).

À vida por me apresentar tanta gente linda pelo caminho, e por me ensinar a construir famílias por onde eu passo. Ao bonde cuiabano, Ju, Caru e Lulu, que sempre estive ao meu lado de perto ou de longe. Mahelly e Rafa por serem minhas irmãs através das vidas, por torcerem comigo e chorarem comigo, e por sermos sempre as Meninas Super-poderosas! Com vocês eu sei que posso ser tudo que eu sonhar e agora posso ser também uma tia babona, obrigada por isso Mahelly. A Sara por estar comigo desde a fase em que eu era só uma menina do interior de MG que não sabia pra onde ir, e por evoluir comigo, com idas e vindas, sem nunca perder esse amor enorme que nos une. À Debinha por ter aparecido do nada e ser tão eu, e me ensinar tanto sobre gratidão, amor e perdão. Raíla por ser esse ser humano cheio de luz e amor dentro de si e que graças a Deus eu atraí pro meu caminho, obrigada por estar sempre ao meu lado, mesmo longe, te amo com todo o meu amor. Jess, Arthur e Luca por serem amigos incríveis, sempre dispostos a fritar um torresminho e fazer um almoço de domingo que se estende até a janta, e por tornarem os dias leves e cheios de amor. Que encontro! Esse trabalho é de todos vocês (porque não sairia nada de mim, se eu não tivesse ninguém pra transbordar comigo, e vocês cumprem esse papel muito bem, obrigada).

E por último e não menos importante, ao meu orientador Emanuel, e meu co-orientador Fernando César, por todo o aprendizado, geológico e de vida, discussões e correções totalmente relevantes, e por serem tão solícitos todas as vezes que os procurei com dúvidas. Vocês são mestres admiráveis.

EPÍGRAFE

*“Acima de tudo ame
como se fosse a única coisa que você sabe fazer
no fim do dia isso tudo
não significa nada
esta página
onde você está
seu diploma
seu emprego
o dinheiro
nada importa
exceto o amor e a conexão entre as pessoas
quem você amou
e com que profundidade você amou
como você tocou as pessoas à sua volta
e quanto você se doou a elas”*

Rupi Kaur

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Figura 1.1 Mapa de localização da área estudada.....18

Figura 1.2 Fluxograma de atividades realizadas durante o desenvolvimento da dissertação....19

CAPÍTULO 2 – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Figura 2.1 Localização regional da área de estudo. (A) Mapa geológico simplificado da Província Borborema dividida em subprovíncias separadas por zonas de cisalhamento e domínios tectônicos da Subprovíncia Setentrional: DMC: Domínio Médio Coreaú, DCC: Domínio Ceará Central, DRN: Domínio Rio Grande do Norte. ZCPE: Zona de Cisalhamento Pernambuco, ZCP: Zona de Cisalhamento Patos, ZCPJC: Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara, ZCSP: Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, ZCSPII: Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (modificado de Delgado et al., 2003; Pedrosa Jr. et al., 2015); (B) Mapa geológico simplificado do DMC. (modificado de Cacama et al., 2015).....25

Figura 2.2 Mapa geológico e perfis do Grupo Ubajara, representando seu estilo estrutural e contatos com as unidades litoestratigráficas adjacentes (reproduzido de Gorayeb et al., 2014).....32

CAPÍTULO 3 – ARTIGO CIENTÍFICO

Figura 1. Mapas geológicos de localização da área de estudo na Província Borborema.....38

Figura 2. Aspectos mesoscópicos dos metadiamictitos da Formação Coreaú. (A a D) Metadiamictitos com matriz maciça e originalmente areno-argilosa a microconglomerática, afetada pela foliação S_2 (trama de finas micas e clastos menores orientados). Observar o arcabouço caótico (podendo exibir uma foliação superposta, que reorienta os clastos e minerais da matriz; Figura 2A,C,D) e a abundância de clastos facetados nas fotos (oeste da Serra da Penanduba). Em Olho d'Água do Caboclo, observar a matriz com foliação de mergulho forte bem marcada (E), originalmente com maior proporção de argilas e acamamento presente. Notar a menor quantidade e dimensões dos clastos (mas ainda com exemplos facetados, de dimensão decimétrica; em F observar clasto de subvulcânica). Pequenos clastos de quartzo e de feldspatos de origem vulcânica são comuns na matriz (visíveis nas fotos C e D e adiante, na Figura 6E). gr = granito, sva = subvulcânica ácida, ms = metassedimento, gn = gnaiss, vgr = veio de granito, svb = subvulcânica básica.....42

Figura 3. Imagem SRTM de relevo sombreado com iluminação proveniente de NW, no Domínio Médio Coreaú (NW do Ceará) e adjacências do Domínio Ceará Central. Blocos tectonoestratigráficos: A, Grupo Jaibaras; B, Terrenos gnáissico-migmatíticos (B1, Complexo Ceará) paleo e neoproterozoicos; B2, Complexo Granja e Grupo Martinópolis/Formação São Joaquim); C, Grupo Ubajara; D, Granito Mucambo; E, Granito Meruoca; F - Enxame de diques Coreaú. Cidades: 1 Sobral, 2 Coreaú, 3 Araquém, 4, Ubaúna, 5, Tianguá, 6, Frecheirinha, 7 Meruoca, 8, Mucambo, 9, Jaibaras, 10, Aroeiras, 11, Aprazível.....44

Figura 4. Projeções Lambert-Schmidt, hemisfério inferior, para as estruturas geradas nos eventos D_1 e D_2 . (A) Projeção dos pólos da foliação S_1 , de mergulho baixo a mediano e direção variando entre NNE a ENE (com mergulhos opostos interpretados como efeito da superposição das dobras F_2) e dos empurrões C_1 com transporte para NW; (B) Projeção dos pólos da foliação S_1 de direção WNW-ESSE e mergulhos de médio a alto ângulo (dobras em rampas oblíquas ou laterais); (C) Distribuição das lineações, em especial as de estiramento (L_1^X , coincidente ou não com L_1^0), com caimento predominantemente para SE; (D) Projeção dos pólos de S_2 , com direção NE e mergulho alto; (E) Distribuição das lineações L_2^B (L_2^0 ou L_2^{0+1}) e L_2^X com trend NE e baixo

rake; (F) Projeção dos planos C_2 das zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais, de trend NE e alto ângulo de mergulho.....46

Figura 5. Estilo estrutural do evento D_1 . (A) Estrutura D_1 do tipo S-C, em metarenitos finos intercalados com metapelitos da Formação Caiçaras, indicando transporte para NW; (B) Dobra recumbente afetando metarenitos grossos da Formação Trapiá; (C) Zona de charneira F_1 de dobras recumbentes, nas exposições da Mina Votorantim, observando-se o perfil classe 1C e um padrão de interferência coaxial com dobra F_2 com superfície axial de alto ângulo; (D) Fotomicrografia de metacálcaros da Formação Frecheirinha, compostos por calcita recristalizada e níveis argilosos dobrados, com foliação S_1 marcada por microbandas de solução por pressão. A ponta do marcador ou do cabo do martelo indica o Norte.....47

Figura 6. Estilo estrutural do evento D_2 . (A) Dobra fechada F_2 afetando a Formação Coreaú; (B) Dobras abertas F_2 na Formação Frecheirinha; no detalhe, a lineação de estiramento L_2^X , que é paralela às charneiras das dobras, ambas com suave caimento; (C) Padrão de interferência $F_2 \wedge F_1$ do tipo bumerangue, também na Formação Frecheirinha próxima às cavas da Mina Votorantim; (D) S_0 e S_1 subparalelos, dobrados com foliação S_2 marcada por microbandas de solução por pressão (clivagem de crenulação), afetando níveis margosos nos metacálcaros da Formação Frecheirinha.....48

Figura 7. Estilo estrutural do evento D_2 . (A) Cristais de quartzos estirados indicando deformação plástica em zona de cisalhamento C_2 que afeta metarenitos da Formação Trapiá; (B) Metadiamicrito da Formação Coreaú exibindo microzona de cisalhamento no entorno de um clasto de rocha subvulcânica. Na matriz com foliação curvilinear (S_2), observar a boudinage e fraturamento de pequenos clastos de quartzo com sombras de pressão e formas sigmoidais. Ainda na matriz observa-se uma banda oblíqua de alto strain, com recristalização de quartzo, formando um par S-C dextral; (C) Enclaves magmáticos no Granito Mucambo, alongados NNE-SSW, definindo o fabric S_2^Y e L_2^Y , indicadores da cinemática de fluxo viscoso do plúton (transcorrência dextral precedendo à formação da Falha Café-Ipueiras). Observa-se ainda juntas de distensão seccionando o enclave e falha transcorrente dextral de trend NE, que são correlacionadas à etapa tardia D_{2t} ; (D) Cristal de quartzo subvulcânico preservando feições de embaçamento numa matriz protomilonítica (fabric S_{2t} - C_{2t}); dique ácido subvulcânico, Enxame Coreaú, alojado em juntas de distensão na terminação de uma zona de cisalhamento D_2 (ver Figura 8F e G e discussões no texto). A ponta do marcador ou do cabo do martelo indica o Norte.....49

Figura 8. Estilo estrutural da etapa tardia do evento D_2 . (A) Slickenfibers silicosos-argilosos denotando rejeito oblíquo normal-dextral em plano de falha com direção NNE, afetando metarenitos da Formação Coreaú; (B) Slickenfibers (finas lamelas de sericita e clorita) com rake oblíquo, em plano de falha normal dextral afetando sienito intrusivo no Grupo Jaibaras; (C) Plano de falha normal dextral de direção NE, afetando a Formação Frecheirinha e gerando dobra “de arrasto” (propagação de falha); (D) Veios de carbonato escalonados ou planares de alto ângulo (juntas T), dispostos ao longo de uma falha com componentes normal-dextral e direção NE-SW, mergulhando para NW. Observar ainda, à direita na foto, dique de diabásio com direção ENE (indicado pela seta); (E) Projeção de planos de falhas normais e normais dextrais com direção NE-SW, relacionadas ao evento D_{2t} ; (F) Modelo esquemático de estruturas D_{2t} em mapa; (G) Área de ocorrência do Enxame de diques Coreaú, ampliada a partir da imagem SRTM (Figura 3). A ponta do marcador ou do martelo indica o Norte.....50

Figura 9. Estilo estrutural dos eventos deformacionais reconhecidos no Grupo Ubajara.....51

RESUMO

O Grupo Ubajara é uma unidade metassedimentar neoproterozoica (ediacarana), de baixo grau metamórfico, que aflora adjacente ao Lineamento Transbrasiliano, no NW do Ceará. Esse lineamento corresponde a uma megazona de cisalhamento com direção NE, com rejeito direcional dextral. O Grupo Ubajara faz parte do Domínio Médio Coreaú, sendo totalmente delimitado por zonas de cisalhamento de média a baixa temperatura, seja com o Grupo Martinópole (também de idade neoproterozoica, criogeniano, deformado em grau metamórfico e de *strain* mais elevado) e terrenos gnáissico-migmatíticos (paleoproterozoicos a arqueanos). Na sua borda SE, o Grupo Ubajara está em contato por falha transcorrente dextral com o Grupo Jaibaras (ediacarano-cambriano), que preenche o gráben homônimo. Os contatos essencialmente tectônicos dificultam a interpretação do contexto estratigráfico-estrutural do Grupo Ubajara e é evidente o contraste metamórfico-estrutural com o Grupo Martinópole e os terrenos gnáissico-migmatíticos. Em adição, a falta do registro de uma não-conformidade, na base do Grupo Ubajara, coloca a hipótese de expressiva aloctonia desta unidade, precedente à deposição do Grupo Jaibaras. O Grupo Ubajara está envolvido em um padrão deformacional complexo, com estruturas contracionais e transcorrentes relacionadas ao Ciclo Brasileiro. O presente trabalho foca o estilo estrutural e as relações tectonoestratigráficas do Grupo Ubajara com outras unidades adjacentes, através da interpretação de imagens de sensores remotos, dados estruturais de campo e de microescala. A análise geométrica e cinemática das macroestruturas (delineadas em imagens orbitais e mapas geológicos), e correlações meso e microscópicas, permitiu o reconhecimento de três fases deformacionais que afetaram o Grupo Ubajara. A fase D₁ tem caráter dúctil e é caracterizada por empurrões com transporte para NW e dobras recumbentes a invertidas, com foliação (S₁) de mergulho baixo, variando a dobras apertadas com foliação de *trend* NW-SE a W-E, de mergulho médio a alto. A segunda fase (D₂) compreende estruturas dúcteis de regime transcorrente, com cinemática dextral, incluindo zonas de cisalhamento de mergulho forte e direção NE-SW, lineações de estiramento com *rake* baixo e dobras abertas a apertadas, com foliação (S₂) de *trend* em torno de N-S a NNE. A forma em chifre do Granito Mucambo denota a atuação desta fase durante o

alojamento do corpo. Finalmente, uma evolução (estágio tardio) a estruturas dúcteis-frágeis ou frágeis também partilha da mesma cinemática transcorrente dextral que caracteriza a fase D₂ (sendo então referida como D_{2t}). A mesma é expressa por falhas normais dextrais NE e normais (e juntas de distensão) E-W a ENE, sendo correlacionada à tectônica transtraccional que controla o gráben *pull-apart* de Jaibaras. Em algumas faixas miloníticas observa-se a elevação do grau metamórfico, sendo que a principal delas produziu milonitização de diques graníticos originalmente com direção E-W, lateralmente alojados em juntas de distensão numa terminação distensional da zona, sendo considerados contemporâneos ao Plúton Meruoca. O expressivo contraste metamórfico-estrutural do Grupo Ubajara, com respeito às unidades mais antigas, bem como a ausência do registro de uma não conformidade na sua base, apontam para expressiva aloctonia do grupo, combinando transporte tangencial (D₁) e deslocamento transcorrente dextral (D₂), este último associado ao LTB.

PALAVRAS-CHAVE: Província Borborema, Grupo Ubajara, estilo estrutural, cinemática, contexto tectonoestratigráfico

ABSTRACT

The Ubajara Group is a neoproterozoic (of ediacaran age) low grade metasedimentary unit (ediacaran) that occurs adjacent to the Transbrasiliano-Kandi Lineament, in NW Ceará. This lineament corresponds to a NE-trending dextral strike-slip mega-shear zone related to the Brasiliano orogenic cycle. The Ubajara Group is part of the Middle Coreaú Domain, being completely surrounded by medium to low temperature shear zones that define its contact either with the Martinópolis Group (also of neoproterozoic, tonian age, deformed at a higher strain and metamorphic grade) and gneissic-migmatitic terrains (paleoproterozoic to archaean). In its SE border, the Ubajara Group is in contact, through a NE-trending dextral transcurrent fault, with the ediacaran-cambrian Jaibaras Group, that fills the homonymous graben. The essentially tectonic contacts make it difficult to interpret the stratigraphic-structural context of the Ubajara Group and the metamorphic-structural contrast with the Martinópolis Group and the gneissic-migmatitic terrains is evident. In addition, the absence of a nonconformity at the base of the Ubajara Group poses the hypothesis of expressive alloctony of this unit, preceeding the deposition of the Jaibaras Group. The Ubajara Group is involved in a complex deformation pattern with contractional and transcurrent structures related to the Brasiliano Cycle. The present work focuses on the structural style and tectonostratigraphic relations of the Ubajara Group with other adjacent units, through the interpretation of remote sensing imagery, field and microscale structural data. The second phase (D_2) comprises ductile, transcurrent structures with dextral kinematics, including NE-trending steep-dipping shear zones, low-rake stretching lineations and open to tight folds with (S_2) foliation trends varying from NS to NNE. The horn shape of the Mucambo Granite denotes the control of this phase during its emplacement. Finally, a late stage evolution to ductile-brittle or brittle structures also shares the same dextral transcurrent kinematics that characterizes the D_2 phase (being thus referred as D_{2i}). It is expressed by NE-trending normal dextral faults and E-W to ENE normal faults and extensional joints, being correlated to the transtensional tectonics that controls the Jaibaras pull-apart graben. In some mylonitic bands it is observed the raising of metamorphic grade. The main belt produced mylonitization in originally E-W trending subvolcanic granite dikes that filled

extensional joints related to a transtensional termination site close to the Meruoca Pluton. The outstanding metamorphic-structural contrast of the Ubajara Group, as regards to the older units, as well as the lack of a non conformity in its base, point to an expressive alloctony, combining (D₁) tangential transport and (D₂) dextral transcurrent displacements, the latter associated with LTB. Finally, the final site of occurrence of the Ubajara Group was shaped by (D_{2t}) transtensional structures correlated to those that shaped the jaibaras Graben.

KEYWORDS: Borborema Province, Ubajara Group, structural style, kinematics, tectonostratigraphic context

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	IV
AGRADECIMENTOS.....	V
EPÍGRAFE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
 CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E MÉTODOS DE TRABALHO	
1.1 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
1.3 – MATERIAIS E MÉTODOS	18
1.3.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.3.2 – INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS SRTM.....	19
1.3.3 – TRABALHOS DE CAMPO.....	20
1.3.4 – TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS ESTRUTURAIS DE CAMPO.....	20
1.3.5 – DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E MICROESTRUTURAL DE SEÇÕES DELGADAS.....	21
1.3.6 – INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS.....	21
1.3.7 – REDAÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.....	21
 CAPÍTULO 2 – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	
2.1 – INTRODUÇÃO.....	23
2.2 – DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ.....	23
2.3 – GRUPO MARTINÓPOLE.....	26
2.4 – GRUPO UBAJARA.....	26
2.5 – SUÍTES INTRUSIVAS MUCAMBO E MERUOCA.....	28
2.6 – GRUPO JAIBARAS.....	29
2.7 – BACIA DO PARNAÍBA - GRUPO SERRA GRANDE.....	30
 CAPÍTULO 3 – ARTIGO	
• <i>Estilo estrutural e contexto tectonoestratigráfico do Grupo Ubajara no NW do Ceará</i>	35
 CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	
4.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E MÉTODOS DE TRABALHO



1.1. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

A presente dissertação que se intitula “Estilo estrutural e relações tectonoestratigráficas do Grupo Ubajara no NW do Ceará” é parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre junto ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). O trabalho teve início em março de 2016 e término em agosto de 2018, com o apoio do Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo (LGGP), pertencente ao Centro de Ciências Exatas e da Terra, na UFRN, e foi orientado pelo Prof. Dr. Emanuel Ferraz Jardim de Sá.

O objetivo desta pesquisa é estudar o estilo estrutural e relações estratigráficas do Grupo Ubajara com as unidades adjacentes, como também discutir o contexto tectônico no qual este grupo está inserido. O Grupo Ubajara é uma unidade metassedimentar neoproterozoica que aflora na borda NW da Bacia do Parnaíba, adjacente ao Lineamento Transbrasiliiano. Nos trabalhos prévios abordando esta unidade, observa-se que suas relações estratigráficas e estruturais (em especial, contatos) com unidades adjacentes ainda demandam caracterização mais detalhada. Na literatura (Costa *et al.*, 1979; Gorayeb *et al.*, 1988, 2014; Oliveira, 2001; Santos *et al.*, 2004, 2008a; Pedrosa Jr. *et al.*, 2015), existem diferentes propostas sobre as relações desse grupo com unidades mais jovens (como o Grupo Jaibaras) ou mais antigas (o Grupo Martinópolis, também de idade neoproterozoica). Como os contatos do Grupo Ubajara são cartografados como falhas, a relação cronológica com o Grupo Martinópolis também deve considerar a justaposição de fatias ou blocos alóctones. Embora o Grupo Jaibaras seja reconhecido como mais novo, face ao seu estilo estrutural mais simples e metamorfismo incipiente, a semelhança de seus litotipos siliciclásticos com a unidade mais jovem do Grupo Ubajara, a Formação Coreaú, suscita dúvidas quanto à sua cartografia, esta última já tendo sido atribuída ao Grupo Jaibaras (Gorayeb *et al.*, 1988).

A abordagem do estudo envolve a aplicação de técnicas de mapeamento focando as relações estruturais e estratigráficas (com base em imagens de sensores remotos e levantamento de campo), em adição a estudos microestruturais. Foi conferida ênfase na caracterização de eventos deformacionais, contatos entre unidades distintas, estruturas macro, meso e microscópicas, além da revisão de mapas e perfis estruturais da bibliografia.

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se geograficamente na porção NW do estado do Ceará, próximo a Sobral, e abrangendo as cidades de Coreaú, Frecheirinha, Mucambo, dentre outras (figura 1.1). O acesso à área é feito a partir de Natal pelas rodovias federais BR-304 e BR-116 até Fortaleza, e a partir daí, pela rodovia BR-222 que atravessa toda a região estudada. Para acessar o restante da área foram tomadas as rodovias estaduais CE-263, CE-240 e CE-364, além de estradas não pavimentadas.

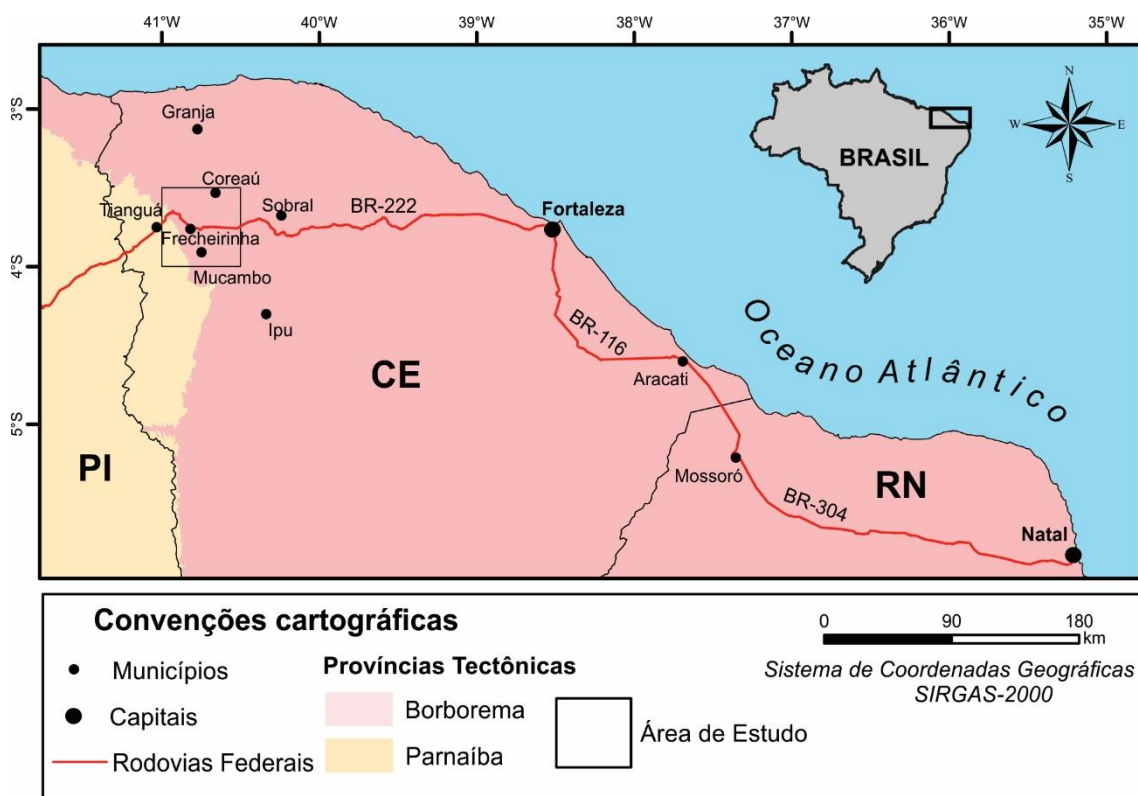


Figura 1.1 Mapa de localização da área estudada.

1.3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram cumpridas três etapas principais com suas respectivas atividades, mostradas no fluxograma da figura 1.2. Os aspectos básicos dos métodos e técnicas utilizadas serão descritos nos itens subsequentes.

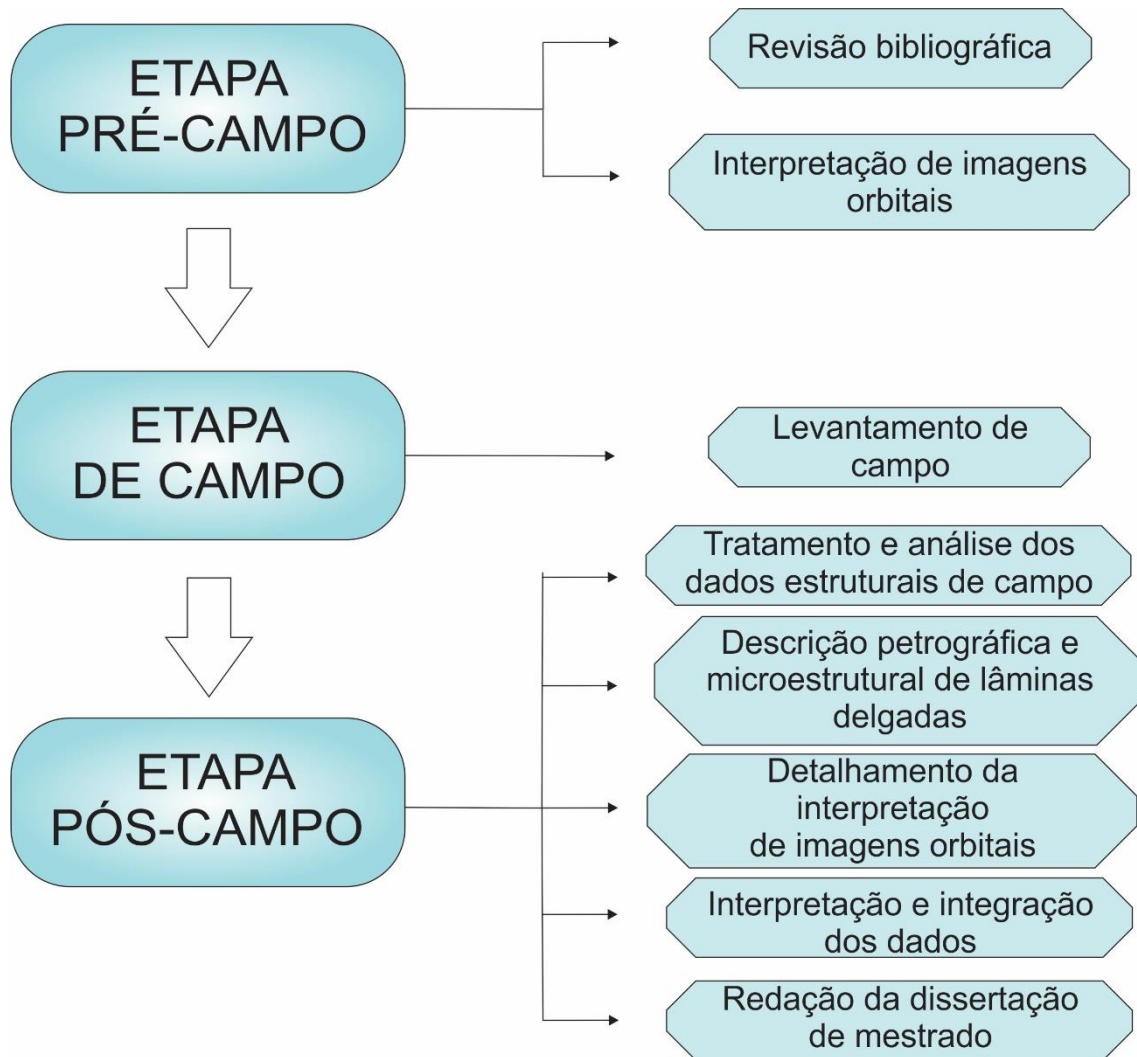


Figura 1.2 Fluxograma de atividades realizadas durante o desenvolvimento da dissertação.

1.3.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica consistiu no levantamento dos principais estudos referentes à área, como mapas geológicos obtidos de projetos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), teses, dissertações, monografias e artigos científicos. A confecção de mapas preliminares de campo foi feita utilizando como base as imagens do *software* Google Earth Pro, para seleção de afloramentos e estradas. Foram introduzidos à base cartográfica da CPRM (folha SA-24-Y-C-VI – Frecheirinha) os novos dados obtidos em campo, o que resultou em modificações nesse mapa geológico.

1.3.2. INTERPRETAÇÃO DE IMAGEM SRTM

Esta etapa constou da análise preliminar de lineamentos estruturais da área a partir da utilização de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), com resolução espacial de 90 metros, adquiridas no sítio eletrônico do USGS (*United States Geological Survey*), com referencial planimétrico WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). O traçado das feições estruturais foi realizado no programa ArcGis versão 10.1, no qual, utilizou-se técnicas de sombreadimento, com pseudo-iluminação de direção azimutal 315°. O uso destas técnicas possibilitou a atenuação das feições paralelas à direção de iluminação, e ressaltou as estruturas que ocorrem de forma transversal, facilitando a visualização das estruturas geológicas e o traçado de fotolineações e fotolineamentos presentes na área. Após a caracterização do estilo estrutural com base nos dados de afloramentos, a interpretação das imagens foi revisada buscando correlações com a escala macroscópica das imagens.

1.3.3. TRABALHOS DE CAMPO

Foi realizado um trabalho de campo com duração de 14 dias (15 a 28 de maio de 2016), com hospedagem na cidade de Sobral, para caracterizar litotipos e a geometria e cinemática das estruturas internas e falhas delimitantes do Grupo Ubajara, e sua comparação com outras unidades em contato. Foi realizada a coleta de amostras de cada litotipo para análises petrográficas, micropetrográficas e microestruturais, visando a caracterização das condições de pressão e temperatura atuantes durante a formação destas rochas e a cinemática das falhas e zonas de cisalhamento.

1.3.4 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS ESTRUTURAIS

Os dados estruturais foram organizados e plotados em projeções Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) a partir dos programas Stereonet versão 9.5 (Allmendinger, 2016) e OpenStereo, cuja versão de uso livre está disponível no *site* do Instituto de Geociências da USP. Estas projeções auxiliaram na caracterização das diferentes fases deformacionais que afetaram o Grupo Ubajara, a partir da observação de padrões de orientação das foliações, lineações e zonas de cisalhamento e sua cinemática associada.

1.3.5 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E MICROESTRUTURAL DE SEÇÕES DELGADAS

Para esta etapa foram confeccionadas 38 lâminas dos diversos litotipos presentes na área estudada, tanto do Grupo Ubajara, quanto das unidades adjacentes. As lâminas foram preparadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A descrição petrográfica teve o intuito de classificar o litotipo descrito, levando em consideração seus aspectos texturais, estruturais e sua paragênese mineralógica. Com base nesses dados, foi feita uma caracterização preliminar das condições de pressão e temperatura em que as rochas foram deformadas. O estudo microestrutural permitiu a avaliação dos indicadores cinemáticos de transporte tectônico, e o reconhecimento das fases e mecanismos de deformação que afetaram as rochas estudadas.

1.3.6 INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa todos os dados geológicos e estruturais de laboratório foram integrados aos dados de campo, refinando as interpretações e o mapa geológico prévio. Também foram revisados os mapas de fotolineamentos, incorporando dados de campo para a caracterização cinemática das zonas de cisalhamento delimitantes do Grupo Ubajara, e sua correlação com aquelas que delimitam o Grabén de Jaibaras. Finalmente, a interpretação e integração desses dados ensejou as discussões sobre a correlação do Grupo Ubajara com a evolução tectono-estratigráfica do Domínio Médio Coreaú, aí incluída a evolução do Lineamento Transbrasiliano (Zona de cisalhamento de Sobral-Pedro II).

1.3.7 REDAÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Com a integração dos dados obtidos foi possível elaborar a presente Dissertação de Mestrado e um artigo científico (Souza *et al.*, Estilo estrutural e contexto tectonoestratigráfico do Grupo Ubajara no NW do Ceará) que será submetido à revista Geologia Série Científica – USP.

CAPÍTULO 2
CONTEXTO
GEOLÓGICO REGIONAL



2.1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está inserida no contexto da Plataforma Sul Americana, situada na porção noroeste da Subprovíncia Setentrional da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1981), correspondendo ao Domínio Médio Coreaú, tendo como foco o Grupo Ubajara.

A Província Borborema é caracterizada por eventos magmáticos, tectônicos e termais que atuaram do Arqueano até o Cambriano-Ordoviciano. A Subprovíncia Setentrional é limitada a sul pelo Lineamento Patos, de caráter dextral e direção E-W, e subdividida em quatro domínios geológicos distintos, separados por grandes zonas de cisalhamento com direções variando de NE-SW a ENE-WSW (Caby e Arthaud, 1986; Fetter *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2008a, 2009; Ganade de Araújo *et al.*, 2012).

2.2. DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ

A região NW do Ceará, ou Domínio Médio Coreaú (figura 2.1), corresponde ao segmento da Província Borborema situado a NW da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (ZCSP II), que o separa dos domínios Médio Coreaú e Ceará Central. A ZCSP II (ou simplesmente a Zona de Cisalhamento de Sobral) é uma componente do Lineamento Transbrasiliano-Kandi, uma megaestrutura de direção NE-SW de caráter transcorrente dextral e idade neoproterozoica (Delgado *et al.*, 2003). O Domínio Médio Coreaú corresponde ao substrato da borda NE da Bacia do Parnaíba, e é recortada por uma série de transcorrências e empurrões oblíquos de direção NE, relacionadas ao Ciclo Brasileiro (ca. 800 Ma - 500 Ma) e utilizadas na delimitação dos principais blocos estruturais. Tais estruturas exerceram forte controle na deposição das molassas brasileiras e no surgimento de um sistema de grábens múltiplos denominados de Ubajara e Jaibaras (Gorayeb *et al.*, 1988; Jardim de Sá, 1994; Oliveira, 2001).

Santos *et al.* (2008a, 2009) descreveram em detalhe o Domínio Médio Coreaú, que compreende a suíte TTG paleoproterozoica do Complexo Granja, seguidas pela Unidade Saquinho de idade tardi-paleoproterozoica, e pelos grupos Martinópolis e Ubajara de idade neoproterozoica e unidades molássicas cambrianas do Grupo Jaibaras. Os granitoides brasileiros Chaval e Tucunduba,

e tardi a pós-brasileiros Mucambo e Meruoca, intrudem tanto o embasamento quanto as sequências metasedimentares.

O Complexo Granja é constituído por ortognaisses TTGs, granulitos ortoderivados e paraderivados e migmatitos (Delgado *et al.*, 2003, Santos *et al.*, 2008a). Datações U-Pb nos ortognaisses mostraram idades de cristalização de 2.357 - 2.271 Ma e idade de residência crustal em Nd de 2.38 - 2.61 Ga com valores positivos de ϵNd (+0.5 a +1.9) (Fetter *et al.*, 2000), o que indica a presença de uma crosta juvenil paleoproterozoica provavelmente formada num contexto de arco de ilha (Santos *et al.*, 2008a). Já a Unidade Saquinho (ver abaixo) é descrita como uma sequência vulcano-sedimentar composta por traquiandesitos, riolitos, tufos, carbonatos, rochas vulcanoclásticas e arenitos ferruginosos (Santos *et al.*, 2004; Benedetti, 2012; Gorayeb *et al.*, 2014). Uma idade U-Pb de 1,79 Ga, obtida de zircões dos riolitos, foi atribuída a esta unidade, relacionada por Santos (1999) ao primeiro evento distensional do embasamento, nomeado de Tafrogênese Estateriana.

O enfoque deste estudo são as rochas neoproterozoicas da sequência supracrustal do Grupo Ubajara, que ocorrem na área juntamente com os grupos Martinópolis, Jaibaras e os granitos Meruoca e Mucambo, que serão descritos com maior detalhe a seguir. Pela sua ocorrência no interior da área aflorante do Grupo Ubajara, a Unidade Saquinho é também tratada adiante.

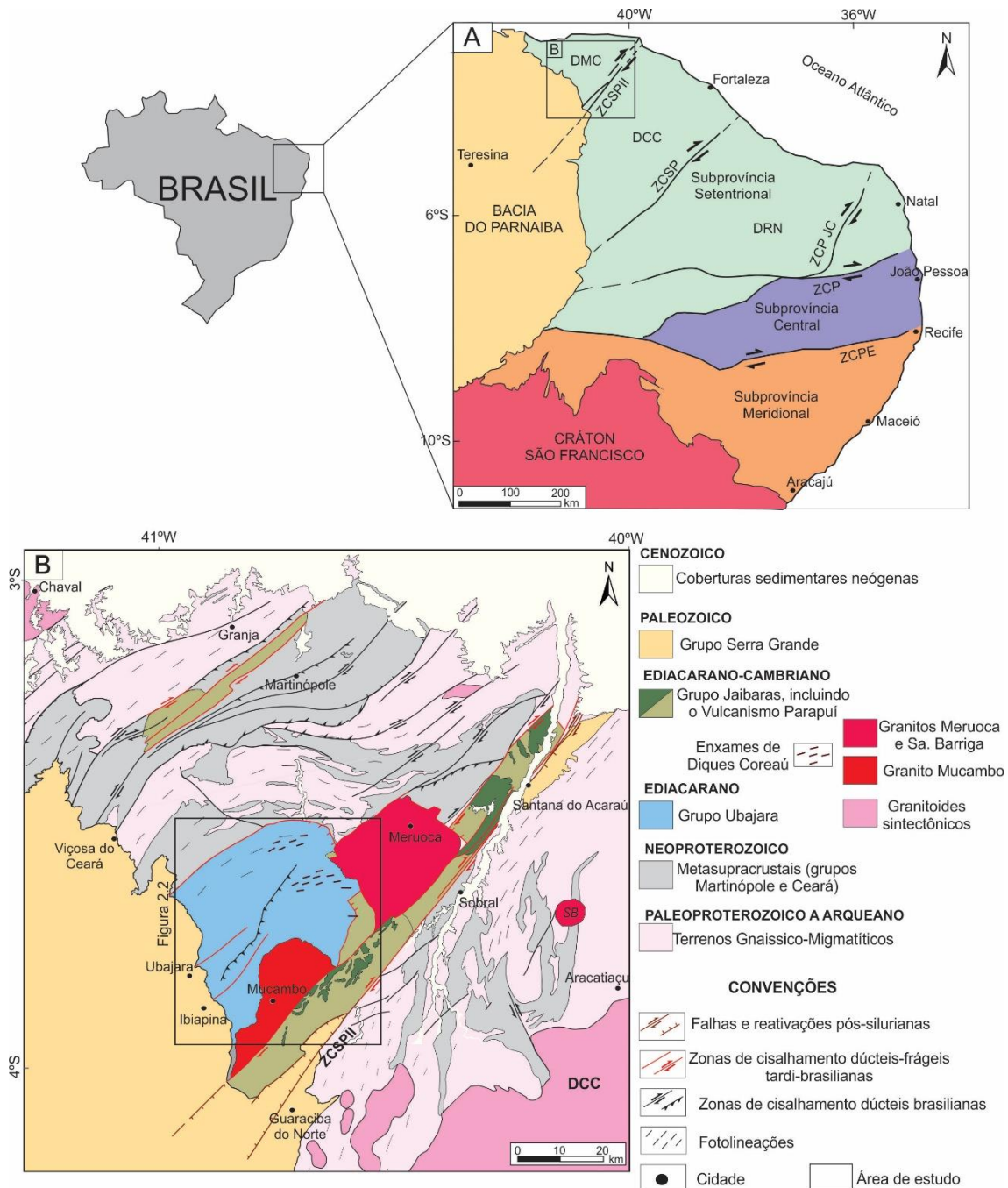


Figura 2.1 Localização regional da área de estudo. (A) Mapa geológico simplificado da Província Borborema dividida em subprovíncias separadas por zonas de cisalhamento e domínios tectônicos da Subprovíncia Setentrional: DMC: Domínio Médio Coreaú, DCC: Domínio Ceará Central, DRN: Domínio Rio Grande do Norte. ZCPE: Zona de Cisalhamento Pernambuco, ZCP: Zona de Cisalhamento Patos, ZCPJC: Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara, ZCSP: Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, ZCSPII: Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (modificado de Delgado et al., 2003; Pedrosa Jr. et al., 2015); (B) Mapa geológico simplificado do DMC (modificado de Camaca et al., 2015)

2.3. GRUPO MARTINÓPOLE

O Grupo Martinópolis foi subdividido por Santos *et al.* (2008a) da base para o topo em quatro formações: Goiabeira, São Joaquim, Covão e Santa Terezinha. A Formação Goiabeira é composta por granada-clorita xistos, estauroлита xistos, muscovita-clorita xistos, cianita xistos e paragneisses quartzo-feldspáticos. Segundo aqueles autores, esta formação repousa em não conformidade sobre o embasamento gnáissico denominado Complexo Granja. A Formação São Joaquim ocorre como camadas de quartzito com composição mineralógica variada, incluindo minerais como cianita, silimanita e muscovita, intercaladas a rochas calcissilicáticas e metavulcânicas félsicas. As condições de metamorfismo a que estas formações foram submetidas atingem a fácies anfibolito sob pressão média (Santos e Hackspacher, 1991; Santos, 1993). As formações mais novas deste grupo, Covão e Santa Terezinha, são compostas por mica xistos e metadiamictitos, metapelitos e metacarbonatos com intercalações de metagrauvacas, metarritmitos, quartzitos e rochas metavulcânicas félsicas, sendo sua paragênese mineral (clorita-quartzo-mica branca) indicativa de metamorfismo na fácies xisto verde a pumpellyta-prehnita (Santos *et al.*, 2008a). O Grupo Martinópolis tem idade entre 775 e 808 Ma (U-Pb em zircão de metavulcânicas das formações São Joaquim e Santa Terezinha) e metamorfismo em torno de 650 Ma (U-Pb em titanita) (Fetter *et al.*, 2003).

2.4. GRUPO UBAJARA

Costa *et al.* (1979) determinaram para o Grupo Ubajara, na época ainda considerado como do Grupo Bambuí, a estratigrafia que grande parte dos autores ainda utilizam, com a subdivisão do grupo em quatro formações: Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Coreaú. Nascimento e Gava (1979) alteraram a nomenclatura do grupo para Grupo Ubajara e suprimiram a Formação Coreaú, que passou a ser englobada no Grupo Jaibaras, mais jovem que o Grupo Ubajara. Posteriormente, Cavalcante e Ferreira (1983) recolocaram a Formação Coreaú no mapa geológico do Ceará a qual foi novamente retirada por Gorayeb *et al.* (1988), e ali reintegrada no mesmo ano por Hackspacher *et al.* (1988) que inverteram a posição das formações Trapiá e Caiçaras. Santos *et al.* (2008a) descreveram o Grupo Ubajara como uma sequência sedimentar de plataforma proximal, composta por três formações da base para o topo: Caiçaras, Trapiá-

Frecheirinha e Coreaú. Por fim, Gorayeb *et al.* (2014) retomaram a estratigrafia proposta inicialmente por Costa *et al.* (1979).

Segundo Gorayeb *et al.* (1988), o Grupo Ubajara tem na base depósitos continentais essencialmente clásticos e de caráter transgressivo, com litofácies psamítica proximal (Formação Trapiá) e pelitos distais (Formação Caiçaras), com passagens laterais e interdigitadas. Para o topo encontra-se sedimentação carbonática marinha (Formação Frecheirinha), culminando numa sequência arcossiana a grauváquica (Formação Coreaú), sendo o grupo interpretado como de ambiente flúvio-marinho (Delgado *et al.*, 2003). Para esses autores a Formação Trapiá é composta por metarenitos intercalados a metassiltitos e mais raramente metaconglomerados, sendo os metarenitos a litologia dominante. Como estruturas primárias ocorrem estratificações cruzada de pequeno porte e plano-paralela (Gorayeb *et al.*, 1988). A Formação Caiçaras compreende ardósias intercaladas com níveis de metarenitos, em contato gradacional com as rochas da Formação Trapiá (Hackspacher *et al.*, 1988). A Formação Frecheirinha é constituída principalmente por metacalcários com metamargas intercaladas que evidenciam o contato transicional com a formação sotoposta. Os metacalcários apresentam estratificação plano-paralela, com alternância de camadas carbonáticas puras e camadas ricas em filossilicatos, estas mostrando uma xistosidade bem marcada e orientada tanto truncando como paralela ao acamamento (Gorayeb *et al.*, 1988). Sial *et al.* (2016) definiram para esta formação a idade ediacarana, através de relações bio e quimioestratigráficas. Hackspacher *et al.* (1988) descreveram estas rochas microscopicamente com texturas bandadas, maciças e laminadas e compostas principalmente por calcita hipidiomórfica a xenomórfica e quartzo detrítico. Como acessórios encontram-se opacos preenchendo estruturas de dissolução, mica branca e pirita. Petrograficamente a Formação Coreaú caracteriza-se por uma associação de sedimentos clásticos, geralmente imaturos, com dominância de arenitos arcoseanos, grauvacas e arcóseos (Hackspacher *et al.*, 1988). Ao microscópio estas rochas apresentam textura granoblástica, matriz de granulação muito fina, e clastos de formas, tamanhos e composições variadas. Os clastos atingem até 1 cm e são predominantemente de quartzo anédrico a subhédrico, plagioclásio alterados para sericita e clorita, e rochas como calcários e rochas vulcânicas

Gorayeb *et al.* (1988, 2014), Jardim de Sá (1994), Oliveira (2001) e Santos *et al.* (2004) descrevem, no Grupo Ubajara, um padrão deformacional complexo e estruturas de baixo ângulo, considerando que a sedimentação se processou desde pré a sinorogênica com relação ao Ciclo Brasileiro, sendo os sedimentos imaturos do topo, material do tipo *flysch* transicionando a uma molassa precoce. No corte da figura 2.2 (Gorayeb *et al.*, 2014; folha Frecheirinha 1:100.000, CPRM) são cartografadas estruturas de empurrões e dobras invertidas, afetadas por uma segunda geração de dobras abertas com plano axial verticalizado.

Os contatos do Grupo Ubajara, especialmente com as unidades mais antigas, são cartografados como falhas, indiscriminadas ou interpretadas por diferentes autores como de rejeito inverso ou transcorrente (Gorayeb *et al.*, 1988; Jardim de Sá, 1994, Santos *et al.*, 2008a; Gorayeb *et al.*, 2014; ver figura 2.2), ou normais (Falha de Arapá; Santos *et al.*, 2008b; Pedrosa Jr. *et al.*, 2015). Falhas normais são descritas por diversos autores (Gorayeb *et al.*, 1988; Santos *et al.*, 2008a; Gorayeb *et al.*, 2014; Pedrosa Jr. *et al.*, 2015), delimitando-o do Grupo Jaibaras. Todavia, a SE de Coreaú, a cartografia (Costa *et al.*, 1979; Jardim de Sá *et al.*, 1979; Gorayeb *et al.*, 2014) indica prováveis contatos discordantes, com a Formação Massapê sobreposta (Grupo Jaibaras). Contatos intrusivos, com desenvolvimento de típicos *hornfels*, ocorrem nas bordas das intrusões graníticas Mucambo e Meruoca (Costa *et al.*, 1979). As datações nestes granitos tardi a pós-tectônicos permitem estimar a idade mínima do Grupo Ubajara, como sendo de ca. 580 a 560 Ma (Jardim de Sá, 1994), corroborando os dados isotópicos de Sial (1989).

2.5. SUÍTE INTRUSIVAS MUCAMBO E MERUOCA

Os granitos brasileiros intrudidos no Domínio Médio Coreaú apresentam uma relação íntima com a tectônica deste evento. Os plútons Mucambo e Meruoca são truncados a leste pelo sistema de falhas Café-Ipueiras, que separa estes granitos das rochas do Gráben de Jaibaras (Jardim de Sá *et al.*, 1979; Oliveira, 2001; Santos *et al.*, 2008a, Gorayeb *et al.*, 2014; Pedrosa Jr *et al.*, 2015) e ambos intrudem as rochas do Grupo Ubajara.

O Granito Mucambo é composto por granodiorito a quartzo monzonito porfirítico, quartzo sienito e hornblenda-biotita granito (Santos *et al.*, 2008a), com

assinatura geoquímica shoshonítica a cálcio-alcalina com alto teor de potássio (Oliveira, 2001). Datações Rb-Sr (Sial, 1989) e U-Pb (Santos, 1999) conferem as idades 544 ± 15 Ma e 532 ± 7 Ma para este plúton. O Granito Mucambo mostra uma auréola termal bem desenvolvida nas rochas do Grupo Ubajara, cuja mineralogia composta principalmente de biotita e andaluzita, indica uma intrusão de nível raso (Sial *et al.*, 1989).

A norte deste granito ocorre ainda o enxame de Diques Coreaú (Oliveira, 2001; Pedrosa Jr. *et al.*, 2015), com *trend* ENE-WSW, que cortam as rochas metassedimentares do Grupo Ubajara. São caracterizados petrograficamente como microgranitos a riolitos-dacitos com textura porfírica com idade de 562 ± 19 Ma (encontrada com isócrona Rb-Sr, Sial, 1989), e 523 ± 20 Ma (pelo método de evaporação Pb-Pb em zircão; Teixeira *et al.*, 2010).

O granito Meruoca, de idade mais nova (491 ± 19 Ma pelo método de isócrona Rb-Sr; Sial, 1989; e 523 ± 9 Ma, U-Pb em zircão, Archanjo *et al.*, 2009), é formado por granitos, quartzo sienitos e álcali-granitos, que apresentam granulação grossa e textura isotrópica (Sial *et al.*, 1981; Oliveira, 2001; Pedrosa Jr. *et al.*, 2015). Jardim de Sá *et al.* (1979) (e outros Costa *et al.*, 1979; Oliveira, 2001; Gorayeb *et al.*, 1988) reconheceram uma relação de contemporaneidade deste plúton com as unidades do Grupo Jaibaras, a partir da presença de seixos deste granito nas brechas polimíticas da Formação Aprazível.

2.6. GRUPO JAIBARAS

O Grupo Jaibaras foi depositado durante a implantação do gráben de mesmo nome, no final do Ciclo Brasileiro. As falhas com direção NE que delimitam o gráben são variavelmente interpretadas como normais (Oliveira, 2001; Gorayeb *et al.*, 2014; Pedrosa Jr., 2015) e/ou transcorrentes (Jardim de Sá *et al.*, 1979; Cacama *et al.*, 2015), originadas pela reativação tardi-brasiliana das estruturas profundas do LTB. A falha da borda SE do gráben trunca os milonitos da Zona de Cisalhamento de Sobral. Na borda NW, a falha Café-lpueiras coloca este grupo em contato com as unidades previamente descritas, incluindo o Grupo Ubajara e os granitos tardi a pós-tectônicos de Mucambo e Meruoca. Este grupo compreende as formações Massapê, Pacujá, Parapuí e Aprazível (Costa *et al.*, 1979).

A Formação Massapê representa a base do grupo e é caracterizada por conglomerados polimíticos compostos de clastos sub-angulares de rochas do embasamento e do Grupo Ubajara, numa matriz arcoseana. A Formação Pacujá é composta por arenitos arcoseanos micáceos, folhelhos e subordinadamente por camadas de grauvacas conglomeráticas com estratificação bem definida. A Formação Parapuí é uma suíte de rochas vulcânicas bimodais, incluindo fluxos de lava, depósitos piroclásticos, diques e soleiras sub-vulcânicas, todos intercalados ou intrusivos nas formações sotopostas. Os conglomerados, brechas polimíticas e arenitos da Formação Aprazível desenvolveram-se ao longo de falhas e relevos íngremes de um rifte, e incluem clastos das rochas da Formação Parapuí e dos corpos graníticos, demonstrando sua idade mais jovem.

O contato intrusivo das rochas deste grupo com o Granito Meruoca, e a ausência de uma auréola de contato com o Granito Mucambo, indica que o Grupo Jaibaras foi depositado no intervalo das intrusões Mucambo e Meruoca, cuja idade varia em torno de 540-520 Ma (Oliveira, 2001). Jardim de Sá *et al.* (1979), constataram que a presença de seixos do Granito Meruoca nas brechas da Formação Aprazível, indica que a intrusão do mesmo antecede ao Grupo Jaibaras, atribuindo assim, uma idade do início do cambriano a este grupo.

2.7. BACIA DO PARNAÍBA - GRUPO SERRA GRANDE

O arcabouço estratigráfico e sedimentar da Bacia do Parnaíba pode ser disposto em cinco supersequências: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea, delimitadas por discordâncias (Vaz *et al.*, 2007). A Sequência Siluriana é um ciclo transgressivo-regressivo completo e corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Serra Grande, que capeia as unidades mais antigas da área estudada, na borda NE da Bacia do Parnaíba. Este grupo é subdividido por Vaz *et al.* (2007) nas formações Ipu, Tianguá e Jaicós, que apresentam contatos concordantes entre si. A Formação Ipu apresenta arenitos com seixos, conglomerados com matriz areno-argilosa e matacões de quartzo ou quartzito e arenitos finos a grossos. A Formação Tianguá é composta por folhelhos cinza-escuros bioturbados, sideríticos e carbonáticos, arenitos finos a médios feldspáticos e intercalações de siltitos e folhelhos bioturbados e micáceos. Por fim, a unidade mais nova, Formação

Jaicós, é constituída por arenitos grossos contendo seixos angulares, mal selecionados e com estratificação cruzada ou lenticular. Um episódio de reativação pós-siluriana das falhas do Gráben de Jaibaras, com destaque para as estruturas de rejeito normal (Cacama *et al.*, 2015) resultou no abatimento dos litotipos deste grupo no interior do gráben.

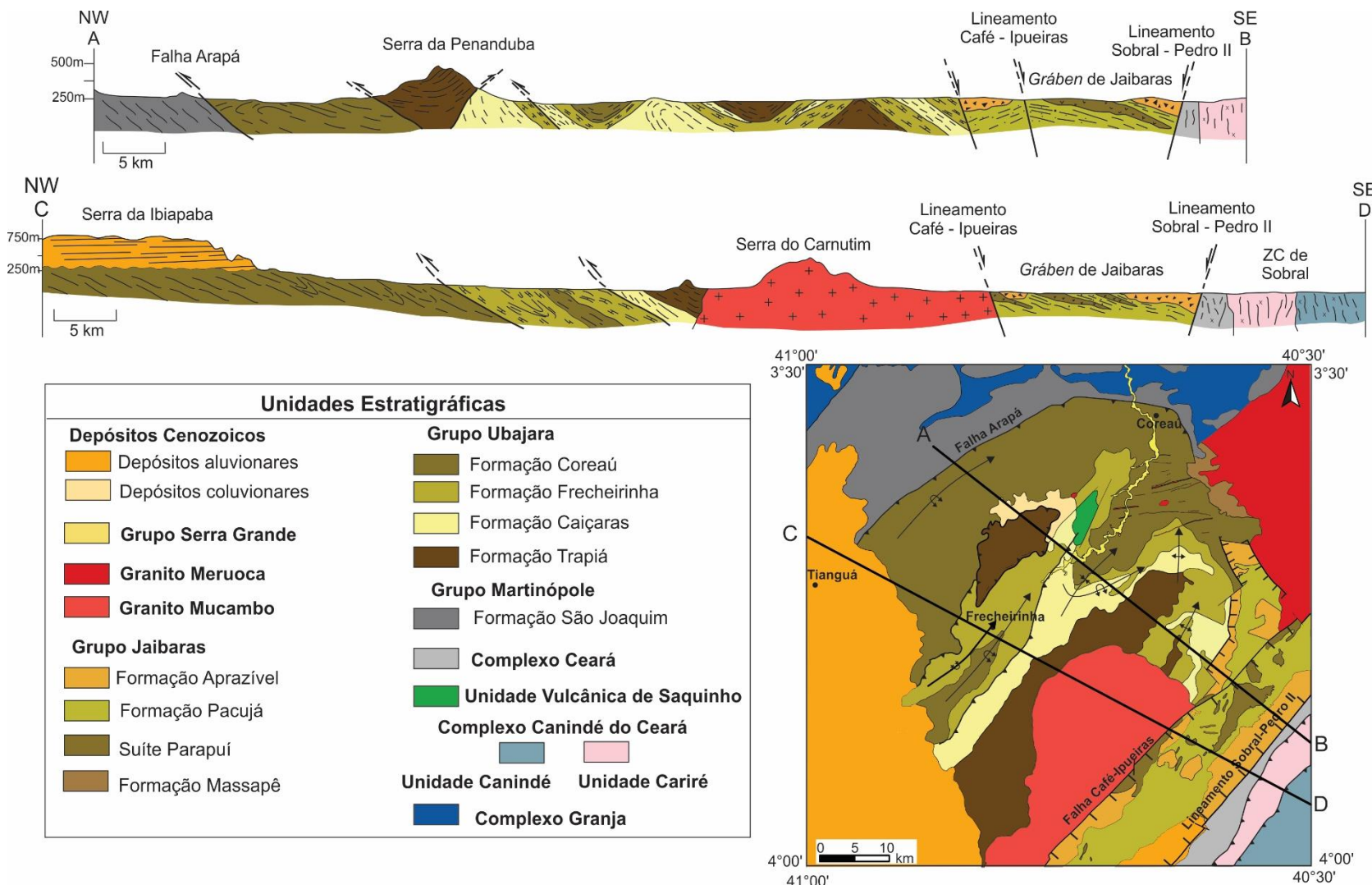


Figura 2.2 Mapa geológico e perfis do Grupo Ubajara, representando seu estilo estrutural e contatos com as unidades litoestratigráficas adjacentes (simplificado de Gorayeb et al., 2014).

CAPÍTULO 3

ARTIGO CIENTÍFICO



Estilo estrutural e contexto tectonoestratigráfico do Grupo Ubajara no NW do Ceará
Structural style and tectonostratigraphic context of the Ubajara Group in NW of Ceará

Roanny Assis de SOUZA¹, Emanuel Ferraz JARDIM DE SÁ^{1,2}, Fernando César ALVES DA SILVA^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN,

²Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN, BRASIL (emanuel@ccet.ufrn.br); (fernando@geologia.ufrn.br)

Campus Universitário – Lagoa Nova, Caixa Postal 1596, CEP 59078-970, Natal, RN, BRASIL, (34) 9 9199-3338 (roanny.assis@gmail.com)

Número de palavras: 11.086

Total de figuras: 9

RESUMO- O Grupo Ubajara é uma unidade metassedimentar neoproterozoica (ediacarana), de baixo grau metamórfico, que aflora no NW do Ceará, adjacente ao Lineamento Transbrasiliano-Kandi. Este grupo faz parte do Domínio Médio Coreaú, sendo totalmente delimitado por zonas de cisalhamento de média a baixa temperatura, nos contatos com o Grupo Martinópolis (criogeniano, deformado em *strain* mais elevado) e terrenos gnáissico-migmatíticos paleoproterozoicos, ou com o Grupo Jaibaras (ediacarana-cambriano). Este trabalho foca o estilo estrutural e as relações tectonoestratigráficas do Grupo Ubajara com as unidades adjacentes, através da interpretação de imagens de sensores remotos e a análise estrutural em meso e microescala. O grande contraste metamórfico-estrutural do Grupo Ubajara, com respeito às unidades mais antigas, bem como a ausência do registro de uma não conformidade na sua base, apontam para uma expressiva aloctonia do grupo. Seu padrão deformacional complexo foi gerado no Ciclo Brasileiro. A fase D₁ envolve dobras recumbentes a invertidas, e empurrões com vergência para NW. O evento D₂ é caracterizada por zonas transcorrentes dextrais com direção NE, foliações de alto ângulo e lineações de estiramento de baixo *rake*. O alojamento do Granito Mucambo foi controlado por esse evento. O Granito Meruoca foi alojado em estruturas transtacionais (D_{2t}), que também controlam o gráben *pull-apart* de Jaibaras e o enxame de Diques Coreaú.

PALAVRAS-CHAVE: Província Borborema, Domínio Médio Coreaú, Grupo Ubajara, Cinemática.

ABSTRACT – The Ubajara Group is a neoproterozoic (ediacaran) metasedimentary unit of low metamorphic grade that outcrops in NW Ceará, adjacent to the Transbrasilian-Kandi Lineament. This group is part of the Middle Coreaú Domain, being completely surrounded by middle to low temperature shear zones along the contacts with the Martinópolis Group (cryogenian, deformed at higher strain) and paleoproterozoic gneissic-migmatitic terrains, or with the Jaibaras Group (ediacaran-cambrian). This paper focuses on the structural style and the tectonostratigraphic relations of the Ubajara Group with other adjacent units, through the interpretation of remote sensing images and meso to microscale structural analysis. The large metamorphic-structural contrast of the Ubajara Group, as regards to the older units, as well as the lack of exposures of a basal nonconformity, point to its expressive allochthony. Its complex deformation pattern was generated in the Brazilian Cycle. D₁ phase consists of recumbent to overturned folds and NW-verging thrusts. D₂ phase is characterized by NE-trending dextral transcurrent shear zones marked by strongly dipping foliations and gently plunging stretching lineations. The emplacement of the Mucambo Granite is controlled by this event. The Meruoca Granite was emplaced in D_{2t} transtensional structures, which also control the Jaibaras pull-apart graben and the Coreaú dyke swarm.

KEYWORDS: Borborema Province, Middle Coreau Domain, Ubajara Group, Kinematics.

INTRODUÇÃO

A região NW do Ceará tem sido foco de estudos feitos por diversos autores (Caby *et al.*, 1991; Santos *et al.*, 2008a,b, 2015; Ganade de Araújo *et al.*, 2012, 2013; Pedrosa Jr. *et al.*, 2017, dentre outros; Figura 1A,B) devido ao seu complexo arranjo estrutural e tectonoestratigráfico, e a sua importância como elemento chave para as correlações com a África Ocidental. Ainda existem pendências de caracterização estrutural e cronoestratigráfica de unidades metasupracrustais neoproterozoicas, em especial o Grupo Ubajara, que ocorre adjacente ao Lineamento Transbrasiliiano (LTB). Uma feição importante a considerar é o seu contato, essencialmente alóctone, com unidades mais antigas e de mais alto grau metamórfico, como o Grupo Martinópolis e os gnaisses e migmatitos paleoproterozoicos do Complexo Granja. A subsequente implantação do Gráben de Jaibaras, no final do Ediacarano ao Cambriano, dificulta a caracterização das relações de contato entre o Grupo Ubajara, a NW do gráben, com os gnaisses miloníticos do LTB e adjacências a SE, o Domínio Ceará Central (DCC). Nesse bloco, metasupracrustais neoproterozoicas do Grupo Ceará incluem corpos eclogíticos que devem estar relacionados a uma zona de sutura (Santos *et al.*, 2008b, 2015; Ganade de Araújo *et al.*, 2012).

Na literatura, existem propostas de correlacionar o Grupo Ubajara, uma sequência metassedimentar de baixo grau metamórfico, com as unidades litotectônicas da porção externa da faixa colisional Brasileira/Pan-Africana que margeia o Cráton do Oeste Africano (Ganade de Araújo *et al.*, 2016).

No presente trabalho será abordada a caracterização do estilo estrutural e eventos deformacionais, a aloctonia do Grupo Ubajara e discussões sobre o contexto desse bloco tectônico. Para tanto, o estudo focou nas relações estruturais e estratigráficas dessa unidade, integrando com o acervo de dados e interpretações precedentes. Ao longo do texto, a nomenclatura das unidades estratigráficas ou litotectônicas citadas segue a legenda dos mapas da CPRM, ou modificações introduzidas por Ganade de Araújo *et al.* (2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo do estilo estrutural e das relações tectono-estratigráficas do Grupo Ubajara com respeito às unidades adjacentes foi realizado através da (i) integração dos dados bibliográficos, interpretação de imagem de sensor remoto e reavaliação do mapeamento geológico, com ênfase nas relações estratigráficas e estruturais, seguidos pela coleta de dados de foliações, lineações, dobras, falhas e fraturas, em campo; (ii) análise geométrica e cinemática das estruturas dúcteis e frágeis observadas no Grupo Ubajara, mas também incluindo comparações com dados do Gráben de Jaibaras, quando pertinente; (iii) correlações com idades geocronológicas de modo a estimar marcos de tempo para os diferentes eventos deformacionais; (iv) análise micropetrográfica para estimar o grau metamórfico e caracterizar o comportamento reológico e mecanismos de deformação dos litotipos do Grupo Ubajara; (v) interpretação e integração desses dados com o contexto de evolução tectono-estratigráfica do Domínio Médio Coreau.

Na interpretação de dados de sensores remotos foi utilizada imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução espacial de 90 metros, com referencial planimétrico WGS 84 (*World Geodetic System* 1984). O mapeamento das feições estruturais foi realizado com o programa ArcGis versão 10.1. Utilizando técnicas de sombreamento com pseudo-iluminação de direção azimutal 315°, foi possível identificar os principais fotolineamentos e fotolineações (ver comentários adiante) nos litotipos presentes na área.

Como base para o mapa geológico que subsidia as interpretações deste estudo, foi adotada a cartografia da Folha Frecheirinha (SA-24-Y-C-VI) (CPRM, Gorayeb *et al.*, 2014), em parte retendo a interpretação prévia do Projeto Jaibaras (Costa *et al.*, 1979). Modificações de menor porte na

cartografia geológica, bem como no modelo estrutural, foram feitas com base nos dados de campo e da interpretação de sensores remotos.

Os dados estruturais foram tratados estatisticamente nos programas *Stereonet* e *Open Stereo*, gerando diagramas estereográficos, que foram comparados para definir as diferentes fases de deformação que afetaram o Grupo Ubajara. Para os estudos microestruturais foram confeccionadas 35 lâminas petrográficas orientadas, de litotipos do Grupo Ubajara e de outras unidades da região.

O ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Borborema e o Domínio Médio Coreaú

A Província Borborema é dividida em três subprovíncias maiores, limitadas (e recortadas internamente) por grandes zonas de cisalhamento relacionadas ao ciclo orogênico Brasileiro e eventos mais antigos (Jardim de Sá, 1984, 1994; Caby *et al.*, 1991; Brito Neves *et al.*, 2001). A área estudada situa-se no Domínio Médio Coreaú (DMC; Caby & Arthaud, 1986; Arthaud *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2004, 2008a,b; Ganade de Araújo *et al.*, 2012), bordejado a SE pela Zona de Cisalhamento Transbrasiliana (ou o Lineamento Transbrasiliano, termo consagrado na literatura e também aqui utilizado), que o separa do Domínio Ceará Central (DCC). Esta região constitui uma área crítica para a correlação das estruturas brasileiras e pan-africanas, baseada na continuidade daquela mega-estrutura neoproterozoica com o Lineamento de Kandi, na África (Caby *et al.*, 1991; Brito Neves *et al.*, 2001; Cordani *et al.*, 2013; Ganade de Araújo *et al.* 2013).

Embora fragmentados pela abertura do Oceano Atlântico Equatorial, um evento colisional ao final do Neoproterozoico, envolvendo porções desses dois continentes está bem documentado, especialmente na África ocidental. Nessa região, a Faixa Dahomey-Pharusiana hospeda uma sutura colisional com o Cráton do Oeste Africano. No Brasil, o Cráton São Luís e a região que compreende a Faixa Gurupi e, na Província Borborema, a região NW do Ceará, são considerados os seus correlatos (Caby *et al.*, 1991; Arthaud *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2008b; Cordani *et al.*, 2013; Ganade de Araújo *et al.* 2013, 2016).

O Domínio Médio Coreaú compreende os gnaisses e migmatitos do Complexo Granja, paleoproterozoico, e as metasupracrustais dos grupos Martinópolis e Ubajara, de idade neoproterozoica, todos afetados por estruturas orogênicas de baixa a alta temperatura, relacionadas ao Ciclo Brasileiro. Plútons graníticos sin a tardi-colisionais (Chaval, Tucunduba, e Mucambo) são intrusivos nessas unidades. Sequências molássicas vulcanossedimentares (Grupo Jaibaras), do final do Ediacarano ao Cambriano, ocupam grábens e exibem metamorfismo incipiente. Granitos pós-colisionais (o plúton Meruoca sendo o principal) intrudem o Grupo Jaibaras e as unidades precedentes. Os trabalhos de Santos *et al.* (2004, 2008a) oferecem boas descrições dessas unidades e estruturas.

O item a seguir aborda mais especificamente o Grupo Ubajara e suas relações com as unidades adjacentes. A Figura 1A,B situa o contexto acima referido, detalhado a seguir (ver Figura 1C,D).

O Grupo Ubajara: caracterização e relações de contato com as unidades adjacentes

O Grupo Ubajara (GU), tema central deste trabalho, constitui uma sequência continental-marinha de idade ediacarana (Chigilino *et al.*, 2015). O Ciclo Brasileiro gerou nos seus litotipos um padrão deformacional complexo, com empurrões e dobras invertidas afetadas por uma segunda

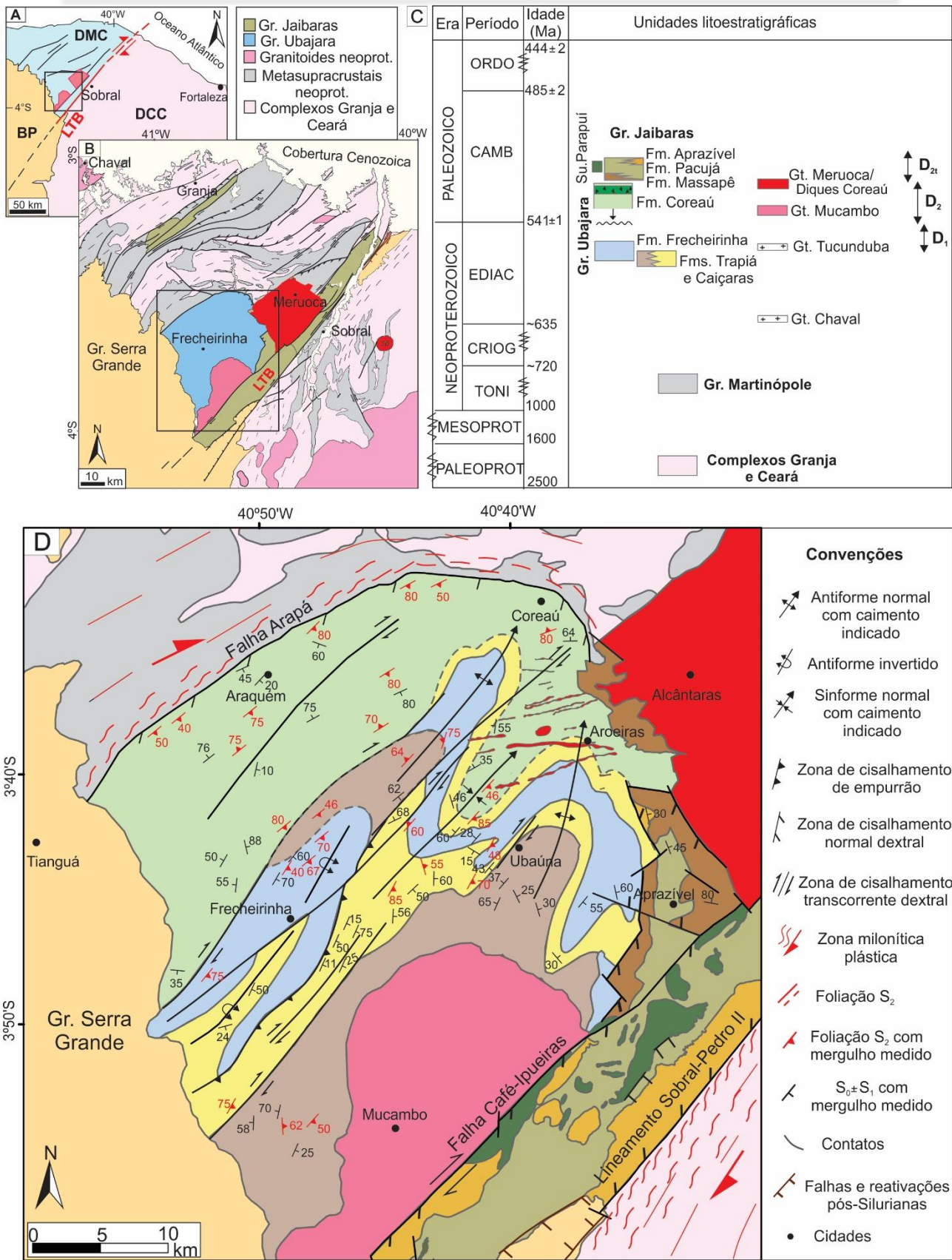


Figura 1. Localização da área de estudo. (A) Mapa geológico simplificados da Província Borborema (modificado de Delgado et al., 2003); (B) Mapa geológico simplificado do Domínio Médio Coreau (simplificado de Cacama et al., 2015); (C) Coluna estratigráfica das unidades estudadas; (D) Mapa geológico da área estudada (modificado de Gorayeb et al., 2014).

geração de dobras com plano axial verticalizado e transcorrências (Gorayeb *et al.*, 1988, 2014; Hackspacher *et al.*, 1988; Jardim de Sá, 1994; Santos *et al.*, 2004, 2008b). Esse grupo engloba, da base para o topo, as formações Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Coreaú (Costa *et al.*, 1979; Cavalcante *et al.*, 2003; Gorayeb *et al.*, 1988, 2014; ver Figura 1). Cabe mencionar que Hackspacher *et al.* (1988) e Santos *et al.* (2004, 2008b) consideram a Formação Caiçaras como a mais antiga do grupo.

A Formação Trapiá é descrita como metarenitos intercalados com metassiltitos (Gorayeb *et al.*, 2014), em contato gradacional com ardósias intercaladas com níveis de metassiltitos da Formação Caiçaras. Os metacalcários da Formação Frecheirinha ocorrem intercalados a metamargas, o que pode corresponder a um contato transicional com a Formação Caiçaras (Gorayeb *et al.*, 1988). A Formação Coreaú é composta predominantemente por metarenitos arcoseanos e metagrauvacas, com intercalações de metapelitos (Hackspacher *et al.*, 1988; Gorayeb *et al.*, 2014).

Os contatos externos do Grupo Ubajara são cartografados como falhas (Costa *et al.*, 1979; Hackspacher *et al.*, 1988; Cavalcante *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2004, 2008b; Gorayeb *et al.*, 2014; Pedrosa Jr. *et al.*, 2017), variavelmente interpretadas como empurrões ou normais, que o limitam dos grupos Martinópole e Jaibaras, bem como de gnaisses (em geral miloníticos) do Complexo Granja. O GU ainda é intrudido por dois plútons graníticos, Mucambo e Meruoca, que desenvolvem típicos *hornfels* (Costa *et al.*, 1979). O Plúton Mucambo é composto por granodiorito a quartzo monzonito, quartzo sienito e hornblenda-biotita granito. Datação U-Pb em zircão confere idade de 532 ± 7 Ma para este plúton (Santos *et al.*, 2008a).

A Falha Arapá, limite norte do Grupo Ubajara, foi interpretada como de rejeito inverso (Gorayeb *et al.*, 2014) ou normal (Gorayeb *et al.*, 1988; Santos *et al.*, 2008b; Pedrosa Jr. *et al.*, 2017), marcando o contato tectônico com as rochas do Grupo Martinópole e gnaisses do Complexo Granja.

O Grupo Martinópole compreende uma associação de rochas metamórficas da fácies xisto verde a anfíbolito (Santos *et al.*, 2004, 2008a,b). Idade U-Pb em zircão de metavulcânica ácida intercalada na Formação Santa Teresinha, de 777 ± 11 Ma, foi reportada para este grupo. Esses autores correlacionam os eventos deformacionais reconhecidos no Grupo Martinópole (e mesmo no Complexo Granja) com aqueles que afetaram o Grupo Ubajara, explicando as diferenças de grau metamórfico entre os mesmos em termos de níveis crustais em um edifício de nappes e falhas (zonas de cisalhamento) inversas, com transporte para NW. Essas estruturas transicionariam, no tempo, aos feixes de zonas transcorrentes NE dextrais, que são características do evento Brasileiro no DMC e em boa parte da Província Borborema.

A Falha Café-Ipueiras marca o limite NW do Gráben de Jaibaras, tendo o Grupo Ubajara e o Plúton Mucambo a NW da mesma. A SE, o Grupo Jaibaras é delimitado do Domínio Ceará Central pela Falha Sobral-Pedro II, que representa uma reativação tardi-brasileira do LTB (Cacama *et al.*, 2015). Essas estruturas tardias, com direção NE, foram e são descritas como falhas normais (Costa *et al.*, 1979; Jardim de Sá *et al.*, 1979; Gorayeb *et al.*, 1988, 2014; Oliveira, 2001; Pedrosa Jr. *et al.*, 2017; García, 2016, para a Falha Café-Ipueiras) ou transcorrentes (Cacama *et al.*, 2015; Destro *et al.*, 1994, com reinterpretação da idade do movimento por estes autores; García, 2016, para a Falha Sobral-Pedro II).

O Grupo Jaibaras é dividido nas formações Massapê, Pacujá, Parapuí e Aprazível (Costa *et al.*, 1979), em grande parte representando variações laterais de fácies (Jardim de Sá *et al.*, 1979; Oliveira, 2001; Parente *et al.*, 2004; García, 2016). O mesmo corresponde a uma associação de conglomerados e brechas polimíticas (formações Massapê, na seção inferior, e Aprazível, na seção superior), arenitos, pelitos (Formação Pacujá, interdigitada com as demais) e rochas vulcânicas e subvulcânicas bimodais (a Suíte Parapuí), sendo que estas podem ocorrer em diferentes níveis estratigráficos (Jardim de Sá *et al.*, 1979). Uma idade U-Pb em zircão de 536 ± 8 Ma foi obtida em riolito da Suíte Parapuí (García *et al.*, 2010). Zircões detríticos em arenito da Formação Pacujá foram datados por Ganade de Araújo *et al.* (2012). Além de uma população principal no intervalo 630-550 Ma (proveniente de granitos sintectônicos e rochas afetadas por evento Brasileiro de alto grau), o zircão mais jovem datado, em 530 ± 8 Ma, provavelmente representa um retrabalhamento erosional das vulcânicas, ou de plútons graníticos tardios.

Intrusivo no Grupo Ubajara (Formação Coreaú) e na seção inferior do Grupo Jaibaras, o Plúton Meruoca é formado por granitos, quartzo sienitos e álcali-granitos (Sial *et al.*, 1981). O mesmo foi datado por Archanjo *et al.* (2009) em 523 ± 9 Ma, pelo método U-Pb em zircão (SHRIMP). A oeste do Plúton Meruoca, a Formação Aprazível é termalmente afetada e intrudida por um enxame de diques subvulcânicos ácidos e básicos (Enxame Coreaú, de direção ENE-WSW). Esse enxame se estende em ampla área de ocorrência tanto na Formação Coreaú como nas unidades sotopostas. Microgranitos e riolitos-dacitos com textura porfirítica foram datados em 523 ± 20 Ma (Pb-Pb em zircão pelo método de evaporação; Teixeira *et al.*, 2010), coerente com o seu alojamento tardio em crosta frágil, já resfriada, como também é o caso do Plúton Meruoca. Esses vários marcos cronoestratigráficos acima citados foram incorporados na Figura 1C.

ESTRUTURAS E EVENTOS DEFORMACIONAIS NO GRUPO UBAJARA

O Grupo Ubajara e macroestruturas: dados de terreno e análise de imagem de sensor remoto

Neste artigo, o Grupo Ubajara é abordado nas escalas macroscópica e meso-microscópicas, integradas com ênfase na análise estrutural e contexto tectônico.

Na escala macroscópica, a Folha Frecheirinha (escala 1:100.000), da CPRM (Gorayeb *et al.* 2014), que incorporou boa parte do mapeamento do Projeto Jaibaras (Costa *et al.*, 1979), foi utilizada como base para compor as Figuras 1C e D. Os dados e interpretações aqui adicionados também contribuem ou trazem implicações para a continuidade da cartografia da região. Registramos inicialmente a dificuldade com a falta de registros, em afloramentos (pelo menos na oportunidade do trabalho de campo), de contatos entre as formações previamente mapeadas. Também observamos, em escala de afloramento, a frequente presença de intercalações de metapelitos em metarenitos, e vice-versa. Em adição, as feições de mapa das faixas de ocorrência das formações Trapiá e Caiçaras podem ser decorrentes de repetição estrutural (dobras recumbentes e empurrões D₁) ou interdigitação de fácies, sendo esta última favorecida na ausência de dados estruturais em contrário (ver parágrafo a seguir), o que não é um critério rígido. A presença de camadas de metamargas e de intercalações de metapelitos são sugestivas que essas interdigitações também parecem ocorrer com a Formação Frecheirinha.

A caracterização e cartografia da Formação Coreaú é a que demanda maior atenção futura, o que já se reflete na própria análise bibliográfica comparativa envolvendo os trabalhos de Hackspacher *et al.* (1988) e de Gorayeb *et al.* (1988, 2014). Especialmente na sua porção NE de ocorrência (sul de Coreaú), vários afloramentos foram avaliados como prováveis exemplos (ratificada pela assinatura estrutural; ver adiante) dos litotipos das formações Trapiá e Caiçaras, o que foi tentativamente contemplado em modificação no mapa da Figura 1D.

Na atual área cartografada da Formação Coreaú foi constatada a ocorrência, ainda não relatada na literatura, de metadiamicritos ao longo de uma faixa com direção NE que, em boa parte, acompanha a oeste a Serra de Penamduba e, mais a norte, também afloram no seu entorno. Esses metadiamicritos apresentam características que justificam a sua interpretação como tilitos: clastos de natureza e dimensões variadas (até a ordem de decímetros) e com frequentes formas facetadas, dispersos numa matriz maciça arenítica-argilosa dominante, estando intercalados ou capeados com fácies estratificadas (Figuras 2A a D). Os metassedimentos descritos por Hackspacher *et al.* (1988) na localidade Serra do Olho d'Água (a norte da Serra da Penanduba; Figuras 2E e F) são considerados como parte dessa unidade pois também apresentam seixos dispersos, facetados mas de menor tamanho, com matriz mais fina (originalmente siltosa) que varia de maciça a acamadada. Pela sua importância como marcos cronoestratigráficos, esses metadiamicritos precisam ser diferenciados, mesmo que numa cartografia preliminar, constituindo camada(s) intercaladas na Formação Coreaú ou como uma unidade distinta; os clastos observados, variados, incluem metassedimentos, gnaisses, granitos e subvulcânicas ácidas e básicas, sendo que estas últimas podem implicar em uma fonte

proximal contendo diques do Enxame Coreaú. O registro estrutural nestes metassedimentos, com ausência do evento D₁, é compatível com essa interpretação (ver adiante).

Um segundo ponto de abordagem é a caracterização (e cartografia) da “Unidade Metavulcânica de Saquinho” (Santos *et al.*, 2004, 2008b e outros). A descrição pioneira de Hackspacher *et al.* (1988) destoa da interpretação daqueles autores, provavelmente influenciada pela datação U-Pb em zircão *ca.* 1,78 Ga em uma subvulcânica, levando a definir uma sequência metavulcânica paleoproterozoica. Nossas observações de campo apontam para uma interpretação idêntica à de Hackspacher *et al.* (1988), em que corpos subvulcânicos do Enxame Coreaú encontram-se milonitizados ao longo de zonas de cisalhamento transcorrentes tardias, que imprimem nos mesmos um *fabric* SL. Por outro lado, ilustrações fotográficas de metabrechas vulcânicas (Santos *et al.*, 2004) também lembram os metadiamicritos acima referidos. Aos presentes autores, é difícil visualizar um alojamento tectônico dessa “unidade paleoproterozoica” (não existem evidências de uma discordância, no “topo” da mesma), o que deveria envolver forte deformação tangencial nela e nas encaixantes do Grupo Ubajara. A idade *ca.* 1,78 Ga reportada por aqueles autores (até agora a única nessa ordem, no âmbito aflorante do DMC) pode assinalar xenocristais de zircões nos diques ácidos Coreaú.

Uma outra área crítica é a Serra da Penamduba (a norte de Frecheirinha), para a qual existem diferentes interpretações na literatura, que em parte devem refletir a dificuldade de acesso à mesma. Os mapas de Costa *et al.*, (1979) e Gorayeb *et al.* (2014) cartografaram um corpo de metarenitos, alongado na direção NE e ocupando a porção superior mediana a superior da serra, sendo o mesmo atribuído à Formação Trapiá. Esse corpo estaria estruturado em um antiforme (Costa *et al.*, 1979) ou em um sinclinal suave interceptado por empurrões conjugados na sua borda (corte no mapa de Gorayeb *et al.*, 2014) ou ainda, na forma de um *klippe* (feição do mapa) sobreposto às formações Coreaú, Frecheirinha e Caiçaras. Uma interpretação alternativa é a de Hackspacher *et al.* (1988), que correlacionaram arenitos e conglomerados subhorizontais, no topo daquela serra, ao Grupo Serra Grande (Formação Ipu), que neste caso repousaria em não conformidade sobre as formações do Grupo Ubajara, acima citadas. Observações em imagens *Google Earth* não permitiram identificar feições geomorfológicas características do Grupo Serra Grande, o que não invalida a ocorrência de remanescentes erosionais de menor porte. Na falta de dados próprios (em especial, de campo) e reconhecendo a necessidade de novos trabalhos, optamos na Figura 1 por adotar uma interpretação modificada em relação às precedentes, coerente com os resultados aqui apresentados, na forma de um contato por zona de cisalhamento transcorrente na borda oeste do citado corpo (ver adiante).

O presente trabalho fez uso da análise de produtos de sensores remotos (SRTM e *Google*) e sua integração com a cartografia existente e os novos dados de campo obtidos, integrados na Figura 1. Os *fotolineamentos* observados na imagem (Figura 3) possuem comprimentos que variam de 60 (bordas do Gráben de Jaibaras) a 5 km, e correspondem a estruturas descontínuas, frágeis ou dúcteis-frágeis, tais como falhas (ou zonas de cisalhamento de média a baixa temperatura), fraturas e diques. Neste caso, os fotolineamentos possuem orientação, dimensões e uma localização bem definida, correspondendo a bandas estreitas, na faixa de até centena(s) de metros. Já as *fotolineações* correspondem ao *fabric* do substrato metamórfico (Grupo Ubajara e unidades mais antigas, adjacentes), incluindo zonas de cisalhamento plásticas, sendo mapeadas, neste caso, as variações no *trend* e adensamento dessas estruturas. Os traços de foliações S exibem padrões curvilíneos, enquanto que os planos C são retilíneos, indicando o alto mergulho dessas estruturas. A largura aflorante das mesmas pode compor uma “banda C” (domínio de alto *strain*, milonítico, com as duas fotolineações subparalelas e muito penetrativas) com largura aflorante de centena(s) de metros até 20 km, esta última sendo uma estimativa para a banda, ou o “volume C”, neste trecho do Lineamento Transbrasiliiano (ou a da “Zona de cisalhamento de Sobral”).

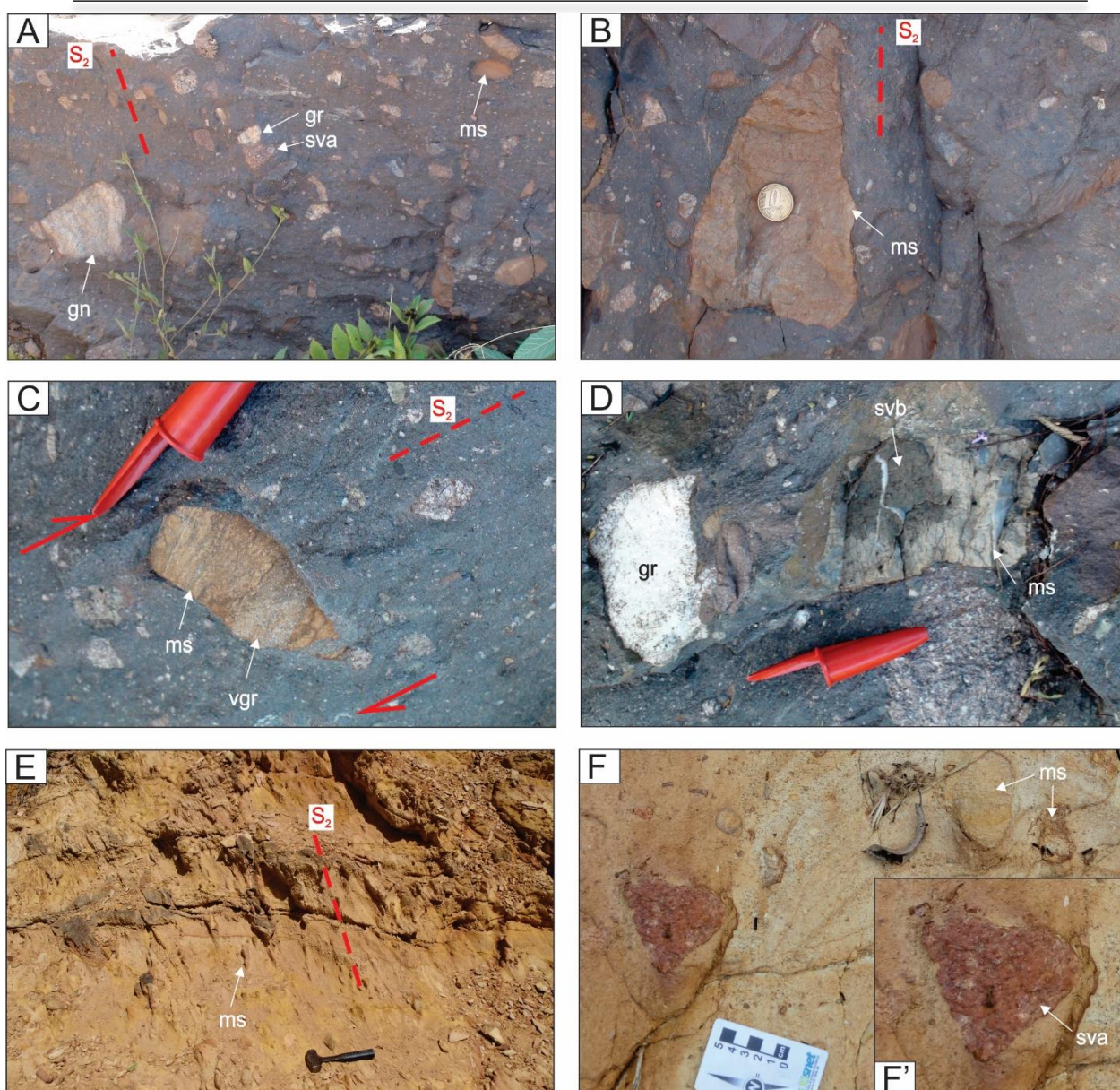


Figura 2. Aspectos mesoscópicos dos metadiamicctitos da Formação Coreaú. (A a D) Metadiamicctitos com matriz maciça e originalmente areno-argilosa a microconglomerática, afetada pela foliação S_2 (trama de finas micas e clastos menores orientados). Observar o arcabouço caótico (podendo exibir uma foliação superposta, que reorienta os clastos e minerais da matriz; Figura 2A,C,D) e a abundância de clastos facetados nas fotos (oeste da Serra da Penanduba). Em Olho d'Água do Caboclo, observar a matriz com foliação de mergulho forte bem marcada (E), originalmente com maior proporção de argilas e acamamento presente. Notar a menor quantidade e dimensões dos clastos (mas ainda com exemplos facetados, de dimensão decimétrica; em F observar clasto de subvulcânica). Pequenos clastos de quartzo e de feldspatos de origem vulcânica são comuns na matriz (visíveis nas fotos C e D e adiante, na Figura 6E). gr = granito, sva = subvulcânica ácida, ms = metassedimento, gn = gnaíse, vgr = veio de granito, svb = subvulcânica básica.

Esse traçado de macroestruturas, incluindo interpretações ou modificações aqui propostas, abrange principalmente as zonas de cisalhamento nos contatos e internamente no Grupo Ubajara, que são descritas adiante. Com apoio dos dados de campo, esses lineamentos mais retilíneos e contínuos correspondem às estruturas transcorrentes (com componentes de rejeito de mergulho) D_2 e/ou D_{2t} , assim identificadas na próxima seção. Os empurrões e dobras D_1 (em parte, também as macrodobras D_2), observadas em afloramentos do Grupo Ubajara (cartografados na Figura 1 e mapas prévios na

literatura), não são realçados na imagem. Ao oposto, os metassedimentos da Formação São Joaquim (Grupo Martinópolis), mais a norte, exibem expressivas macrodobras.

O principal fotolineamento observado na imagem (Figura 3, indicado por setas de cor laranja) apresenta *trend* NE-SW, atingindo até 60 km de comprimento e está situado no quadrante SE da área de estudo, correspondendo à expressão tardia (a Falha de Sobral-Pedro II) do Lineamento Transbrasiliano. Afastando-se da falha da borda SE do Gráben de Jaibaras (bloco A), o estágio principal do LTB (indicado na Figura 3 pela seta vermelha com sentido de movimento dextral) corresponde a uma banda de milonitos e ultramilonitos representando um “volume C”, com largura aflorante de ordem quilométrica e tendo como protólitos os gnaisses paleo e neoproterozoicos do Domínio Ceará Central (bloco B1). A leste/SE dessa banda, os gnaisses exibem menor *strain* (sin-LTB) e a foliação principal (ou mais jovem) nos mesmos se encurva gradativamente até assumir orientação NNE, assim correspondendo a uma foliação S (traços curtos na Figura 3) e um par S-C que evidencia a cinemática transcorrente dextral; essa cinemática é suportada pelo baixo *rake* observado em campo nas lineações de estiramento. Este é o registro típico do estágio tardi a pós-colisional do Ciclo Brasileiro no NW do Ceará e em boa parte da Província Borborema, ainda em alta temperatura (fácies anfíbolito a granulito; Ganade de Araújo *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2013).

De modo restrito, esses milonitos plásticos (retrabalhados por tramas cataclásticas) também foram observados próximos à falha da borda NW do gráben *pull-apart* de Jaibaras. O Grupo Ubajara (C) e o Granito Mucambo (D, intrusivo nos milonitos) fazem parte desse bloco a NW do gráben. Em campo, as estruturas que delimitam o Gráben de Jaibaras (setas laranja na Figura 3) se caracterizam por faixas de menor espessura aflorante, na ordem de dezena(s) a centena de metros. As mesmas correspondem a zonas de cisalhamento de baixa temperatura (dúcteis-frágeis), ou mesmo falhas, de rejeito oblíquo com componentes normal e direcional dextral (Cacama *et al.*, 2015). A falha da borda SE do gráben é denominada de Sobral-Pedro II e a da borda NW é denominada de Café-Ipueira, termos usuais na literatura da região (Gorayeb *et al.*, 2014, entre outros).

Seguindo o eixo do gráben mais a sul/SW, já na Bacia do Parnaíba, lineamentos em continuidade (setas laranja tracejadas) representam reativações na sua cobertura paleozoica, na forma de transcorrências dextrais pós-Devoniano e falhas normais do Eocretáceo (Cacama *et al.* 2015).

Na porção setentrional da imagem (bloco B2, a norte do Grupo Ubajara e do Plúton Meruoca), ocorrem cristas topográficas proeminentes que correspondem aos quartzitos e micaxistos da Formação São Joaquim (Grupo Martinópolis), afetados por empurrões envolvendo os gnaisses do Complexo Granja (Santos *et al.*, 2004, 2008b; Gorayeb *et al.*, 2014; Figura 1B). Essas cristas, e os traços das fotolineações acompanhantes, exibem direção NE combinada a um traçado curvilíneo que inflete até a direção E-W. Dados de campo ratificam a importância de milonitos de média a alta temperatura (fácies anfíbolito, comumente recortados por faixas estreitas, retrometamórficas), com cinemática transcorrente dextral, acompanhando o traçado curvilíneo imediatamente a norte do limite com o Grupo Ubajara.

Na sua borda norte, o Grupo Ubajara é delimitado, dos milonitos de mais alta temperatura, por um fotolineamento NE (indicado por setas amarelas na Figura 3) com cerca de 35 km de comprimento, exibindo mudança, próximo à cidade de Coreaú, para uma terminação curvilínea NW a qual parece se conectar com a borda do Granito Meruoca. Este fotolineamento corresponde à Falha de Arapá (Costa *et al.*, 1979; Gorayeb *et al.*, 2014) e marca o contato tectônico da Formação Coreaú (Grupo Ubajara) com os litotipos mais antigos do substrato cristalino (gnaisse Granja e metassedimentos da Formação São Joaquim). Essa estrutura é caracterizada em campo como uma zona de cisalhamento dúctil-frágil de rejeito normal dextral, de baixa temperatura; comumente, esse estágio de movimentação tardia retrabalha os milonitos transcorrentes de fácies anfíbolito a xisto verde, à semelhança do que ocorre nas bordas do Gráben de Jaibaras (Figura 1D).

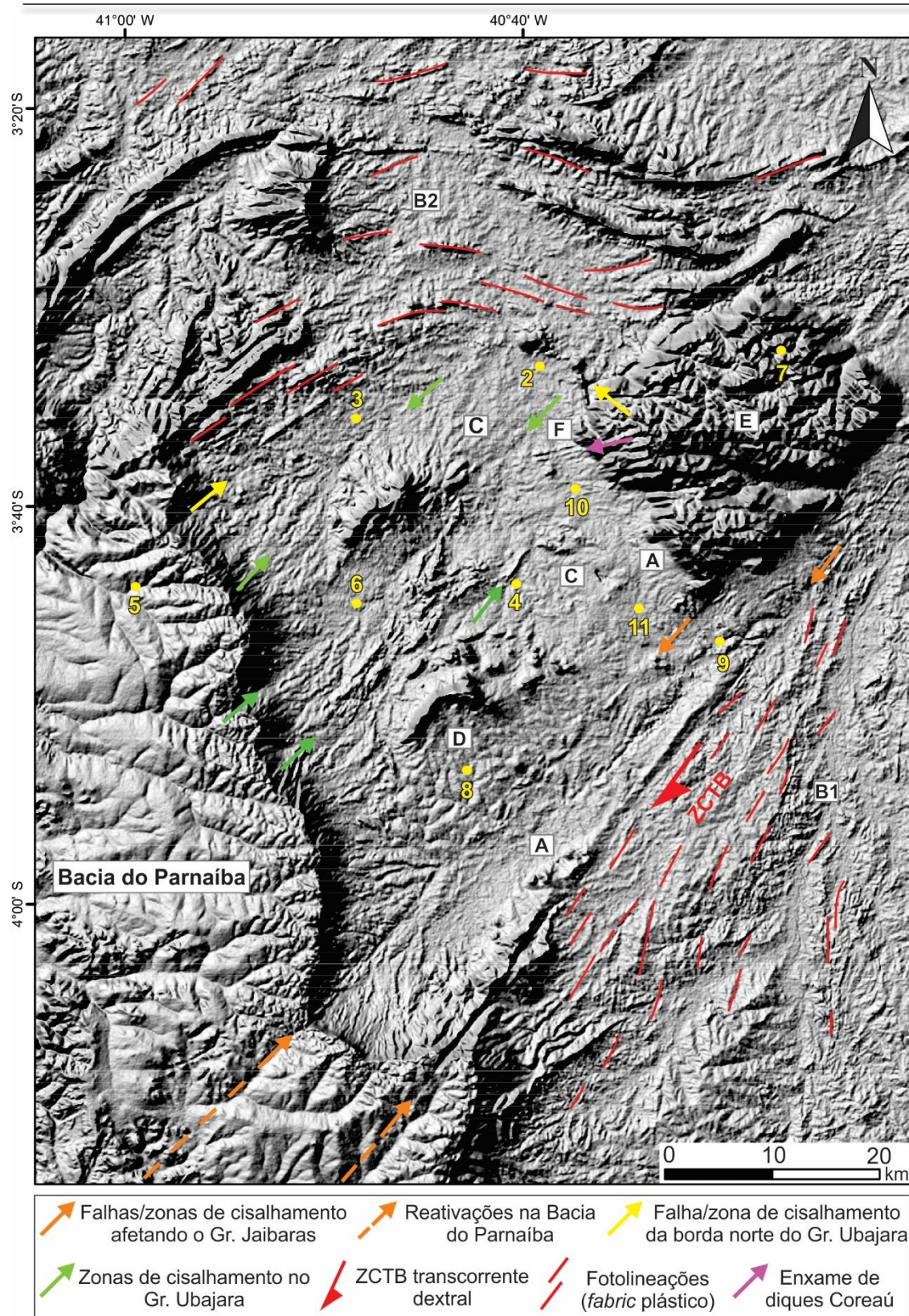


Figura 3. Imagem SRTM de relevo sombreado com iluminação proveniente de NW, no Domínio Médio Coreaú (NW do Ceará) e adjacências do Domínio Ceará Central. Blocos tectonoestratigráficos: A, Grupo Jaibaras; B, Terrenos gnáissico-migmatíticos (B1, Complexo Ceará) paleo e neoproterozoicos; B2, Complexo Granja e Grupo Martinópole/Formação São Joaquim); C, Grupo Ubajara; D, Granito Mucambo; E, Granito Meruoca; F - Enxame de diques Coreaú. Cidades: 1 Sobral, 2 Coreaú, 3 Araquém, 4 Ubaúna, 5 Tianguá, 6 Frecheirinha, 7 Meruoca, 8 Mucambo, 9, Jaibaras, 10, Aroeiras, 11, Aprazível.

Outros fotolineamentos da família NE são observados internamente ao Grupo Ubajara (bloco C na Figura 3), entre as cidades de Ubaúna e Araquém, sendo que pelo menos um destes corresponde, nos mapas prévios e pelos dados de campo coletados, a uma zona de cisalhamento com cinemática de empurrão e transporte do teto para NW. Os demais, mais retilíneos e aqui denominados (de norte/NW para sul/SE) de zonas de cisalhamento de Araquém, Frecheirinha (a mais importante, que no sentido NE reveza com outros segmentos; ver setas verdes), NW de Mucambo e Ubaúna (esta última, de menor porte), apresentam cinemática transcorrente dextral (ver seções sobre os eventos D_2 e D_{2t}).

Na porção centro-leste da imagem interpretada, o Grupo Ubajara é intrudido pelos granitos Mucambo e Meruoca (respectivamente D e E na Figura 3), sendo estes limitados por alguns dos fotolineamentos descritos, de direção NE-SW. O Granito Meruoca é interpretado como mais jovem face à sua forma poligonal, controlada por falhas/fraturas, sem evidência de deformação plástica e com feições intrusivas na seção inferior do Grupo Jaibaras. O Plúton Mucambo é intrusivo no Grupo Ubajara e exibe uma forma em chifre, com indicadores mesoscópicos de fluxo viscoso (ou mais localizado, plástico) que denunciam a cinemática dextral na zona de cisalhamento dúctil-frágil na sua borda SE (também assinalada por seta laranja). Diques ENE a E-W, de granitos subvulcânicos e diabásios (F, exemplificados pela seta de cor magenta), com até 5 km de comprimento cada, estão alojados na seção inferior do Grupo Jaibaras (depocentro com *trend* NNW, na borda do Granito Meruoca) e no Grupo Ubajara, sendo coerentes com a cinemática dextral da zona de cisalhamento de Frecheirinha (e as demais da região), na qual ocupam, e nela são mais expressivos, a terminação distensional dessa estrutura (ver também as Figuras 8B e C). Correspondem ao enxame designado de Coreaú (Costa *et al.*, 1979; termo mais encontrado na literatura) ou Aroeiras (Gorayeb *et al.*, 2014).

Os mapas da região (Gorayeb *et al.*, 2014 e Costa *et al.*, 1979, incorporados com modificações na Figura 1) evidenciam macrodobras (inclinadas ou invertidas com caimento) cujos traços de charneiras estão orientados NE a N-S (este último a NE de Ubaúna). As dobras com superfícies axiais de alto a médio ângulo podem ser explicadas no contexto da tectônica transcorrente a transpressional dextral, particularmente controladas pelas zonas de cisalhamento de Frecheirinha e correlatas, bem como pelo estágio evolutivo representado pelos milonitos de fácies xisto verde a anfíbolito, ao longo do LTB.

Análise estrutural geométrica-cinemática e eventos deformacionais no Grupo Ubajara

A análise das relações de campo incluiu foliações (superfícies S e C), lineações (L^B , L^X), dobras, falhas e juntas de distensão, caracterizadas do ponto de vista geométrico e cinemático e, a seguir, correlacionadas entre si e com base nos dados microestruturais e potenciais marcadores cronológicos (síntese e modelo nas Figuras 1C e 9), tais como discordâncias, unidades litoestratigráficas ou rochas ígneas datadas, macroestruturas e contexto tectônico; contatos alóctones também foram considerados neste procedimento. Na área de estudo foram reconhecidos, no Grupo Ubajara, dois eventos deformacionais e um estágio tardio do segundo, referidos como D_1 , D_2 e D_{2t} . Cabe apontar que algumas estruturas (dobras e foliações, mais localizadas) destoam dos modelos principais aqui descritos e devem ser adicionalmente investigadas; hipoteticamente, poderiam ser correlatas a uma reativação sinistral de provável idade ordoviciano, descrita por Amaral *et al.* (2017). Eventos mais antigos, nos blocos gnáissico-migmatíticos e no Grupo Martinópole (Santos *et al.*, 2004, 2008b), não serão aqui abordados. O registro estrutural nos granitos Mucambo e Meruoca limita-se aos eventos D_2 e/ou D_{2t} , tal como nos diques Coreaú. Este também parece ser o caso, pelo menos em sua maior parte, dos afloramentos estudados (e assim cartografados) da Formação Coreaú, lembrando que, na seção precedente, foram reportadas dificuldades na caracterização e mapeamento desta unidade.

O evento deformacional D_1

O primeiro evento deformacional que afetou o Grupo Ubajara é caracterizado principalmente

por estruturas dúcteis contracionais, expressas por dobras e empurrões (Figuras 4A a C) com transporte tectônico para NW, indicado por estruturas S-C (Figura 5A) e boudins sigmoidais ou rotacionais. Neste evento foram geradas dobras originalmente invertidas a recumbentes (Figuras 5B e C), fechadas a apertadas, ou mesmo isoclinais em zonas de alto *strain* (empurrões C_1). Os perfis das dobras F_1 diagnosticam classe 1C (classificação de Ramsay, 1967), com espessamento de charneiras variando de moderado a sensível, ou mesmo com exemplos próximos da classe 2, como ilustram as fotos da Figuras 5B a D.

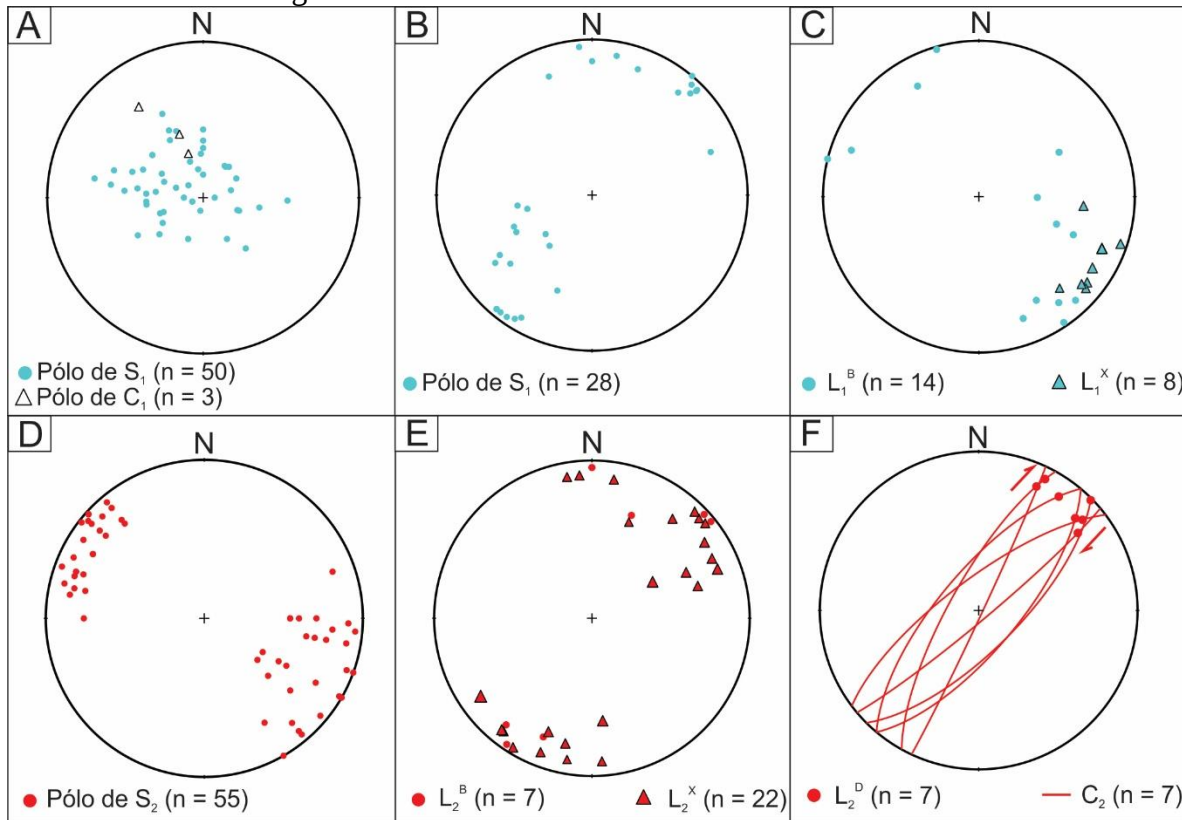


Figura 4. Projeções Lambert-Schmidt, hemisfério inferior, para as estruturas geradas nos eventos D1 e D2. (A) Projeção dos pólos da foliação S_1 , de mergulho baixo a mediano e direção variando entre NNE a ENE (com mergulhos opostos interpretados como efeito da superposição das dobras F_2) e dos empurrões C_1 com transporte para NW; (B) Projeção dos pólos da foliação S_1 de direção WNW-ESSE e mergulhos de médio a alto ângulo (dobras em rampas oblíquas ou laterais); (C) Distribuição das lineações, em especial as de estiramento (L_1^X , coincidente ou não com L_1^0), com caimento predominantemente para SE; (D) Projeção dos pólos de S_2 , com direção NE e mergulho alto; (E) Distribuição das lineações L_2^B (L_2^0 ou L_2^{0+1}) e L_2^X com *trend* NE e baixo *rake*; (F) Projeção dos planos C_2 das zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais, de *trend* NE e alto ângulo de mergulho.

Muitas vezes essas dobras apresentam eixos (e foliações) com caimento para SE (e NW subordinadamente), e lineações de estiramento subparalelas, outras vezes com eixos variando até NNW (Figuras 4A e C). A variação nas atitudes desses elementos deve refletir, pelo menos em parte, a superposição do evento subsequente, D2 (Figuras 4D e E). Por outro lado, a atitude das foliações S_1 ilustradas na Figura 4B é diferente daquelas em 4A, apresentando direção NW e mergulhos mais acentuados (ver modelo de síntese na Figura 9, adiante).

Além da influência da deformação superposta na variação da orientação dos elementos das dobras (lineações e superfícies axiais), a diferença na geometria das dobras F_1 (Figuras 4A vs. 4B) demanda considerar o controle por outros modelos geométrico-cinemáticos, tais como: (i) dobras com superfícies axiais originalmente de baixo ângulo mas com charneiras variavelmente rotacionadas em direção a L_1^X (NW), em função de gradientes da taxa de fluxo (mecanismo usual para a formação de dobras em bainha) durante o regime de cisalhamento simples contracional então vigente; (ii)

dobras F_1 invertidas ou inclinadas, apertadas, numa rampa frontal (Figura 4A), também poderiam ter sido geradas ao mesmo tempo de outras (Figura 4B), em rampa(s) oblíqua(s) das estruturas D_1 (Figura 4B e modelo na Figura 9).

Microscopicamente a foliação S_1 é marcada pelo alinhamento de calcita (caso dos metacalcários) e de quartzo, bem como por níveis de granulação mais fina ou como microbandas de solução por pressão, principalmente nos metacalcários (Figura 5D).

Ainda deve ser referida a ocorrência de dobras sindeposicionais (apertadas e originalmente “recumbentes”, restritas a camadas e níveis específicos), principalmente nos metacalcários da Formação Frecheirinha, nos quais também se observam brechas sedimentares pré- D_1 . Essas estruturas, relacionadas a processos de deslizamento gravitacional em ambiente tectonicamente instável, podem ter sido nucleadas em rampas topográficas geradas por empurrões precoces.

O evento D_1 foi registrado nas formações mais antigas do Grupo Ubajara (Trapiá, Caiçaras e Frecheirinha), mas não foi observado na Formação Coreau (ver o próximo item). Esta feição deve representar uma mudança no regime deformacional, no final da contração mas ainda controlando a deposição da Formação Coreau, para o transcorrente subsequente, deformando esta formação e as unidades sotopostas, estas já afetadas por dobras e empurrões D_1 . Essa mudança de regime deformacional pode ou deve envolver uma discordância angular na base da Formação Coreau, o que todavia não foi observado neste e em trabalhos prévios na região.

As figuras 1C e 9 ilustram as estruturas acima descritas e relações com marcos cronológicos e unidades estratigráficas.

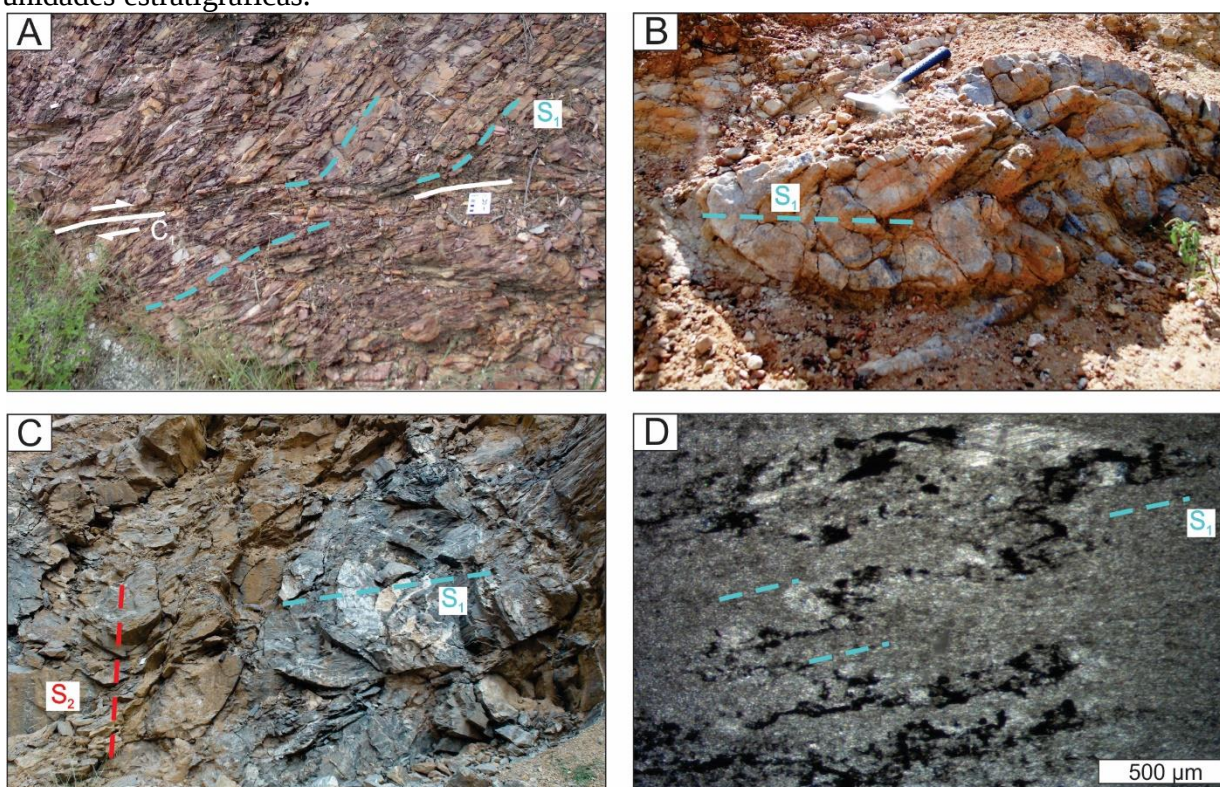


Figura 5. Estilo estrutural do evento D_1 . (A) Estrutura D_1 do tipo S-C, em metarenitos finos intercalados com metapelitos da Formação Caiçaras, indicando transporte para NW; (B) Dobra recumbente afetando metarenitos grossos da Formação Trapiá; (C) Zona de charneira F_1 de dobras recumbentes, nas exposições da Mina Votorantim, observando-se o perfil classe 1C e um padrão de interferência coaxial com dobra F_2 com superfície axial de alto ângulo; (D) Fotomicrografia de metacalcários da Formação Frecheirinha, compostos por calcita recrystalizada e níveis argilosos dobrados, com foliação S_1 marcada por microbandas de solução por pressão. A ponta do marcador ou do cabo do martelo indica o Norte.

O evento deformacional D_2

O evento D_2 é muito expressivo na área estudada e é registrado (dobras e *fabric*) em todos os litotipos do Grupo Ubajara (Figuras 4D a F, 6 e 7, além do plúton Mucambo (Figura 7C) e do enxame de diques Coreaú (7D). A cinemática deste evento é inferida tanto pelas dobras com eixo variando entre NE a NNW e lineações de estiramento subparalelas, com baixo *rake* (Figuras 4D e E, 6A a B), quanto pelas zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais de *trend* NE a NNE (Figura 2 - domínio B1 e limite com A, e domínio C; Figura 4E), com foliações S-C impressas nos metassedimentos. As dobras F_2 variam de abertas a fechadas e apresentam plano axial S_2 com mergulhos fortes a intermediários, para quadrantes opostos (Figuras 1, 4D e 6I A a D). A orientação desses planos axiais/foliações S_2 é compatível com um regime transcorrente ou mesmo transpressional (maior frequência de dobras com planos axiais NE, a mesma orientação das zonas de cisalhamento), também visualizado nas Figuras 3 e 1.

Em campo, a interferência dos dobramentos F_2 e F_1 resulta em padrões de interferência dos tipos bumerangue (Figura 6C) ou coaxial (Figura 5C), a depender da orientação original (em especial, dos eixos) das dobras F_1 (Figuras 4A e B). Em geral, as dobras F_2 exibem perfis da classe 1B a 1C (classificação de Ramsay 1967), compatíveis com uma combinação de mecanismos de *buckling* com efeito adicional de encurtamento dúctil (Figuras 6A a D) e mesmo plástico, localmente. Na Formação Coreaú as dobras F_2 afetam apenas o acamamento (S_0).

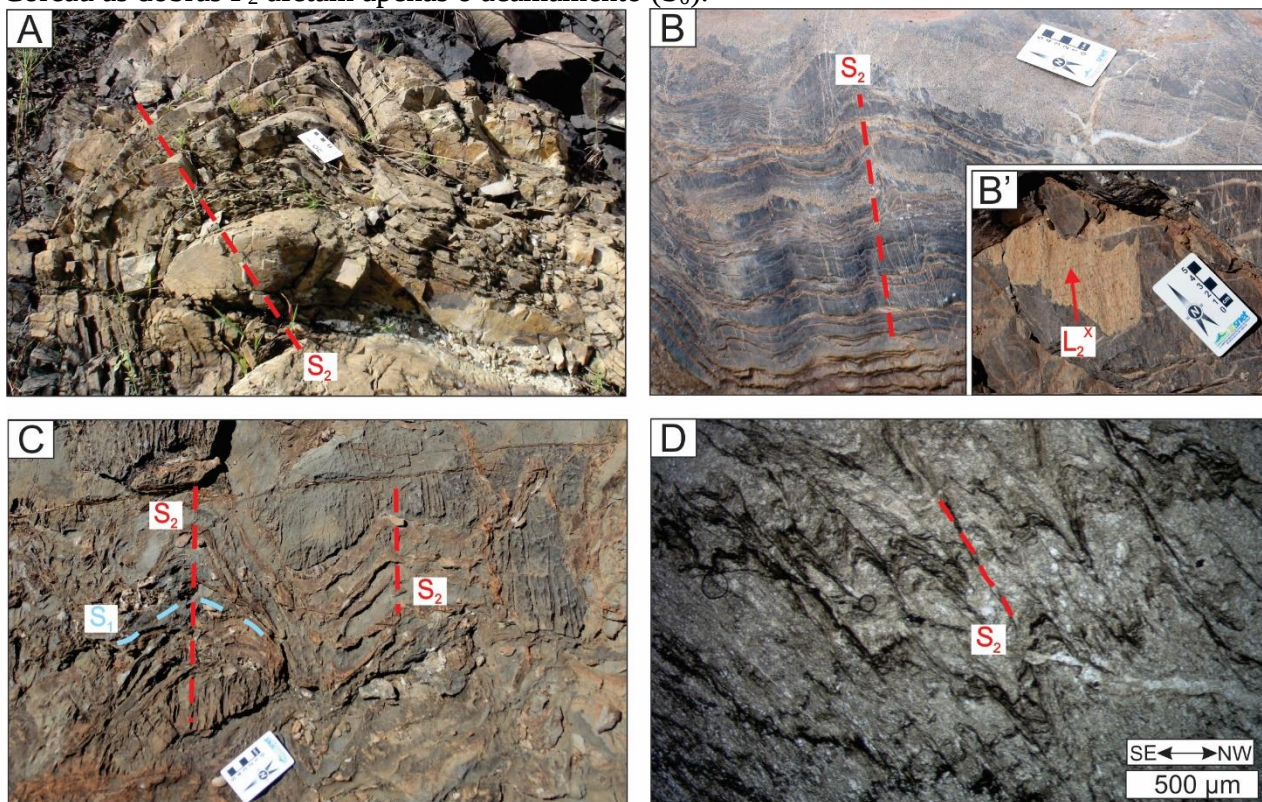


Figura 6. Estilo estrutural do evento D_2 . (A) Dobra fechada F_2 afetando a Formação Coreaú; (B) Dobras abertas F_2 na Formação Frecheirinha; no detalhe, a lineação de estiramento L_2^X , que é paralela às charneiras das dobras, ambas com suave caimento; (C) Padrão de interferência $F_2 \wedge F_1$ do tipo bumerangue, também na Formação Frecheirinha próxima às cavas da Mina Votorantim; (D) S_0 e S_1 subparalelos, dobrados com foliação S_2 marcada por microbandas de solução por pressão (clivagem de crenulação), afetando níveis margosos nos metacalcários da Formação Frecheirinha.

A presença de veios de quartzo boudinados com geometria sigmoidal e *trend* NNE em micaxistos, e de clastos rotacionais (Figura 2C) ou sigmoidais (Figura 7B), em metadiamicctitos da Formação Coreaú, corroboram a cinemática transcorrente dextral. Essa cinemática é ratificada

pela forma em chifre do Granito Mucambo (Figura 1) e pelo estiramento de enclaves durante o fluxo viscoso (magmático; Figura 7C) do plúton, indicativos de alojamento durante ou tardio a este evento.

Em microescala, S_2 é reconhecida pela orientação de micas e de clastos nos metadiamicictitos da Formação Coreaú (Figuras 2A a C, 7B), e é marcada por microbandas de solução por pressão nos metacalcários da Formação Frecheirinha (Figura 6D) e metarenitos da Formação Coreaú. Nos metadiamicictitos, os clastos podem exibir estiramento e boudinage, e alguns grãos de quartzo mostram indícios de recrystalização por rotação de subgrãos (Figura 7B).

Em alguns afloramentos de zonas de cisalhamento, metarenitos da Formação Trapiá (Figura 7A) e micaxistos da Formação Caiçaras (estes contrastam com os afloramentos mais comuns de filitos e ardósias) apresentam cristais de quartzo com granulação mais grossa e estirados, indicando deformação plástica. Os metadiamicictitos da Formação Coreaú (Figura 7B) e subvulcânicas (enxame Coreaú) miloníticas (Figura 7C) também exibem *fabric* plástico de forma localizada.

As figuras 1C e 9 ilustram as estruturas acima descritas e relações com marcos cronológicos e unidades estratigráficas.

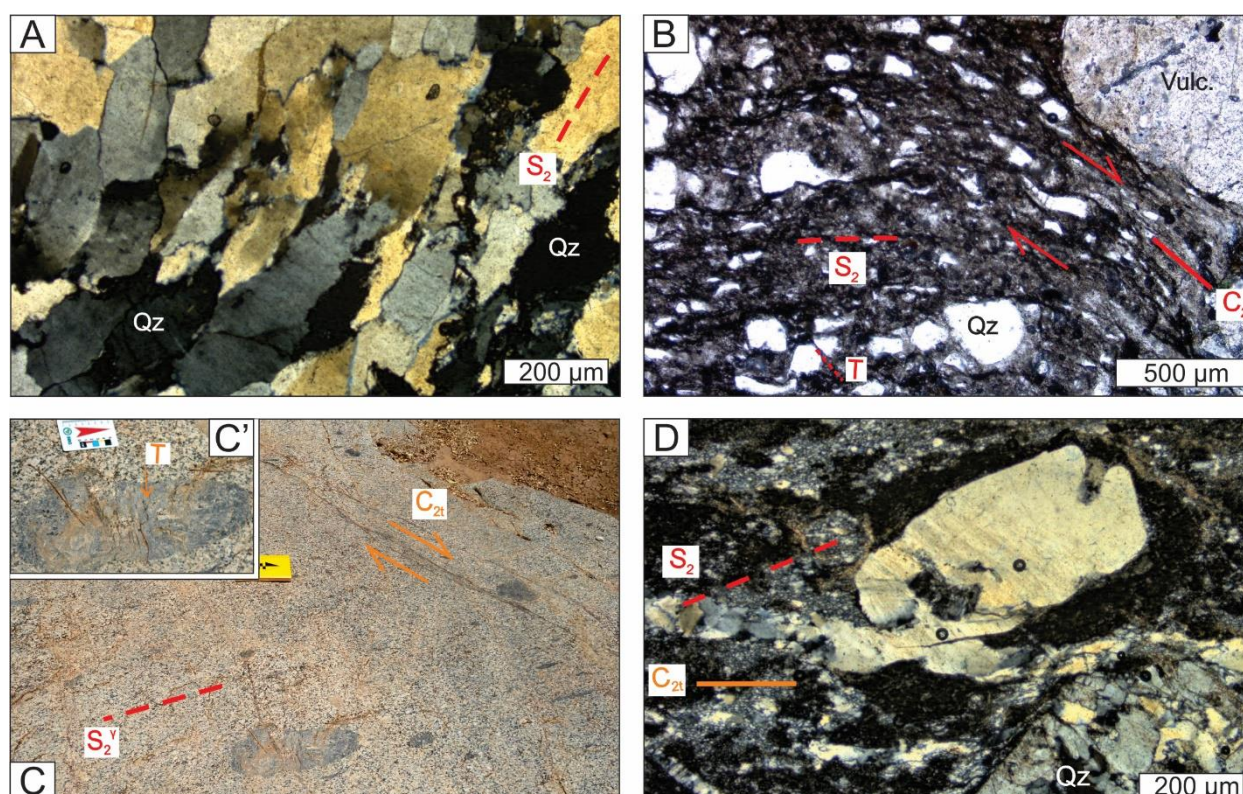


Figura 7. Estilo estrutural do evento D₂. (A) Cristais de quartzos estirados indicando deformação plástica em zona de cisalhamento C₂ que afeta metarenitos da Formação Trapiá; (B) Metadiamicictito da Formação Coreaú exibindo microzona de cisalhamento no entorno de um clasto de rocha subvulcânica. Na matriz com foliação curvilinear (S₂), observar a boudinage e fraturamento de pequenos clastos de quartzo com sombras de pressão e formas sigmoidais. Ainda na matriz observa-se uma banda oblíqua de alto *strain*, com recrystalização de quartzo, formando um par S-C dextral; (C) Enclaves magmáticos no Granito Mucambo, alongados NNE-SSW, definindo o *fabric* S₂^y e L₂^y, indicadores da cinemática de fluxo viscoso do plúton (transcorrência dextral precedendo à formação da Falha Café-Ipueiras). Observa-se ainda juntas de distensão seccionando o enclave e falha transcorrente dextral de *trend* NE, que são correlacionadas à etapa tardia D₂; (D) Cristal de quartzo subvulcânico preservando feições de embaiamento numa matriz protomilonítica (*fabric* S₂-C₂); dique ácido subvulcânico, Enxame Coreaú, alojado em juntas de distensão na terminação de uma zona de cisalhamento D₂ (ver Figura 8F e G e discussões no texto). A ponta do marcador ou do cabo do martelo indica o Norte.

A etapa tardia do evento deformacional D_2 (D_{2t})

A etapa tardia do evento D_2 foi registrada tanto no Grupo Ubajara quanto nas unidades adjacentes, os granitos Mucambo e Meruoca, o Enxame de Diques Coreau e o Grupo Jaibaras, além dos gnaisses miloníticos do LTB. Este evento corresponde a um estágio tardio de atividade desse lineamento (e de outras estruturas NE correlatas), em baixa temperatura, e tem caráter essencialmente dúctil-frágil ou frágil (Cacama *et al.*, 2015). É caracterizado por estruturas de forte mergulho, tais como falhas de rejeito oblíquo de *trend* NE-SW (Figuras 7D e 8A, B e E) integrando componentes normal e direcional dextral, com dobras de “arrasto” (propagação de falhas) associadas (Figura 8C).

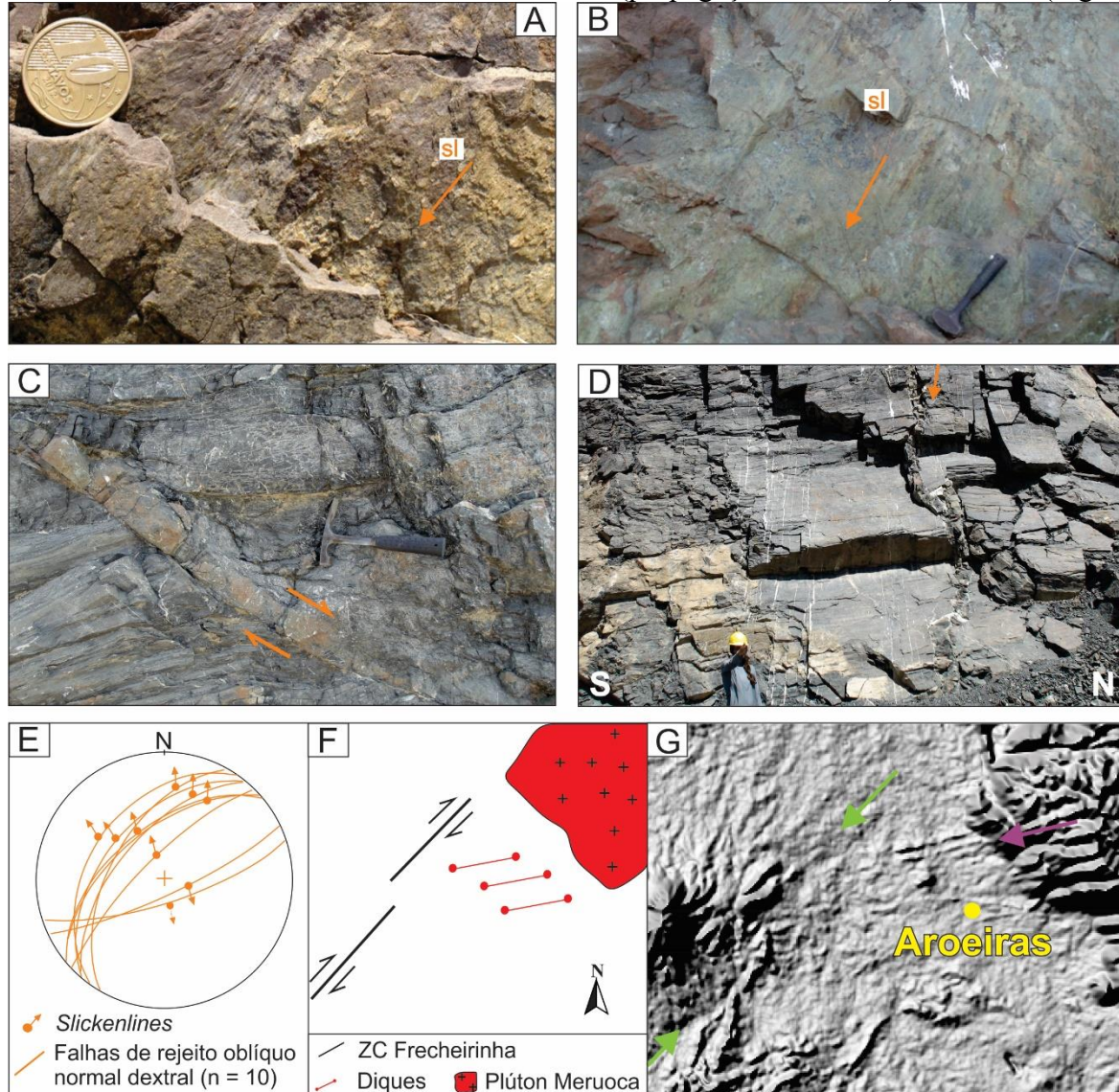


Figura 8. Estilo estrutural da etapa tardia do evento D_2 . (A) *Slickensides* silicosos-argilosos denotando rejeito oblíquo normal-dextral em plano de falha com direção NNE, afetando metarenitos da Formação Coreau; (B) *Slickensides* (finas lamelas de sericita e clorita) com *rake* oblíquo, em plano de falha normal dextral afetando sienito intrusivo no Grupo Jaibaras; (C) Plano de falha normal dextral de direção NE, afetando a Formação Frecheirinha e gerando dobra “de arrasto” (propagação de falha); (D) Veios de carbonato escalonados ou planares de alto ângulo (juntas T), dispostos ao longo de uma falha com componentes normal-dextral e direção NE-SW, mergulhando para NW. Observar ainda, à direita na foto, dique de diabásio com direção ENE (indicado pela seta); (E) Projeção de planos de falhas normais e normais dextrais com direção NE-SW, relacionadas ao evento D_{2t} ; (F) Modelo esquemático de estruturas D_{2t} em mapa; (G) Área de ocorrência do Enxame de

diques Coreaú, ampliada a partir da imagem SRTM (Figura 3). A ponta do marcador ou do martelo indica o Norte.

No Grupo Ubajara também são reconhecidas dobras contracionais suaves, com mecanismos de *buckling* envolvidos.

A cinemática dextral desta etapa pode ser reconhecida, em escala mesoscópica, por diques ácidos e básicos do Enxame Coreaú (Figura 8D), veios de carbonato (juntas T) escalonados e sigmoidais, comuns na Formação Frecheirinha (também na Figura 8D), e de quartzo em litotipos do Grupo Jaibaras e nos granitos Mucambo e Meruoca. Também são reconhecidas bandas cataclásticas e falhas normais dextrais com *trend* NE, preenchidas por veios de pseudotaquilito ou quartzo, especialmente ao longo das bordas do Gráben de Jaibaras e da Falha de Arapá, aí incluindo a Formação Coreaú, o Grupo Jaibaras e os granitos Mucambo e Meruoca, além de falhas antitéticas normais oblíquas com componente direcional sinistral e *trend* NW-SE, na Formação Frecheirinha.

Em escala macroscópica, os diques subvulcânicos do Enxame Coreaú (principalmente ácidos, mas também básicos – Figuras 8F e G) exibem direção ENE e estão concentrados em terminação dilatacional (transtraccional) da Zona de Cisalhamento de Frecheirinha, dextral, em arranjo típico de preenchimento de juntas T já assinalado por Parente *et al.* (2004). Essa estrutura encontra-se (e dela se aproxima) no alinhamento da borda NW do Plúton Meruoca, em parte definido por falha. Na região de Teodoro Salgado (sul de Coreaú), os diques são afetados por milonitização de baixa temperatura em que coexistem texturas plásticas adjacentes a microzonas de baixo *strain* com preservação de cristais de quartzo magmáticos, com golfos de corrosão, que evidenciam o protólito subvulcânico (Figura 7D), feições similares àquelas descritas por Santos *et al.* (2004). Essas relações sugerem uma etapa de resfriamento regional (contexto de D_{2t}) coexistente com sítios de temperatura um pouco mais elevada ($\sim 300\text{--}350^\circ\text{C}$, limiar de plasticidade do quartzo) ao longo de algumas das zonas de cisalhamento D_2 (no caso, a estrutura de Frecheirinha).

As figuras 1C e 9 ilustram as estruturas acima descritas e relações com marcos cronológicos e unidades estratigráficas.

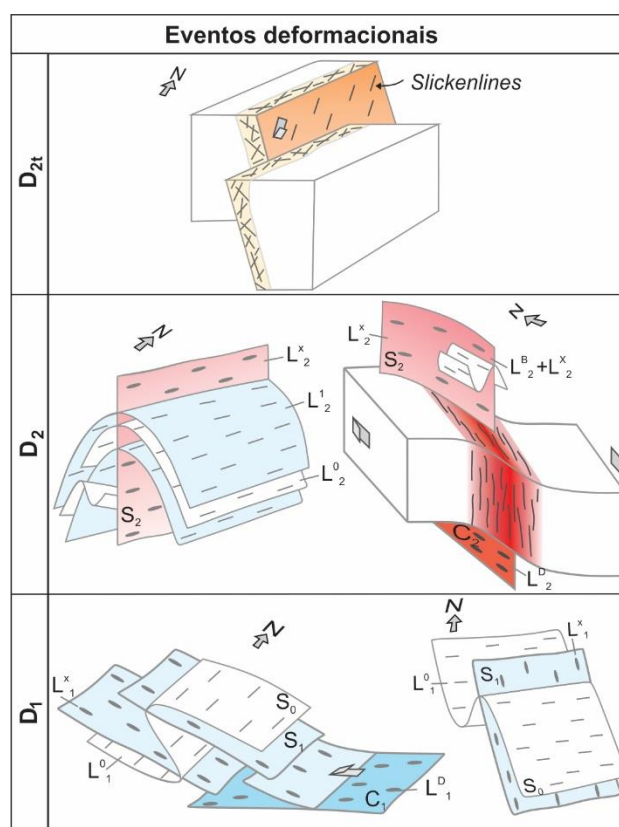


Figura 9. Estilo estrutural dos eventos deformacionais reconhecidos no Grupo Ubajara.

EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO GRUPO UBAJARA NO CONTEXTO DO DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ E O NW DO CEARÁ

Nesta seção, os resultados precedentes são discutidos no âmbito do Domínio Médio Coreaú (DMC) mas também incluindo referências aos terrenos situados a leste/SE do Lineamento Transbrasiliano (LTB) e equivalentes na região correlata da África ocidental.

A principal etapa evolutiva do DMC ocorreu no Neoproterozoico, culminando com a Orogênese Brasileira. Os protólitos supracrustais do Grupo Martinópole foram depositados no Toniano, possivelmente em contexto de bacia rifte que evoluiu a uma margem passiva atrelada à placa do Cráton do Oeste Africano (COA) durante boa parte do Neoproterozoico (800 a 650 Ma). O regime convergente das placas envolvidas na evolução do sistema Pharusiano-Dahomey-Borborema teria iniciado por volta de 800 Ma. Adjacente à região em pauta, esse registro está representado pelas rochas granitóides e ortognaisses do arco magmático de Santa Quitéria, a SE do LTB, no Domínio Ceará Central (DCC), que forneceram idades entre 750 e 630 Ma. Este intervalo marcaria um estágio maduro do arco magmático desenvolvido na placa que abrangia o Escudo Beniniano-Nigeriano e a Província Borborema (Fetter *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2008a,b; Cordani *et al.*, 2013; Ganade de Araújo *et al.*, 2012, 2016, e outros).

Segundo Santos *et al.* (2008a, b), a tectônica tangencial durante a colisão frontal entre o COA (também incluindo o Cráton de São Luís) e a Faixa Dahomey-Borborema, iniciada *ca.* 630 a 610 Ma, gerou sistemas de empurrões e nappes com transporte para NW, com metamorfismo variando de fácies xisto verde a anfibolito, no Grupo Martinópole. No mesmo evento, paragêneses das fácies anfibolito a granulito foram desenvolvidas no Complexo Granja (caracterizados por protólitos e deformação paleoproterozoica), bem como, a SE do LTB, no Domínio Ceará Central (Ganade de Araújo *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2015).

O sistema de empurrões com transporte para NW evoluiu (progressivamente, segundo Santos *et al.*, 2004, 2008b) para o regime transcorrente dextral formando diversas zonas de cisalhamento com direção variando de NE-SW a ENE, com destaque para o Lineamento Transbrasiliano (na região, a Zona de Cisalhamento de Sobral). Associados ou deformados pelas zonas transcorrentes ocorreu o alojamento de plútons sintectônicos, como o Granito Tucunduba, datado (U-Pb em zircão) em 563 ± 17 Ma (Santos *et al.*, 2008a). Gorayeb & Lima (2014) dataram zircões no plúton de Chaval pelo método Pb/Pb por evaporação, obtendo idade de 633 ± 3 Ma, sendo que uma idade precedente, em monazita, foi de 591 ± 10 Ma (Santos *et al.*, 2008a). Assim datado, este evento transcorrente em mais alta temperatura colocou em contato diferentes blocos crustais ou litosféricos, em contexto de colisão oblíqua e escape tectônico (transporte axial na cadeia orogênica), sucedâneo à colisão principal.

A SE do Lineamento Transbrasiliano, no DCC, ortognaisses com idades paleoproterozoicas (2,1 a 2,0 Ga para os protólitos) encontram-se interfoliados com paragnaisses aluminosos, kinzigitos, quartzitos e calciossilicáticas do Complexo Ceará, nos quais ocorrem corpos (lentes, *boudins*) de rochas básicas eclogíticas (Santos *et al.*, 2015). Nesta unidade, foram datados zircões detríticos em *ca.* 660 Ma, o mais jovem com 648 ± 15 Ma, além de populações na faixa de 690-800 Ma ou mais antigas (meso e paleoproterozoicas; Ganade de Araújo *et al.*, 2012).

Comparando a evolução tectônica em ambos os lados do LTB, observa-se que o evento de alto grau de idade brasileira (650 a 610 Ma, *cf.* Ganade de Araújo *et al.*, 2012, ou 620-610 Ma *cf.* Ganade de Araújo *et al.*, 2016), ao qual está relacionada uma deformação de regime contracional em um limite que evoluiu de convergente a colisional, é muito importante no DCC. Ao contrário, no DMC não foi caracterizada uma evolução semelhante e o nível crustal das deformações é mais raso, o que remete a considerar aspectos como o deslocamento de centenas de kms envolvido no LTB (Ganade de Araújo *et al.*, 2016).

O Grupo Ubajara é composto por metassedimentos de baixo grau metamórfico, interpretados como depósitos continentais e marinhos; as camadas carbonáticas exibem feições proeminentes de deformação sindeposicional (dobras e brechas), caracterizando um ambiente tectônico instável. Caby *et al.* (1991) sugeriram interpretar o Grupo Ubajara como uma molassa precoce em relação ao evento

colisional Brasileiro. Por outro lado, uma comparação com a evolução da bacia de antepaís da Faixa Brasília, em termos dos sistemas deposicionais e tilitos ediacaranos (Ulhein *et al.*, 2017), evidencia similaridades com o Grupo Ubajara.

No Grupo Ubajara, a primeira fase deformacional (D₁ neste trabalho) também é caracterizada por uma tectônica tangencial, gerando dobras recumbentes a invertidas com critérios cinemáticos de transporte para NW, em condições da fácies xisto verde ou mais baixa. D₁ afeta as três formações na porção inferior do grupo (Trapiá, Caiçaras e Frecheirinha). Esta última foi alvo de estudos bio e quimioestratigráficos (Chiglino *et al.*, 2015) que sugeriram idade ediacarana (575 a 555 Ma) para a sua deposição. Na falta de idades de zircões detríticos deste grupo, ou de algum outro marco geocronológico, o intervalo referido por aqueles autores não deve ser significativamente modificado.

O evento transcorrente designado de D₂, nesta área de estudo, afeta todos os litotipos do Grupo Ubajara, assim incluindo a unidade superior, a Formação Coreaú. A interpretação desta unidade como a mais jovem é aceita na literatura e este trabalho contribui, como argumento adicional, a ausência de estruturas D₁ na mesma. Uma faixa relativamente importante de ocorrência de metadiamicritos, com feições indicadoras de origem glacial (tilitos) e ainda não reportada na literatura, foi constatada a oeste e norte da Serra da Penanduba, no domínio cartográfico da Formação Coreaú.

O evento D₂ foi responsável pela geração de zonas de cisalhamento de alto ângulo e direção NE-SW, que apresentam foliações com mergulhos fortes, lineações de estiramento de baixo *rake* e indicadores cinemáticos que indicam sentido de movimento dextral. Bordejado a SE pela falha (zona de cisalhamento dúctil-frágil) de Café-Ipueiras, o Granito Mucambo exibe em mapa uma típica forma em chifre, dextral, e critérios cinemáticos dextrais em regime de fluxo magmático. Datação U-Pb em zircão (Santos *et al.*, 2008a) confere idade de 532 ± 7 Ma para este plúton, indicando o final da atividade de D₂ e uma idade mínima para a deposição do Grupo Ubajara.

Santos *et al.* (2004, 2008b) consideram que os eventos registrados no Grupo Ubajara são correlacionáveis àqueles que afetam o Grupo Martinópole e o Complexo Granja, apenas representando diferentes níveis crustais. Ao menos no momento, é sugestiva a repetição do mesmo estilo geométrico-cinemático em ambas as unidades. Empurrões transicionando a transcorrências possivelmente refletem partição do *strain* em um regime de colisão oblíqua, considerado por diferentes autores como um registro característico da orogênese Brasileira. Os dados geológicos (que não contestam uma não conformidade entre os dois grupos) e as datações geocronológicas disponíveis ainda deixam margem a questionamentos. Todavia, as idades dos plútons Chaval e Tucunduba, considerados sintectônicos às transcorrências em fácies anfibolito (Santos *et al.*, 2008a; Gorayeb & Lima, 2014), são significativamente mais antigas que o intervalo estimado para a deposição do Grupo Ubajara (Figura 1C). Deste modo, pode ser visualizado que, na continuidade do processo colisional oblíquo em estágio tardi-colisão, esse estilo estrutural poderia ser repetido em diferentes intervalos evolutivos.

Em termos de ambiente tectônico, o tipo de sedimentação (continental-marinha, incluindo tilitos) em ambiente tectonicamente instável, e o registro de estruturas contracionais com transporte para NW, constituem argumentos para visualizar uma “bacia de antepaís” em contexto de convergência oblíqua e no interior do orógeno (e não em uma margem cratônica), com evolução de fácies plataformais (Trapiá-Caiçaras e Frecheirinha) a um sistema continental que inclui turbiditos e influência glacial (Coreaú).

Deve ser ressaltado que a atual conformação do Grupo Ubajara reflete um posicionamento alóctone, controlado pelos eventos D₁ e D₂. Estruturas dúcteis-frágeis, aqui designadas de D_{2t}, concluíram essa aloctonia envolvendo uma cinemática de rejeito oblíquo, dextral normal, que condiciona a borda norte do Grupo Ubajara (Falha de Arapá). A atual área aflorante desse grupo tem a geometria de um sítio transtraccional (também um *graben pull-apart* precedente ao de Jaibaras), que embutiu e preservou parte da “Bacia Ubajara”.

O final do Ciclo Brasileiro é marcado pela formação de depocentros e deposição de sequências molássicas com intercalações vulcânicas, e os pulsos finais de magmatismo intrusivo. O Gráben de Jaibaras e, mais a norte (próximo a Granja), o similar de Jaguarapi, são qualificados como

bacias ou grábens *pull-apart*, associadas ao evento D_{2t}. Considera-se que esse “evento” constitui um estágio evolutivo tardio das faixas miloníticas transcorrentes do evento D₂, sendo o LTB/Zona de cisalhamento de Sobral a principal delas.

A deposição do Grupo Jaibaras, e a implantação do gráben, são datados (geocronologia e dados paleontológicos; Barroso *et al.* 2014) como do final do Ediacarano ao Cambriano. García *et al.* (2010) obtiveram a idade de 536±8 Ma (U-Pb em zircões) para um riolito da Suíte Parapuú. O granito Meruoca, datado de 523±9 Ma (U-Pb em zircão SHRIMP; Archanjo *et al.*, 2009), foi alojado durante o evento D_{2t}, parcialmente concomitante à deposição do Grupo Jaibaras (Jardim de Sá *et al.*, 1979; Oliveira, 2001) e ao alojamento dos diques Coreau. Zircões de um desses diques também foram datados pelo método Pb/Pb por evaporação, em 523±20 Ma (Teixeira *et al.*, 2010).

Todas essas datações (e aquela do granito tardi-tectônico de Mucambo) são idades mínimas para a deposição do Grupo Ubajara e para os eventos deformacionais D₁ e D₂. Todavia, deve ser ressaltado uma aparente sobreposição de intervalos de deposição entre a Formação Coreau de um lado, e o Grupo Jaibaras e o magmatismo tardio (Plúton Meruoca e Enxame de diques Coreau) de outro. Além de resultados conflitantes de datações em rochas ígneas, essa sobreposição é estabelecida pela ocorrência de clastos dessas rochas subvulcânicas (alojadas em crosta fria) nos metadiamicritos da Formação Coreau, afetados por deformação dúctil que localmente envolve o comportamento plástico do quartzo. Esta situação deve envolver um contexto de eventos rápidos de exumação tectônica (altos estruturais numa região montanhosa) e deposição em sítios subsidentes, na frente dos empurrões e/ou em bacias *pull-apart*.

Uma síntese da evolução e contexto tectônico do Grupo Ubajara pode ser obtida combinando as informações Figuras 1 e 9.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O Grupo Ubajara (GU) é uma sequência metassedimentar de baixo grau, com deformação polifásica envolvendo eventos contracionais e transcorrentes. Essa mudança de regimes é refletida na assinatura cinemática da Formação Coreau, que registra apenas as estruturas transcorrentes.

A comparação com a deformação descrita no Grupo Martinópolis, que também envolve o Complexo Granja (Santos *et al.*, 2004, 2008b), ressalta as semelhanças na evolução cinemática. Todavia, datações em granitos sintectônicos às transcorrências em fácies anfibolito sugerem que a deformação naquelas unidades é mais antiga, em comparação com a deposição do GU. É possível situar esse quadro em um contexto de convergência oblíqua envolvendo subducção e colisão, com interação de placas e terrenos hoje separados pela abertura do Atlântico Equatorial. A manutenção desse regime de convergência oblíqua, em estágio tardi-colisional, explicaria as semelhanças observadas entre estruturas de idade distinta.

O Grupo Ubajara é um corpo alóctone, feição moldada e realçada ao longo de sucessivos eventos deformacionais: contração D₁, transcorrência-transpressão D₂ e um estágio tardio, de baixa temperatura, D_{2t}, com transtação e abertura de grábens *pull-apart*, como o de Jaibaras. A deformação contracional deve ter sido de estilo pelicular, sem significativo retrabalhamento dúctil do substrato metamórfico de médio a alto grau, o qual deve incluir o Grupo Martinópolis, os milonitos plásticos do Lineamento Transbrasiliiano (LTB) e os protólitos gnáissicos dos complexos Granja e Ceará. Esse substrato poderia ter servido de embasamento para a deposição do Grupo Ubajara, mas não é conhecida uma relação de não conformidade deste com as unidades citadas, reforçando a condição de aloctonia do GU.

Também é possível propor que o GU tenha sido depositado em uma bacia contracional, tipo “antepaís”, deformada por empurrões dúcteis (nas unidades mais antigas do GU) e estruturas transcorrentes (estas também afetando a Formação Coreau) em uma cinemática de convergência oblíqua tardi-colisional. Ao invés de um antepaís cratônico, a “Bacia Ubajara” teria se desenvolvido no interior da faixa orogênica, mas ainda em conexão (“lateral”) com águas oceânicas.

O Lineamento Transbrasiliano demarca um grande contraste de *strain* e nível crustal entre as unidades justapostas, em especial o GU e as metasupracrustais do Domínio Ceará Central. Até pela sua extensão, no Brasil e África ocidental, estima-se que o LTB envolva rejeitos na escala de centenas a milhar de kms, sendo discutida a sua interpretação como um limite de placas (zona transformante, sutura oblíqua) ou uma estrutura intracontinental, sin a tardi-colisional (Cordani *et al.*, 2013; Ganade de Araújo *et al.*, 2013, 2016). O proeminente rejeito do LTB (e outras faixas miloníticas mais a norte no DMC), mesmo que apenas em sua etapa tardia (milonitos de baixa temperatura, compatíveis com a deformação do GU), provavelmente envolveu deslocamentos de menor porte, mas ainda na ordem de dezenas ou centena(s) de kms, distribuídos em um arranjo de diferentes zonas de cisalhamento subparalelas, como observado no DMC. Nestes termos, a aloctonia do Grupo Ubajara dificulta a sua correlação com unidades semelhantes na África ocidental (a possibilidade de correlação com as unidades externas da Faixa Dahomey, cuja relação geográfica com o LTB e a sutura brasileira/pan-africana não é de fácil equacionamento) ou alternativamente, com unidades mais a SW, na borda e no substrato da Bacia do Parnaíba.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a CAPES pela bolsa concedida para o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo (LGGP) pela concessão do espaço para o trabalho. Os autores agradecem ao Projeto Chevron Brasil em parceria com FUNPEC/UFRN/LGGP pelo suporte nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Amaral, W. S., Kraus, R. K., Dantas, E. L., Fuck, R. A., Pitombeira, J. P. A. (2017). Sinistral Reactivation of the Transbrasiliano Lineament: Structural and Geochronological Evidences in the Cariré Granulite Zone, Borborema Province – NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 1-12.
- Archanjo, C. J., Launeau, P., Hollanda, M. H. B. M., Macedo, J. W., Pand, L. I. U. D. (2009). Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). *International Journal Earth Science*, 98, 1793-1807.
- Arthaud, M. A., Caby, R., Fuck, R. A., Dantas, E. L., Parente, C. V. (2008) Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. *Geological Society London Special Publications*, 294, 49-67.
- Barroso, F. R. G., Viana, M. S. S., Lima Filho, M. F., Agostinho, S. M. O. (2014) First Ediacaran Funa Occurrence in Northeastern Brazil (Jaibaras Basin, Ediacaran-Cambrian): preliminary results and regional correlation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3), 1029-1042.
- Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Fetter, A. H. (2001). Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema): Ensaio comparativo e problemas de correlação. *Revista do Instituto de Geociências. Série Científica*, 1, 59-78.
- Caby, R. e Arthaud, M. H., (1986). Major Precambrian Nappes of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, 14, 871-874.
- Caby, R., Sial, A. N., Arthaud, M. H., Vauchez, A. (1991). Crustal Evolution and the Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R.D. & Lecorche, J.P. (Eds.). *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*, 373- 397. Berlin: Springer-Verlag.
- Cacama, M. S. J. B., Jardim de Sá, E. F., Alves da Silva, F. C. (2015). Assinatura Estrutural e Geofísica da Porção Norte (Fronteira Ceará-Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: Reativação na Bacia do Parnaíba. *Geologia USP, Série científica*, 15 (1), 57-72.

- Cavalcante, J. C., Vasconcelos, A. M., Medeiros, M. F., Paiva, I. G. (2003). *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. Escala 1:500.000. Fortaleza: Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará / SIG.
- Chigilino, L., Gaucher, C., Sial, A. N., Ferreira, V. P. (2015). Acritarchs of the Ediacaran Frecheirinha Formation, Ubajara Group, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 635-649.
- Cordani, U. G., Pimentel, M. M., Ganade de Araújo, C. E., Fuck, R. A. (2013). The significance of the Transbrasiliano-Kandi Tectonic Corridor for the Amalgamation of West Gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 583-597.
- Costa, M. J., França, J. B., Lins, C. A. C., Bacchiegga, I. F., Habekost, C. R., Cruz, W. B. (1979). Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão. *Projeto Jaibaras*, 5. Brasília: Brazilian Government / DNPM.
- Destro, N., Szatmari, P., Ladeira, E. A. (1994). Post Devonian Transpressional Reactivation of a Proterozoic Ductile Shear Zone in Ceará, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 16(1), 35-45.
- Fetter, A. H., Santos, T. J. S., Van Schmus, W. R., Hackspacher, P. C., Brito Neves, B. B., Arthaud, M. H., Nogueira, J. A., Wernick, E., (2003). Evidence for Neoproterozoic Continental Arcmagmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 6, 265-273.
- Ganade de Araújo, C. E. G., Cordani, U. G., Basei, M. A. S., Castro, N. A., Sato, K., Sproesser, W. M. (2012). U-Pb Detrital Zircon Provenance of Metasedimentary Rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic Implications for a longlived Neoproterozoic Active Continental Margin. *Precambrian Research*, 206-207: 36-51.
- Ganade de Araújo, C. E., Weinberg, R. F., Cordani, U. G. (2013). Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a Two-Stage Neoproterozoic Collision Process. *Terra Nova*, 0, 1-12. DOI: 10.1111/ter.12084.
- Ganade de Araújo, C. E., Cordani, U. G., Agbossoumounde, Y., Caby, R., Basei, M. A. S., Weinberg, R. F., Sato, K. (2016). Tightening-up NE Brazil and NW Africa Connections: New U-Pb/Lu-Hf Zircon Data of a Complete Plate Tectonic Cycle in the Dahomey Belt of the West Gondwana Orogen in Togo and Benin. *Precambrian Research*, 276, 24-42.
- García, L. C. R. (2016) Estilos Estruturais Relacionados à Tectônica Formadora e Deformadora da Bacia de Jaibaras, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP: 155p.
- Garcia, M. G. M., Parente, C. V., Silva Filho, W. F., Almeida, A. R. (2010). Idade do Vulcanismo Ácido da Formação Parapuí: Implicações na Estratigrafia da Bacia Eopaleozoica Jaibaras – CE. 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém: SBG. Acesso em: 15 de junho de 2018, <<http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>>.
- Gorayeb, P.S.S., Lima, A. M. M. (2014). Aspectos texturais do magmatismo e tramas da tectônica impostas ao Granito Chaval na Zona de Cisalhamento Santa Rosa, extremo Noroeste da Província Borborema. *Brazilian Journal of Geology*, 44, 653-668.
- Gorayeb, P.S.S., Abreu, F. A. M., Corrêa, J. A. M., Moura, C. A. V. (1988). Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Sequência Ubajara-Jaibaras. 35º Congresso Brasileiro de Geologia. v.6, 2678-2688. Belém: SBG.
- Gorayeb, P.S.S., Silva Junior, O. G., Santos, M. V., Moura, C. A. V., Nascimento, R. S., Vilas, R. N. (2014). *Folha Frecheirinha (AS-24-Y-C-VI)*. Escala:1:100.000. Brasília: Programa de Geologia do Brasil / CPRM.
- Hackspacher, P. C., Soares, J. S., Petta, R. A. (1988). Geologia do Grupo Ubajara, Região de Frecheirinha (CE). 35º Congresso Brasileiro de Geologia. v.6, 2661-2677. Belém: SBG.
- Jardim de Sá, E. F. (1984). A Evolução Proterozoica da Província Borborema. *Proc. XI Simposio de Geologia do Nordeste*, v.9, 297-315, Natal: SBG.

- Jardim de Sá, E. F., Hackspacher, P. C., Nogueira, A. M. B., Lins, F. A. P. L., McCreath, I., Srivastava, N. K. & Alunos da Disciplina Geologia de Campo II (1979). Observações Sobre a Estratigrafia e Sequências Ígneas da Bacia de Jaibaras, Noroeste do Ceará. 9º *Simpósio de Geologia do Nordeste*. v.7, 30-38. Natal: SBG.
- Jardim de Sá, E. F. (1994). *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira / Pan-Africana*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, UnB.
- Oliveira, D. C., (2001). Reavaliação da Evolução Tectono-Magmática do Gráben de Jaibaras (Nordeste do Brasil). *Acta Geologica Hispanica*, 36 (1-2), 53-95.
- Parente, C. V., Silva Filho, W. F., Almeida, A. R. (2004). Bacias do Estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 525-536. São Paulo: Beca.
- Pedrosa Jr., N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A., Castelo Branco, R. M. G., Almeida, A. R., Silva, N. C. V., Braga, L. R. C. (2017). Architecture of the Intracontinental Jaibaras Rift, Brazil, Based on Geophysical Data. *Journal of South American Earth Sciences*, 74, 27-40.
- Ramsay, J. G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*. New York: McGraw Hill.
- Santos, T. J. S., Amaral, W. S., Ancelmi, M. F., Pitarello, M. Z., Fuck, R. A., Dantas, E. L. (2015). U-Pb Age of the Coesite-Bearing Eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Western Gondwana Assembly. *Gondwana Research*, 28, 1183-1196.
- Santos, R. V., Oliveira, C. G., Parente, C. V., Garcia, M. G. M., Dantas, E. L. (2013). Hydrothermal Alteration Related to a Deep Mantle Source Controlled by a Cambrian Intracontinental Strike-Slip Fault: Evidence for the Meruoca Felsic Intrusion Associated with the Transbraziliano Lineament, Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 43, 33-41.
- Santos, T. J. S., Fetter, A., Hackspacher, P., Van Schmus, W. Nogueira Neto, J. (2004). Structural and Geochronological Studies of the Médio Coreaú Domain, NE Brazil: Constraints on Brasiliano/Pan-African Tectonic Evolution in the NW Part of the Borborema Province. In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackspacher, P. (Eds.) *The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America*, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 14418142, v. 17, Paper 9.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Hackspacher, P. C., Schmus, W. R. V., Nogueira Neto, J. A. (2008a). Neoproterozoic Tectonic and Magmatic episodes in the NW Sector of the Borborema Province, NE Brazil, during assembly of western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 271-284.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Neto, J. A. N. (2008b). Comparisons Between the Northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the Southwestern Pan-African Dahomey Belt, SW Central Africa. *Geological Society London Special Publications*, 294 (1), 101-120.
- Sial, A. N., Figueiredo, M. C. H., Long, L. E. (1981). Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mocambo plutons, Ceara, Northeast Brazil. *Chemical Geology*, 31, 281 -273.
- Teixeira, M. F. B., Nascimento, R. S., Gorayeb, P. S. S., Moura, C. A. V., Abreu, F. A. M. (2010). Novos Dados Geocronológicos Pb-Pb em Zircão do Feixe do Diques Aroeiras e sua Relação com o Granito Meruoca – Noroeste do Ceará. *XX Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. Belém: SBG. Acesso em: 15 de junho de 2018, <<http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>>.
- Uhlein, G. J., Uhlein, A., Stevenson, R., Halverson, G. P., Caxito, F., Cox, G. M. (2017) Early to Late Ediacaran Conglomeratic Wedges from a Complete Foreland Basin Cycle in the southwest São Francisco Craton, Bambuí Group, Brazil. *Precambrian Research*, 299: 101-116.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS



4.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Grupo Ubajara é um segmento alóctone neoproterozoico localizado à NW do Lineamento Transbrasiliano, em contato tectônico com as unidades adjacentes através de falhas oblíquas com componente normal e direcional dextral. É classificado como uma sequência fluvio-marinha de uma bacia de antepaís metamorfisada em baixo grau, composto por metarenitos (Formação Trapiá), ardósias (Formação Caiçaras), metacalcários (Formação Frecheirinha), grauvacas e metadiamictitos (Formação Coreaú) com influência glacial.

A partir da análise da imagem SRTM observou-se que o *trend* principal dos lineamentos é NE-SW, sendo o mais expressivo na área o Lineamento Transbrasiliano, que afeta as unidades do embasamento pré-cambriano a cambriano. Associado a isso, os dados estruturais obtidos em campo e a descrição de lâminas delgadas, permitiram o reconhecimento de três fases de deformação (D_1 , D_2 , D_2 tardio) afetando os litotipos do Grupo Ubajara.

Sua deformação polifásica é relacionada ao Ciclo Brasileiro, o qual, durante um estágio tardio de colisão oblíqua, gerou um regime tectônico variando de tangencial a transcorrente, com caráter dúctil-frágil. D_1 tem idade máxima ediacarana e é reconhecida por empurrões com transporte para NW e dobras recumbentes a invertidas, com foliação (S_1) de baixo ângulo variando a alto ângulo e *trend* NW-SE e lineações de estiramento (L_1^X) e interseção (L_1^B) paralelas. A tectônica transcorrente D_2 afeta todas as rochas do grupo, inclusive os tilitos da Formação Coreaú e o granito Mucambo que apresenta típica forma em chifre dextral. Sua expressão na área se dá por estruturas com *trend* NE como zonas de cisalhamento (C_2) dextrais, foliações (S_2) de mergulho quase vertical e lineações de estiramento horizontais. Sua idade máxima é ediacarana, precedente à formação do Gráben Jaibaras. A etapa tardia desse evento, D_{2t} , é caracterizada por falhas normais oblíquas com componente dextral, e afeta o Granito Meruoca e o Grupo Jaibaras, sendo responsável pela formação deste último, o que confere uma idade do final do ediacarano ao Cambriano a essa deformação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, 17, 1-29.
- Amaral, W. S., Kraus, R. K., Dantas, E. L., Fuck, R. A., Pitombeira, J. P. A. (2017). Sinistral Reactivation of the Transbrasiliano Lineament: Structural and Geochronological Evidences in the Cariré Granulite Zone, Borborema Province – NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 1-12.
- Archanjo, C. J., Launeau, P., Hollanda, M. H. B. M., Macedo, J. W., Pand, L. I. U. D. (2009). Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). *International Journal Earth Science*, 98, 1793-1807.
- Arthaud, M. A., Caby, R., Fuck, R. A., Dantas, E. L., Parente, C. V. (2008) Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. *Geological Society London Special Publications*, 294, 49-67.
- Barroso, F. R. G., Viana, M. S. S., Lima Filho, M. F., Agostinho, S. M. O. (2014) First Ediacaran Funa Occurrence in Northeastern Brazil (Jaibaras Basin, ?Ediacaran-Cambrian): preliminary results and regional correlation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(3), 1029-1042.
- Benedetti, R. C. (2012). Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Rochas Metavulcânicas Paleoproterozoicas da Unidade Saquinho: NW da Província Borborema. Monografia de Conclusão de Curso. Campinas: Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas.
- Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Fetter, A. H. (2001). Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema): Ensaio comparativo e problemas de correlação. *Revista do Instituto de Geociências, Série Científica*, 1, 59-78.
- Caby, R. e Arthaud, M. H., (1986). Major Precambrian Nappes of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, 14, 871-874.
- Caby, R., Sial, A. N., Arthaud, M. H., Vauchez, A. (1991). Crustal Evolution and the Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R.D. & Lecorche, J.P. (Eds.). *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*, 373- 397. Berlin: Springer-Verlag.
- Cacama, M. S. J. B., Jardim de Sá, E. F., Alves da Silva, F. C. (2015). Assinatura Estrutural e Geofísica da Porção Norte (Fronteira Ceará-Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: Reativação na Bacia do Parnaíba. *Geologia USP, Série científica*, 15 (1), 57-72.
- Cavalcante, J. C. & Ferreira, C. A. (1983). *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. Escala 1:150.000. Fortaleza: MME-DNPM/MI-SUDENE, Governo do Estado do Ceará / DNPM / SUDENE.
- Cavalcante, J. C., Vasconcelos, A. M., Medeiros, M. F., Paiva, I. G. (2003). *Mapa Geológico do Estado do Ceará*. Escala 1:500.000. Fortaleza: Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará / SIG.
- Chiglino, L., Gaucher, C., Sial, A. N., Ferreira, V. P. (2015). Acritarchs of the Ediacaran Frecheirinha Formation, Ubajara Group, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 635-649.
- Cordani, U. G., Pimentel, M. M., Ganade de Araújo, C. E., Fuck, R. A. (2013). The significance of the Transbrasiliano-Kandi Tectonic Corridor for the Amalgamation of West Gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 583-597.

- Costa, M. J., França, J. B., Lins, C. A. C., Bacchiegga, I. F., Habekost, C. R., Cruz, W. B. (1979). Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí e Maranhão. *Projeto Jaibaras*, 5. Brasília: Brazilian Government / DNPM.
- Delgado, I. M., Souza, J. D., Silva, L. C., Silveira Filho, N. C., Santos, R. A., Pedreira, A. J., Guimarães, J. T., Angelim, L. A. A., Vasconcelos, A. M., Gomes, I. P., Lacerda Filho, J. V., Valente, C. R., Perrotta, M. M., Heineck, C. A. (2003). Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, 227-333 Brasília: Serviço Geológico do Brasil / CPRM.
- Destro, N., Szatmari, P., Ladeira, E. A. (1994). Post Devonian Transpressional Reactivation of a Proterozoic Ductile Shear Zone in Ceará, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 16(1), 35-45.
- Fetter, A. H., Santos, T. J. S., Van Schmus, W. R., Hackspacher, P. C, Brito Neves, B. B., Arthaud, M. H., Nogueira, J. A., Wernick, E., (2003). Evidence for Neoproterozoic Continental Arcmagmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 6, 265-273.
- Fetter, A. H., Santos, T. J. S., Van Schmus, W. R., Hackspacher, P. C, Brito Neves, B. B., Arthaud, M. H., Nogueira, J. A., Wernick, E., (2003). Evidence for Neoproterozoic Continental Arcmagmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 6, 265-273.
- Ganade de Araújo, C. E. G., Cordani, U. G., Basei, M. A. S., Castro, N. A., Sato, K., Sproesser, W. M. (2012). U-Pb Detrital Zircon Provenance of Metasedimentary Rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic Implications for a longlived Neoproterozoic Active Continental Margin. *Precambrian Research*, 206-207: 36-51.
- Ganade de Araújo, C. E., Weinberg, R. F., Cordani, U. G. (2013). Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a Two-Stage Neoproterozoic Collision Process. *Terra Nova*, 0, 1-12.
DOI: 10.1111/ter.12084.
- Ganade, C. E., Cordani, U. G., Agbossoumounde, Y., Caby, R., Basei, M. A. S., Weinberg, R. F., Sato, K. (2016). Tightening-up NE Brazil and NW Africa Connections: New U-Pb/Lu-Hf Zircon Data of a Complete Plate Tectonic Cycle in the Dahomey Belt of the West Gondwana Orogen in Togo and Benin. *Precambrian Research*, 276, 24-42.
- García, L. C. R. (2016) Estilos Estruturais Relacionados à Tectônica Formadora e Deformadora da Bacia de Jaibaras, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP: 155p.
- Garcia, M. G. M., Parente, C. V., Silva Filho, W. F., Almeida, A. R. (2010). Idade do Vulcanismo Ácido da Formação Parapuí: Implicações na Estratigrafia da Bacia Eopaleozoica Jaibaras – CE. 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém: SBG. Acesso em: 15 de junho de 2018, <<http://www.sbggeo.org.br/home/pages/44>>.
- Gorayeb, P.S.S., Lima, A. M. M. (2014). Aspectos texturais do magmatismo e tramas da tectônica impostas ao Granito Chaval na Zona de Cisalhamento

- Santa Rosa, extremo Noroeste da Província Borborema. *Brazilian Journal of Geology*, 44, 653-668.
- Gorayeb, P. S. S., Abreu, F. A. M., Corrêa, J. A. M., Moura, C. A. V. (1988). Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Sequência Ubajara-Jaibaras. 35º Congresso Brasileiro de Geologia. v.6, 2678-2688. Belém: SBG.
- Gorayeb, P. S. S., Silva Junior, O. G., Santos, M. V., Moura, C. A. V., Nascimento, R. S., Vilas, R. N. N. (2014). *Folha Frecheirinha (AS-24-Y-C-VI)*. Escala:1:100.000. Brasília: Programa de Geologia do Brasil / CPRM.
- Hackspacher, P. C. Soares, J. S., Petta, R. A. (1988). Geologia do Grupo Ubajara, Região de Frecheirinha (CE). 35º Congresso Brasileiro de Geologia. v.6, 2661-2677. Belém: SBG.
- Jardim de Sá, E. F. (1984). A Evolução Proterozoica da Província Borborema. *Proc. XI Simposio de Geologia do Nordeste*, v.9, 297-315, Natal: SBG.
- Jardim de Sá, E. F., Hackspacher, P. C., Nogueira, A. M. B., Lins, F. A. P. L., McCreath, I., Srivastava, N. K. & Alunos da Disciplina Geologia de Campo II (1979). Observações Sobre a Estratigrafia e Sequências Ígneas da Bacia de Jaibaras, Noroeste do Ceará. 9º *Simpósio de Geologia do Nordeste*. v.7, 30-38. Natal: SBG.
- Jardim de Sá, E. F. (1994). *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira / Pan-Africana*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, UnB.
- Nascimento, D. A. do, e Gava, A., (1979). Novas Considerações sobre a Estratigrafia da Bacia Jaibaras. 9º *Simpósio de Geologia do Nordeste*. v. 7, 14-29. Natal: SBG.
- Oliveira, D. C., (2001). Reavaliação da Evolução Tectono-Magmática do Gráben de Jaibaras (Nordeste do Brasil). *Acta Geologica Hispanica*, 36 (1-2), 53-95.
- Parente, C. V., Silva Filho, W. F., Almeida, A. R. (2004). Bacias do Estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 525-536. São Paulo: Beca.
- Pedrosa Jr., N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A., Oliveira, K. M. L., Castelo Branco, R. M. G. (2015). Structural Framework of the Jaibaras Rift, Brazil, Based on Geophysical Data. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 318-334.
- Pedrosa Jr., N. C. (2015). *Interpretação e modelagem de dados geofísicos no estudo da Evolução Geotectônica do Rifte Jaibaras – NE do Brasil*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências - UnB.
- Pedrosa Jr., N. C., Vidotti, R. M., Fuck, R. A., Castelo Branco, R. M. G., Almeida, A. R., Silva, N. C. V., Braga, L. R. C. (2017). Architecture of the Intracontinental Jaibaras Rift, Brazil, Based on Geophysical Data. *Journal of South American Earth Sciences*, 74, 27-40.
- Ramsay, J. G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*. New York: McGraw Hill.
- Santos, T. J. S. (1993). Aspectos Geológicos de uma Área a Sudoeste de Granja, NW do Ceará. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

- Santos, T. J. S., (1999). Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Santos, T. J. S., Garcia, M. G. M., Amaral, W. S., Cabby, R., Wernick, E., Arthaud, M. H., Dantas, E. L., Santosh, M. (2009). Relics of Eclogite Fácies Assemblages in the Ceará Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, 15, 454-470.
- Santos, T. J. S. & Hackspacher, P. C. (1991). Geologia do Grupo Martinópolis, NW do Ceará. In: 37º Congresso Brasileiro de Geologia. v.1, 298-299. São Paulo: SBG.
- Santos, R. V., Oliveira, C. G., Parente, C. V., Garcia, M. G. M., Dantas, E. L. (2013). Hydrothermal Alteration Related to a Deep Mantle Source Controlled by a Cambrian Intracontinental Strike-Slip Fault: Evidence for the Meruoca Felsic Intrusion Associated with the Transbraziliano Lineament, Northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 43, 33-41.
- Santos, T. J. S., Fetter, A., Hackspacher, P., Van Schmus, W. Nogueira Neto, J. (2004). Structural and Geochronological Studies of the Médio Coreau Domain, NE Brazil: Constraints on Brasiliano/Pan-African Tectonic Evolution in the NW Part of the Borborema Province. In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackspacher, P. (Eds.) *The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America*, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 14418142, v. 17, Paper 9.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Hackspacher, P. C., Schmus, W. R. V., Nogueira Neto, J. A. (2008a). Neoproterozoic Tectonic and Magmatic episodes in the NW Sector of the Borborema Province, NE Brazil, during assembly of western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 271-284.
- Santos, T. J. S., Fetter, A. H., Neto, J. A. N. (2008b). Comparisons Between the Northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the Southwestern Pharusian Dahomey Belt, SW Central Africa. *Geological Society London Special Publications*, 294 (1), 101-120.
- Santos, T. J. S., Amaral, W. S., Ancelmi, M. F., Pitarello, M. Z., Fuck, R. A., Dantas, E. L. (2015). U-Pb Age of the Coesite-Bearing Eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Western Gondwana Assembly. *Gondwana Research*, 28, 1183-1196.
- Sial, A. N. (1989). Petrologia, Geoquímica de Elementos Maiores, Traços, Terras Raras e Isótopos (Sr, O, H, S) nos Batólitos da Meruoca e Mucambo, Ceará, Nordeste do Brasil. Tese (Livre Docência). Recife: Departamento de Geologia - UFPE.
- Sial, A. N., Figueiredo, M. C. H., Long, L. E. (1981). Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mocambo plutons, Ceara, Northeast Brazil. *Chemical Geology*, 31, 281 -273.
- Teixeira, M. F. B., Nascimento, R. S., Gorayeb, P. S. S., Moura, C. A. V., Abreu, F. A. M. (2010). Novos Dados Geocronológicos Pb-Pb em Zircão do Feixe do Diques Aroeiras e sua Relação com o Granito Meruoca – Noroeste do Ceará. *XX Congresso Brasileiro de Geologia*, 45. Belém: SBG. Acesso em: 15 de junho de 2018, <<http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>>.

- Uhlein, G. J., Ulhein, A., Stevenson, R., Halverson, G. P., Caxito, F., Cox, G. M. (2017) Early to Late Ediacaran Conglomeratic Wedges from a Complete Foreland Basin Cycle in the southwest São Francisco Craton, Bambuí Group, Brazil. *Precambrian Research*, 299: 101-116.
- Vaz, P.T.; Rezende, N.G.A.M.; Wanderley Filho, J.R.; Travassos, W.A.S. (2007). Bacia do Parnaíba. In: Milani, E.J.; Rangel, H.D.; Bueno, G.V.; Stica, J.M.; Winter, W.R.; Caixeta, J.M.; Pessoa Neto, O.C. (eds.) *Bacias sedimentares brasileiras – cartas estratigráficas*. Bol. Geoc. Petrobras, 15: 253-263p