



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – DEGEO
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

FRANCISCA ROBÊNIA FERREIRA SOARES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ARENITOS DA FORMAÇÃO IPÚ E
SERROTE SANTANA, NOROESTE DO CEARÁ, BASEADO EM DADOS
SEDIMENTARES E ISOTÓPICOS**

FORTALEZA

2017

FRANCISCA ROBÊNIA FERREIRA SOARES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ARENITOS DA FORMAÇÃO IPÚ E SERROTE
SANTANA, NOROESTE DO CEARÁ, BASEADO EM DADOS SEDIMENTARES E
ISOTÓPICOS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Christiano Magini

FORTALEZA

2017

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

S654e Soares, Francisca Robenia Ferreira.

Estudo comparativo entre os arenitos da formação Ipú e Serrote Santana, noroeste do Ceará, baseado em dados sedimentares e isotópicos / Francisca Robenia Ferreira Soares. – 2017.
68 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Christiano Magini.

1. Estudo Isotópico. 2. Isótopos Sm-Nd. 3. Formação Ipú. 4. Morrote de Santana de Acaraú. 5. Bacia do Parnaíba. I. Título.

CDD 572

FRANCISCA ROBÊNIA FERREIRA SOARES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ARENITOS DA FORMAÇÃO IPÚ E SERROTE
SANTANA, NOROESTE DO CEARÁ, BASEADO EM DADOS SEDIMENTARES E
ISOTÓPICOS

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Christiano Magini.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Christiano Magini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Tereza Falcão de Oliveira Neri
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a todos os seres de luz!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de viver essa experiência.

Agradeço aos meus pais, meus irmãos e a toda minha família por toda dedicação, apoio incessante e amor, amo muito vocês. Gratidão ao meu companheiro Wilhelm por toda ajuda, companheirismo e amor.

À todos os professores e funcionários do Departamento de Geologia, que me ensinaram tanto, em especial ao meu orientador e amigo Cristiano Magini pela oportunidade a mim concedida e pela disponibilidade em diversos momentos. Agradeço também aos professores Daniel Rodrigues e Tereza Falcão pelas correções e disponibilidade de participarem da banca de Defesa.

Às minhas queridas amigas, irmãs, companheiras e cúmplices, Debora, Úrsula, Marina e Darly, por toda a força que me deram, por me aturarem no meu melhor e no meu pior, por tornarem o meu mundo mais bonito e colorido, pelos aprendizados, pelas viagens, por abrirem minha mente...por tantos momentos vividos...gratidão! Amo muito vocês!

Agradeço aos meus colegas geólogos Celina, Catarina, Ana Clara, Thiago, Aerson, Ronaldo, Joel, Agnaldo, Diones, Queilane e Allan Bernardino por toda ajuda e pelos momentos de descontração.

À todos, a minha sincera Gratidão!

RESUMO

A Formação Ipú compõe a porção basal do Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba, e é constituída por arenitos e conglomerados depositados por sistemas fluviais entrelaçados, durante o Siluriano. No estado do Ceará, essas rochas afloram na Serra da Ibiapaba, apresentando grandes exposições, formando serras e chapadas, nas bordas nordeste e leste da bacia. O Morrote de Santana possui extensão de, aproximadamente, 30 km, encontra-se alongado na direção NE-SW e está constituído por arenitos e arenitos conglomeráticos. Essa sequência siliciclástica encontra-se alinhada na mesma direção que as rochas da Formação Ipú. Apesar de ser frequentemente correlacionado a Formação Ipú, as rochas que compõe o Morrote Santana encontram-se separadas da mesma em cerca de 70 km, por exposições de rochas eopaleozóicas (Grupo Jaibaras) e pré-cambrianas. Dentro desse contexto, o objetivo do presente estudo consiste em testar a hipótese de que o morrote de Santana de Acaraú representa um morro testemunho da Formação Ipú. A metodologia utilizada na pesquisa, envolveu técnicas de reconhecimento geológico, para descrição dos litotipos e coleta de amostras e análise petrográfica e isotópica Sm-Nd. As áreas selecionadas localizam-se nas proximidades dos municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, noroeste do Ceará, na transição entre os Domínios Médio Coreau e Ceará Central, ao longo do Lineamento Sobral-Pedro II. Essas regiões encontram-se bordejadas por rochas do embasamento (Grupo Ceará) e litotipos da Bacia do Jaibaras, além de uma sequência siliciclástica constituída por conglomerados, conglomerados areníticos, ambos com características polimiticas, arenitos conglomerados com estratificação cruzada acanalada e icnofósseis e arenitos médios a grossos com estratificações cruzadas acanaladas. As amostras coletadas são representativas das porções mais homogêneas das rochas sedimentares reconhecidas em campo, as quais foram analisadas microscopicamente e isotopicamente, para determinação de suas assinaturas isotópicas. O estudo petrográfico constatou rochas maduras e submaduras, com arcabouço constituído por grãos de quartzo e matriz ocorrendo em pouca quantidade (entre 3-6 %), de composição arenítica e, por vezes, argilosa. Tais características permitem classificar essas rochas como quartzo-arenitos. As assinaturas isotópicas obtidas apresentaram pouca variação nas quantidades de ϵ_{Nd} (18,41- 20,15) e idades modelo TDM variando entre 3.21 - 2 Ga e 3.43-1.73 Ga, para os sedimentos presentes nas regiões próximas a Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, respectivamente. As idades TDM indicam fontes

paleoproterozóicas e arqueanas para ambas as áreas e a baixa variação nos valores de ϵ_{Nd} , reforçam a ideia de mesma fonte, constatando indícios de que o corpo arenítico de Santana de Acaraú representa um morro testemunho da Formação Ipu.

Palavras-chave: Geologia Isotópica. Isótopos Sm-Nd. Bacia do Parnaíba. Serrote Santana. Formação Ipu.

ABSTRACT

The Ipú Formation composes the basal portion of the Serra Grande Group, Parnaíba Basin, and consists of sandstones and conglomerates deposited by interlaced fluvial systems during the Silurian. In the state of Ceará, these rocks appear in the Serra da Ibiapaba, presenting great expositions, forming hills and plateaus, on the northeast and east edges of the basin. The Morrote de Santana has an extension of approximately 30 km, is elongated in the NE-SW direction and consists of conglomeratic sandstones and sandstones. This silicystic sequence is aligned in the same direction as the rocks of the Ipú Formation. Although it is frequently correlated with the Ipú Formation, the rocks that make up the Morrote Santana are separated from the same in about 70 km, by expositions of epochal rocks (Jaibaras Group) and pre-Cambrian. In this context, the objective of the present study is to test the hypothesis that the Santana de Acaraú mound represents a testimonial hill of the Ipú Formation. The methodology used in the research involved geological reconnaissance techniques for the description of lithotypes and sample collection and Sm-Nd petrographic and isotopic analysis. The selected areas are located in the vicinity of Santana de Acaraú and Guaraciaba do Norte municipalities, north-west of Ceará, in the transition between the Middle Coreau and Ceará Central Domains along the Sobral-Pedro II Line. These regions are bordered by rocks of the basement (Ceará Group) and lithotypes of the Jaibaras Basin, in addition to a siliciclastic sequence consisting of conglomerates, sandstone conglomerates, both with polymetallic characteristics, conglomerate sandstones with criss-cross and icnofossils, and medium sandstones Thick with ribbed cross laminations. The collected samples are representative of the more homogeneous portions of the sedimentary rocks recognized in the field, which were analyzed microscopically and isotopically, to determine their isotopic signatures. The petrographic study verified mature rocks and sub - sills, with a framework consisting of quartz grains and matrix occurring in a small amount (between 3-6%), of arenitic and sometimes clayey composition. These characteristics allow to classify these rocks as quatzo-sandstones. The isotopic signatures obtained showed little variation in the amounts of ϵNd (18.41 - 20.15) and TDM model ages varying between 3.21-2 Ga and 3.43-1.73 Ga, for the sediments present in the regions near Santana de Acaraú and Guaraciaba do North, respectively. The TDM ages indicate paleoproterozoic sources and archives for both areas and the low variation in ϵNd values reinforce the idea of the same source, evidencing evidence that the arenitic body of Santana de Acaraú represents a testimonial hill of the Ipú Formation.

Keywords: Isotopic Geology. Sm-Nd Isotopes. Parnaíba Basin. Serrote Santana. Ipu Formation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização das áreas de estudo, com destaque os municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte.....	21
Figura 2: Mapa de pontos de afloramento, com destaque para as áreas de estudo	24
Figura 3: Mapa geológico regional das áreas do estudo.....	28
Figura 4: Domínios tectônicos da porção setentrional da Província Borborema	29
Figura 5 - Mapa mostrando a compartimentação da província sedimentar do Meio Norte e os riftes associados à subsidência da Bacia do Parnaíba.....	33
Figura 6- [A] e [B] Gnaisses migmatíticos representativos da unidade Canindé (embasamento cristalino).....	37
Figura 7- [A] Veio pegmatítico de quartzo e feldspato; [B] Sigmoides de quartzo e feldspato, movimento dextral	37
Figura 8: Filitos da Formação Pacujá-Bacia do Jaibaras, próximo ao município de Guaraciaba do Norte.	38
Figura 9- Ortoconglomerados da Formação Aprazível- Bacia do Jaibaras.....	39
Figura 10- Mapa geológico de Santana de Acaraú.....	40
Figura 11 - [A] Afloramento rocha conglomerática;[B] Rocha clasto-suportados com arcabouço composto por calhaus, com tamanho chegando a 12 cm	41
Figura 12- [A] Rochas conglomeráticas ocorrem intercaladas com arenitos conglomeráticos Afloramento do fácies conglomerado; [B] Rocha moderadamente selecionada e fraturada, constituída por grânulos e seixos de quartzo feldspato potássico	42
Figura 13- Afloramento conglomerado arenítico com camadas subhorizontalizadas e estratificação cruzadas acanaladas.....	43
Figura 14 - Aspecto macroscópico da rocha, com presença de grânulos de feldspato potássico e matriz arcoseana.	43
Figura 15- [A]: Afloramento arenito conglomerático; [B]: Rocha apresentando estratificação cruzada acanalada.....	44
Figura 16 - Aspecto macroscópico da rocha, com grânulos de quartzo e feldspato potássico.	45
Figura 17 - A rocha apresenta suas camadas basculadas, com mergulhos de 10° para 140° az, 10° para 160° Az.	45
Figura 18 - [A] e [B] Icnofósseis <i>Circulichnis</i> (indicados nos círculos vermelhos) e <i>Palaeophycus</i> (Tubos em verde) associados a Fácies arenítica conglomerática.....	46

Figura 19 - [A] Afloramento fácies arenítica; [B] Rocha arenito médio com manchas avermelhadas; [C] Afloramento apresentando estratificações cruzadas acanaladas	46
Figura 20- [A] e [B] Arenitos formando serras e chapadas.....	48
Figura 21 - Mapa geológico com os afloramentos visitados, nas proximidades da região de Guaraciaba do Norte.....	49
Figura 22 - [A] Afloramento rocha conglomerática, formando pacotes sedimentares	50
Figura 23 - Rocha apresentando arcabouço constituído por grânulos, seixos, calhaus de quartzo e fragmentos líticos, com tamanhos de ate 12 cm.	50
Figura 24 - Afloramento conglomerado arenítico apresentando camadas sub-horizontais.....	51
Figura 25 - Rocha constituída por grânulos e seixos de quartzo, feldspato potássico e fragmentos líticos.	52
Figura 26 - Rocha arenito conglomerático. Os afloramentos chegam a formar extensos pacotes de até 30 metros de extensão.	53
Figura 27 - [A]: Rocha apresentandoestratificações cruzadas acanaladas; [B]: Icnofósseis Circulichnis (indicados nos círculos vermelhos) e Palaeophycus (Tubos em verde) associados a Fácies arenítica conglomerática.....	53
Figura 28 -Aspecto macroscópico da rocha, presença de grânulos de quartzo e feldspatos	54
Figura 29 - Icnofósseis Circulichnis (indicados nos círculos vermelhos) e Palaeophycus (Tubos em verde).....	54
Figura 30: Afloramento de arenitos médios a grossos; [A] Rocha apresentando coloração amarela esbranquiçada; [B]: Rocha comcoloração mais escura.....	55
Figura 31: Aspecto macroscópico da rocha, apresentado grânulos de quartzo e feldspato potássico	55
Figura 32: Fotomicrografia da amostra P-06. Microscopicamente a rocha apresenta-se-mal selecionada. Arcabouço constituído por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.	57
Figura 33: Fotomicrografia da amostra P-08. Microscopicamente a rocha apresenta-se-moderadamente selecionada, com arcabouço constituído por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	58
Figura 34: Fotomicrografia da amostra P-10. Microscopicamente a rocha apresenta-se-bem selecionada, com arcabouço constituído por quartzo e matriz formada por quartzo e	

argilominerais. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	59
Figura 35: Fotomicrografia da amostra P-10. Arcabouço constituído por quartzo e ocorrência de feldspato potássico. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	59
Figura 36: Fotomicrografia da amostra P-10. Ocorrência de muscovita no arcabouço. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	60
Figura 37: Fotomicrografia da amostra P-10. Ocorrência de plagioclásio no arcabouço. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	60
Figura 38: Fotomicrografia da amostra P-14. Ocorrência de feldspato potássico. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	61
Figura 39 - Fotomicrografia da amostra P-17. Microscopicamente a rocha apresenta-se-mal selecionada, com arcabouço formado por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	62
Figura 40: Fotomicrografia da amostra P-21. Microscopicamente a rocha mostra-mal selecionada, com arcabouço formado por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	63
Figura 41: Fotomicrografia da amostra P-21. Microscopicamente a rocha apresenta matriz arenítica e cimento silicoso. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	63
Figura 42: Fotomicrografia da amostra P-23. Microscopicamente a rocha mostra-se com arcabouço formado por quartzo e matriz disseminada, de composição arenítica. O contatos entre os grãos varia de pontual a tangencial. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	64
Figura 43: Fotomicrografia da amostra P-26. Microscopicamente a rocha mostra-se com arcabouço formado por quartzo, com contatos entre si variando de pontuais a tangenciais. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.....	65

Figura 44: Resultados das assinaturas isotópicas Sm-Nd das amostras analisadas. Resultados satisfatórios grifados.....	66
Figura 45: Histograma com a relação das amostras analisadas e s idades modelo obtidas para as áreas da pesquisa. À esquerda, resultados das idades das amostras de Santana de Acaraú e, a direita, Guaraciaba do Norte.....	67
Figura 46: Gráfico as idades Tdm obtidas <i>versus</i> $\epsilon Nd(0)$ para as duas bacias.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BP Bacia do Parnaíba

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DCC - Domínio Ceará Central

DMC - Domínio Médio Coreaú

ϵ Nd - *Épsilon* Neodímio

K-f - Feldspato potássico

Msc - Muscovita

NE - Nordeste

PB - Província Borborema

Qtz – Quartzo

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

SW - Sudoeste

Tdm - Idade Modelo

UFC – Universidade Federal do Ceará

UnB – Universidade de Brasília

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Apresentação	19
1.2 Objetivos	20
1.3 Localização e Acesso.....	20
2 METODOLOGIA	23
2.1 Etapa Pré-Campo	23
2.2 Estudos Bibliográficos.....	23
2.3 Cartografia geológica e Geoprocessamento	23
2.4 Trabalho de Campo e Amostragem	23
2.5 Etapa Laboratorial	24
2.5.1 <i>Descrição Petrográfica</i>	24
2.5.2 <i>Análise Geocronológica</i>	25
3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	27
3.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)	30
3.2 Domínio Ceará Central (DCC)	31
3.3 Bacia do Parnaíba	32
3.3.1 <i>Grupo Serra Grande</i>	33
3.3.1.1 <i>Formação Ipú</i>	34
3.3.1.2 <i>Formação Tianguá</i>	34
3.3.1.3 <i>Formação Jaicós</i>	34
4 DESCRIÇÃO DOS LITOTIPOS	36
4.1 Embasamento Cristalino.....	36
4.1.1 <i>Complexo Ceará (Unidade Canindé)</i>	36
4.1.2 <i>Bacia do Jaibaras</i>	37
4.2 Morrote de Santana de Acaraú	39
4.2.1 <i>Conglomerados</i>	41
4.2.2 <i>Conglomerado Arenítico</i>	42
4.2.3 <i>Arenito Conglomerático</i>	44
4.2.4 <i>Arenito médio a grosso</i>	46
4.3 Guaraciaba do Norte (Bacia do Parnaíba)	47
4.3.1 <i>Conglomerados</i>	49
4.3.2 <i>Conglomerado Arenítico</i>	51

4.3.3 Arenito Conglomerático	52
4.3.4 Arenito médio a grosso.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1 Caracterização petrográfica	57
5.1.1 Santana de Acaraú	57
5.1.1.1 Arenitos conglomeráticos (P-06, P-08, P-10, P-14)	57
5.1.1.2 Conglomerado arenítico.....	61
5.1.2 Guaraciaba do Norte.....	62
5.1.2.1 Conglomerados	62
5.1.2.2 Arenitos conglomerados	64
5.1.2.3 Arenitos médios a finos	65
5.2 Geologia Isotópica - Dados analíticos de Sm-Nd.....	66
5.2.1 Rochas analisadas neste estudo	68
5.2.1.1 Santana de Acaraú	68
5.2.1.2 Guaraciaba do Norte	68
6 CONCLUSÕES.....	71
REFÊRENCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O estudo isotópico por meio da metodologia Sm-Nd, representa uma importante ferramenta na determinação da idade deposicional e na análise de proveniência dos sedimentos, contribuindo para a correlação cronoestratigráfica em bacias sedimentares. Em linhas gerais, a eficácia no uso do método Sm-Nd ocorre em função das características geoquímicas desses elementos, com relação à baixa taxa de solubilidade e mobilização, durante os processos de alteração, intemperismo, diagênese e metamorfismo.

A aplicação de tal método nos estudos de proveniência em sedimentos, inicialmente, deu-se no final dos anos 60 a partir de estudos oceanográficos, com o objetivo de estimar o fluxo de material derivado dos continentes para o oceano (Bayon et.al., 2002). Em rochas sedimentares, as idades modelos obtidas representam a idade média do material fonte, permitindo analisar o crescimento da crosta continental com o tempo.

A Formação Ipú (Góes e Feijó, 1994), compõe a porção basal do Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba, e é constituída por arenitos com seixos, conglomerados e arenitos finos a grossos. Esses sedimentos ocorrem nas bordas nordeste e leste da bacia e foram depositados por sistemas fluviais entrelaçados, durante o Siluriano (Santos & Carvalho, 2004). No estado do Ceará, essas rochas afloram na Serra da Ibiapaba, apresentando grandes exposições, formando serras e chapadas, com espessuras máximas, em subsuperfície, de até 350 metros.

O Morrote de Santana, localizado nas proximidades do município de Santana de Acaraú, noroeste do Ceará, apresenta, cerca de, 30 km de extensão e está alongado na direção NE-SW. Segundo Galvão (2002), três fácies são reconhecidas e constituídas, por: conglomerados polimíticos, arenitos conglomeráticos, ambas com estratificações cruzadas acanaladas e por uma fácies formada por arenitos médios a grossos. Dados geofísicos indicam que o Morrote de Santana é formado por dois “grabens”, e sua espessura é da ordem de 500-600 metros (Carvalho, 2003).

Algumas pesquisas foram realizadas nas rochas da Formação Ipú, entre elas constam os trabalhos realizados por Caputo & Lima (1984) e Góes & Feijó (1994), que a

partir do estudo em microfósseis, atribuíram idade siluriana a porção basal do Grupo Serra Grande. No morrote de Santana os trabalhos desenvolvidos envolvem a caracterização da deformação frágil (Galvão, 2002; e Carvalho, 2005); estudos gravimétricos (Carvalho, 2003), descrição faciológica e análise das paleocorrentes (Souza, 2013) e estudo dos icnofósseis (Viana et al., 2010; Souza, 2016). Apesar das inúmeras pesquisas citadas, dados que permitam a caracterização isotópica dos sedimentos pertencentes à Formação Ipú e Morrote Santana, ainda são escassos.

Embora, na literatura científica, seja frequentemente correlacionado à Formação Ipú, a sucessão litológica que compõe o Morrote Santana encontra-se separado da mesma, em aproximadamente 70 km, por exposições de rochas eopaleozoicas (Grupo Jaibaras) e pré-cambrianas (Destro et al., 1994).

1.2 Objetivos

O objetivo do presente estudo consiste em testar a hipótese de que o morrote de Santana de Acaraú representa, ou não, um morro testemunho da Formação Ipú. Para que o objetivo principal fosse alcançado, fez-se uso dos seguintes objetivos específicos:

- a) reconhecimento litológico e coleta de amostras em campo;
- b) análise petrográfica, para a caracterização dos parâmetros texturais e composicionais;
- c) estudo isotópico, por meio do método geocronológico Sm-Nd.

1.3 Localização e Acesso

As áreas de estudo estão situadas nas proximidades dos municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, na região noroeste do Ceará.

O melhor acesso às duas áreas estudadas pode ser feito a partir de Fortaleza pela BR-222, percorrendo cerca de 230 km até o município de Sobral. Para tanto, logo após a cidade de Sobral, toma-se a direção norte pela BR-403 por, aproximadamente, 40 Km, em direção a cidade de Santana de Acaraú. O acesso para a região de Guaraciaba do Norte pode ser feito seguindo por 95 km na direção sul/sudoeste, pela BR-329 (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização das áreas de estudo, com destaque os municípios de Santana do Acaraú e Guaraciaba do Norte.



Fonte: SUDENE Sobral SB 24-Y-B-IV e Bela Cruz SB 24-Y-D-I.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para que os objetivos da pesquisa fossem alcançados, foi subdividida em três fases sucessivas, relacionadas entre si e interdependentes, conforme os itens a seguir:

2.1 Etapa Pré-Campo

Nesta etapa, as atividades desenvolvidas correspondem ao estudo bibliográfico e a construção de um banco de dados com informação sobre os mapas de acessos, topográfico e geológico das áreas da pesquisa.

2.2 Estudos Bibliográficos

Foram feitas pesquisas bibliográficas sobre o contexto geológico da Província Borborema e Bacia do Parnaíba, enfocando a Formação Ipu, do Grupo Serra Grande, além do estudo sobre os princípios, métodos e aplicações do método geocronológico Sm e Nd.

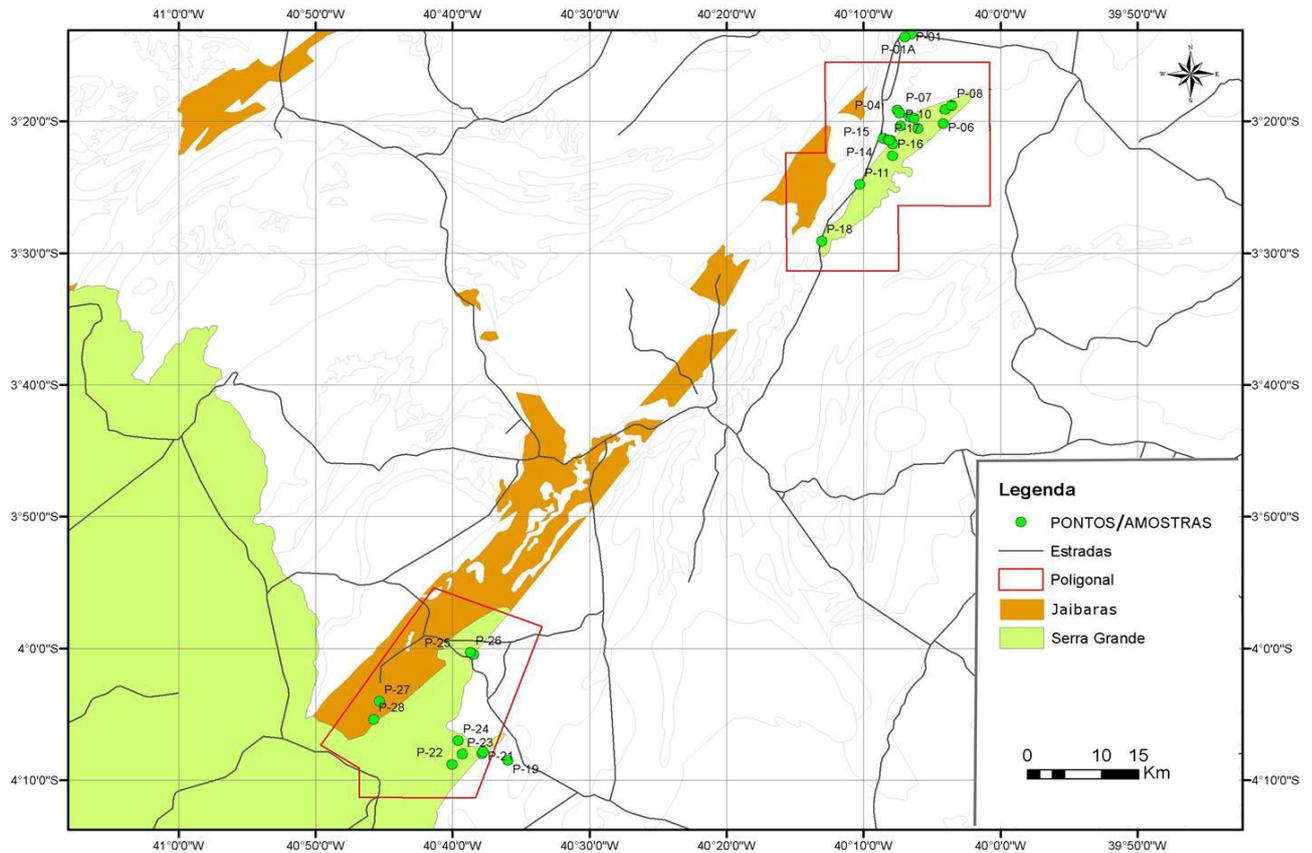
2.3 Cartografia geológica e Geoprocessamento

Para a construção do mapa base geológico, os arquivos tipo shapefile (.shp) foram editados no software ArcGis 9.2, em coordenadas UTM e datum WGS 1984. A base cartográfica foi construída a partir das cartas topográficas, adquiridas no site da CPRM (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>), BELA CRUZ (SA.24-Y-D-I) e SOBRAL (SA.24-Y-D), para região de Santana de Acaraú e IPÚ (SB.24-V-A-III) e FRECHEIRINHA (SA.24-Y-C-VI), para a região de Guaraciaba do Norte. Essas informações foram estruturadas em ambiente SIG, para a construção de um banco de dados geológicos, adicionado dos novos dados de campo e de geocronologia.

2.4 Trabalho de Campo e Amostragem

Nesta etapa, deu-se o mapeamento dos principais litotipos existentes nas áreas da pesquisa, onde foram estudados 29 afloramentos, distribuídos ao longo dos corpos areníticos e/ou conglomeráticos situados nas adjacências das cidades de Santana de Acaraú e de Guaraciaba do Norte. A partir deste conhecimento, foram selecionados 08 pontos para a coleta de amostras e análise geocronológica (Figura 2).

Figura 2: Mapa de pontos de afloramento, com destaque para as áreas de estudo



Fonte: Modificado de Cavalcante *et al.*, 2003.

2.5 Etapa Laboratorial

A etapa de laboratório envolveu a preparação de oito amostras para o estudo petrográfico e geocronológico. Todas as amostras são representativas da Formação Ipu e foram coletadas próximo aos municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte.

2.5.1 Descrição Petrográfica

A caracterização petrográfica foi feita a partir da análise de oito lâminas delgadas, confeccionadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará e descritas em um microscópio óptico. A descrição petrográfica enfatizou as feições texturais e composicionais da rocha, buscando a caracterização e a comparação entre os litotipos presentes nas regiões em apreço.

Para a caracterização textural dos litotipos, utilizaram-se alguns diagramas de Pettijohn (1973) apud Adams A.E. (1984), que ressaltou aspectos como granulometria, arredondamento, esfericidade, grau de seleção dos constituintes/ grau de empacotamento da rocha e os contatos entre os grãos. As feições composicionais descritas se referem à mineralogia e estão relacionadas à caracterização dos constituintes principais e a maturidade da rocha.

2.5.2 *Análise Geocronológica*

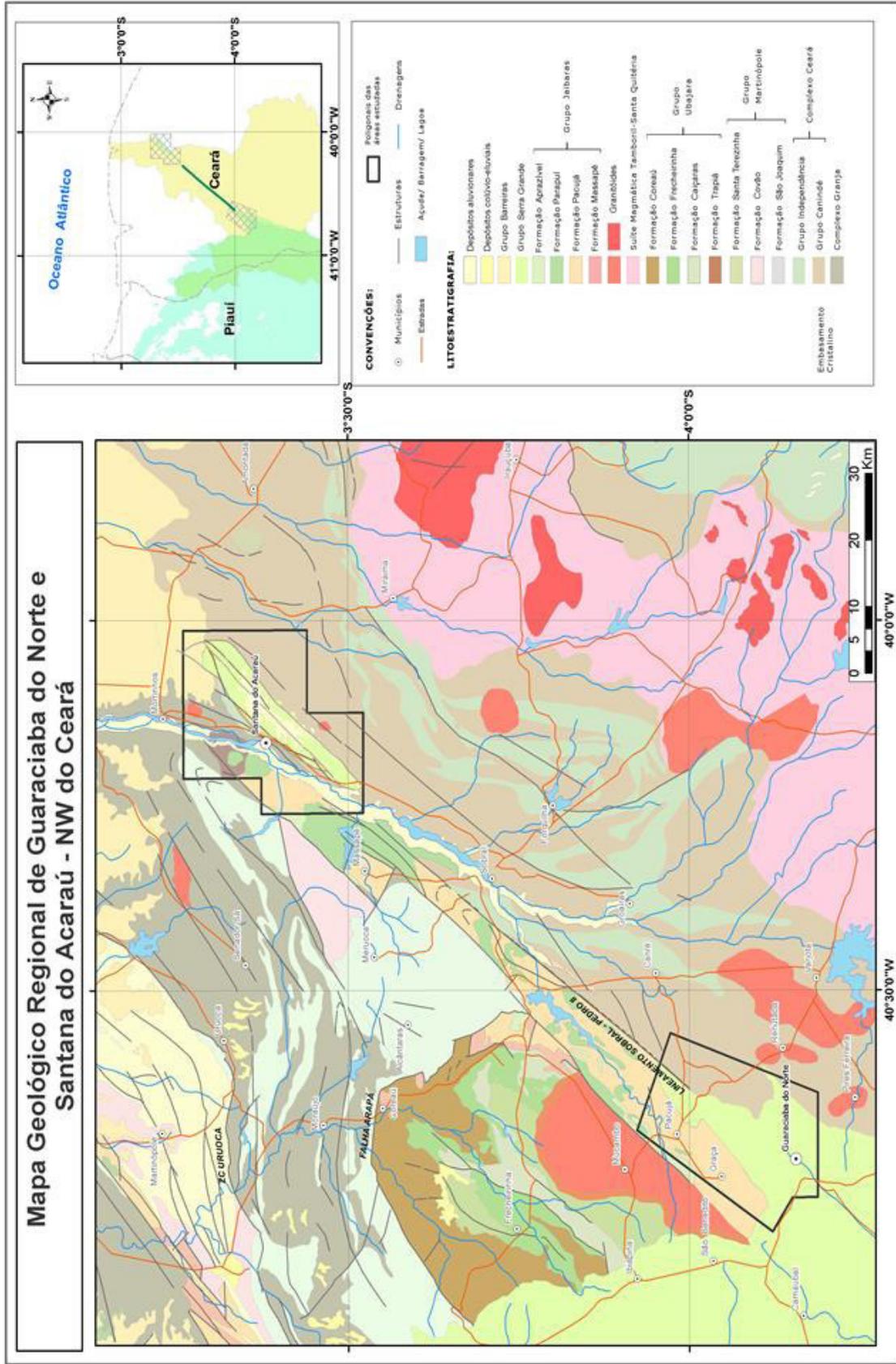
O estudo geocronológico foi feito por meio da aplicação do método isotópico Sm/Nd em oito amostras de arenitos, coletados nas proximidades dos municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte. As amostras foram preparadas no Laboratório de preparação de amostras da UFC, e em seguida enviadas para o Laboratório de Geocronologia da UnB para a obtenção das suas razões isotópicas. O método utilizado foi a espectrometria de massa, descrito por Gioia e Pimentel (2000).

O material para análise é obtido pela moagem em panela de liga de vídia de fragmentos de rocha que representem a totalidade da rocha, e que estejam isentos de alterações intempéricas ou hidrotermais. Neste procedimento cerca de 50 mg de amostra pulverizada é misturada a uma solução traçadora de ^{149}Sm e ^{150}Nd . A amostra é dissolvida em cápsulas Savillex® por meio de sucessivos ataques ácidos em HF, HNO₃ e HCl. Os conteúdos de Sm e Nd são extraídos através de colunas de trocas catiônicas, confeccionadas em Teflon e preenchidas com resina LN-Spec. Os sais de Sm e Nd são depositados em filamentos de rênio com ácido nítrico e evaporados. As leituras das razões foram realizadas no espectrômetro de massas multicoletor, modelo Finnigan MAT 262 em modo estático, utilizando copos Faraday arranjados para obter leituras dos isótopos. As incertezas para as razões de Sm/Nd e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ são inferiores a $\pm 0.5\%$ (2σ) e $\pm 0.005\%$ (2σ), respectivamente, baseadas em repetidas análises nos padrões internacionais BHVO-1 e BCR-1. A razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi normalizada em função da razão $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,7219. Os valores de TDM foram calculados usando o modelo de DePaolo (1981).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

As áreas estudadas estão situadas na porção norte da Província Borborema (PB), mais precisamente na zona de transição entre os Domínios Médio Coreaú (DMC) e Ceará Central (DCC), ao longo do Lineamento Sobral-Pedro II (Figura 3). Essas regiões abrangem os municípios de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, e estão relacionadas aos arenitos da Formação Ipú, Bacia do Parnaíba (Figura 3).

Figura 3: Mapa geológico regional das áreas do estudo.

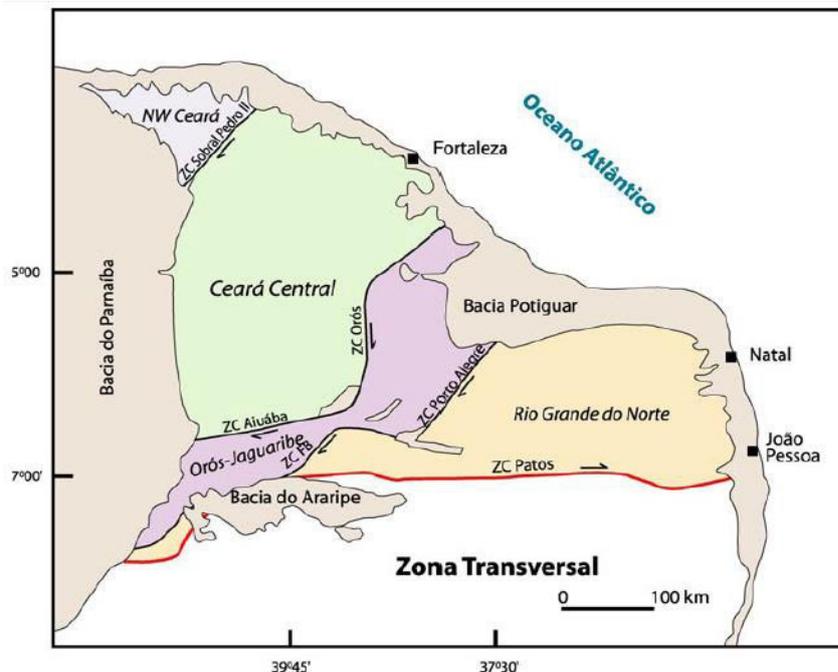


Fonte: Modificado de Cavalcante et al., 2003.

A evolução da PB é interpretada como uma complexa região de domínios tectonoestratigráficos, associados a eventos termotectônicos ocorridos entre o Arqueano e o Neoproterozóico (Almeida et. al, 1977). Este arcabouço é definido como o resultado da tectônica convergente dos crátons São Luís-Oeste Africano, São Francisco- Congo e Amazônico, durante o ciclo Brasiliano, quando estiveram envolvidos na amalgamação e formação do Supercontinente Gondwana, por volta de 600 Ma (Arthaud, 2007; Cordani et al., 2013). O regime convergente passou de frontal para oblíquo gerando zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais/sinistras, nas direções NNE-SSW e NW-SE, respectivamente (Arthaud, 2007; Brito Neves et al., 2000).

Na sua porção norte, a PB se divide nos domínios tectônicos Domínio Médio Coreá (DMC) ou Noroeste do Ceará (NW Ceará), Ceará Central e Rio Grande do Norte (Fetter, 1999; Brito Neves et al., 2000). Arthaud (2003) reconhece outro domínio geotectônico, além dos já citados, no limite dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte: Orós-Jaguaribe, limitado a noroeste pela Zona de Cisalhamento Orós (ZCORós), a sudeste pela Zona de Cisalhamento Jaguaribe (ZCJ) e ao sul pela Zona de Cisalhamento Farias Brito (ZCFB) (Figura 4).

Figura 4: Domínios tectônicos da porção setentrional da Província Borborema



Fonte: Arthaud, 2003.

3.1 Domínio Médio Coreaú (DMC)

O DMC está situado no extremo noroeste do estado do Ceará e corresponde a um cinturão orogênico constituído por diferentes litótipos, com distintas idades e origens. Esse domínio é caracterizado por bacias extensionais de natureza molássica associadas a vulcanismo bimodal e plutonismo epizonal. Pode ser dividido litoestratigraficamente em Complexo Granja, Grupo Martinópole, Grupo São Joaquim, Ubajara, Jaibaras e Coberturas Sedimentares (Bacia do Parnaíba) (Brito Neves et al. 2000).

O Complexo Granja compõe o embasamento do DMC, e é constituído por diversos tipos de gnaisses e migmatitos com idade em torno de 2,3 Ga. Essas rochas estão associadas a um metamorfismo de fácies anfibolito a granulito (Santos et al., 1998).

O Grupo Martinópole ocorre sobreposto às rochas do embasamento e constitui uma seqüência neoproterozóica vulcanossedimentar (micaxistos, filitos, metarenitos, quartzitos e intercalações de metavulcânicas e metacarbonatos).

Repousando discordantemente sobre o Grupo Martinópole ocorre o Grupo Ubajara, que corresponde a um cinturão de dobramentos de rochas carbonáticas-pelíticas (rochas supracrustais), apresentando grau metamórfico que varia de xisto verde baixo a médio, e deformação caracterizada pelo baixo *strain*, com preservação das estruturas primárias. Caby et al. (1991) interpretam essa unidade como uma molassa precoce, enquanto Hackspacher et al. (1988) descreveram um padrão deformacional mais complexo com sedimentação pré a sin orogênica, em relação ao Ciclo Brasileiro.

Pedreira e Torquato (1991) consideram o Grupo São Joaquim, inicialmente tratado como uma formação pertencente ao Grupo Martinópole, como um grupo mais antigo composto principalmente por quartzitos e, subordinadamente, micaxistos, paragnaisses, mármores e metavulcânicas. Os grupos São Joaquim e Martinópole apresentam deformação polifásica e metamorfismo que varia do fácies xisto verde até anfibolito.

A granitogênese do DMC é caracterizada pelos batólitos graníticos Chaval, Tucunduba, Meruoca e Mucambo. Os granitoides Chaval e Tucunduba foram afetados pela orogênese Brasileira e possuem idades, em torno, de 591+/- 10 Ma (Fetter et al., 2000) e 563 +/- 17 Ma (Santos et al., 2007), respectivamente. O granitóide Chaval ocorre intrudindo o Complexo Granja e parte do Grupo Martinópole representando uma intrusão sin-orogênica, fortemente cisalhada e com afinidade crustal. O granitóide Tucunduba trata-se de um plúton

granito-granodiorito que intrude o embasamento paleoproterozóico, possui forma alongada e paralela ao *trend* regional NE-SW, com seus limites marcados pelas falhas transcorrentes Água Branca e Senador Sá (Santos et al., 2008).

Os granitóides não deformados Meruoca e Mucambo, com idades de 532+/- 7 Ma (Santos et al., 2007) e 523+/- 9 Ma (Archanjo et al., 2008), respectivamente, representam o plutonismo pós-orogênico do DMC e estão relacionados ao desenvolvimento do graben Jaibaras. Esses plútons ocorrem preenchendo os espaços formados por uma tectônica transtensional do tipo *pull-apart*, e são intrudidos nas rochas do embasamento e do Grupo Ubajara.

O Grupo Jaibaras constitui uma seqüência de sedimentos continentais e vulcânicas toleíticas e alcalinas, formadas durante o fim do ciclo Brasileiro. Estas rochas são encontradas em uma série de *grabens* e *meio-grabens*, gerados por falhas normais e por reativações de zonas de fraqueza do lineamento Sobral-Pedro II, que exerceu forte controle no processo de deposição (Jardim de Sá, 1994; Costa et al., 1979 apud Galvão, 2002).

A cobertura sedimentar do DMC corresponde às rochas siliciclásticas pertencentes ao Grupo Serra Grande, na Bacia do Parnaíba. Essa seqüência é constituída por arenitos que variam para arenitos conglomeráticos e, a partir desses, para conglomerados grossos polimíticos (Brito Neves et al., 2000).

3.2 Dominio Ceará Central (DCC)

O DCC é a mais extensa unidade geotectônica da porção norte da Província Borborema, abrangendo e ocupando cerca de 80.000 km² do Estado do Ceará. É produto de uma longa e complexa história geológica, iniciada no Arqueano, caracterizada por vários episódios de acreção crustal e ciclos orogênicos com atividades magmáticas, metamórficas e deformacionais.

O DCC é caracterizado por um embasamento gnáissico policíclico e cobertura alóctone, representada por metassedimentos do tipo plataformar, composta de quartzitos aluminosos, mármore e metapelitos, intercalado com rochas metavulcânicas máficas e ácidas ricas em potássio, que foram fortemente afetados por uma tectônica de *nappes*, com vergência predominante para SSE (Caby & Arthaud, *et al.*, 1986; Nogueira Neto, 2000; Arthaud, 2007).

Esse domínio é subdividido em quatro unidades cronoestratigráficas: Núcleo Arqueano, Embasamento Gnáissico Paleoproterozóico, Supracrustais Neoproterozóicas, Complexos Granito-Migmatíticos e Granitóides Neoproterozóicos (Fetter *et al.*, 2003).

O Núcleo Arqueano é representado pelo maciço de Tróia, que inclui os blocos Tróia-Pedra Branca, constituído, predominantemente, por uma associação do tipo *greenstone belts*, e Mombaça, composta por uma suíte com afinidade TTG. Estas unidades são inseridas no Complexo Cruzeta e estão separadas pela zona de cisalhamento Sabonete-Inharé (Fetter, 1999). Margeando o núcleo arqueano ocorre o embasamento gnáissico paleoproterozóico, formado por gnaisses de composição diorítica a tonalítica, e por terrenos TTG. As rochas supracrustais neoproterozóicas ocorrem nas adjacências do Batólito de Santa Quitéria e incluem as unidades de Independência e Canindé (Grupo Ceará). Esta sequência é constituída por rochas essencialmente metapelíticas, metapsamíticas e metariolitos, afetados por um metamorfismo de Fácies Anfibolito Superior (Cavalcante *et al.*, 2003, Fetter *et al.*, 2003, Arthaud, 2008). O Batólito de Santa Quitéria ou Maciço de Santa Quitéria ocorre alinhado na direção NE-SW e representa uma suíte magmática originada em ambiente de arco continental com sucessivos episódios magmáticos. É constituído por migmatitos e granitóides que variam, em composição, de dioritos a granitos, flanqueados por seqüências de ante- e retro-arco (Fetter *et al.*, 2003).

3.3 Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba (BP) insere-se na Província Sedimentar do Meio Norte (Góes, 1995; Góes & Coimbra, 1996), na sua porção nordeste e sudeste, abrangendo terrenos dos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e, restritamente, do Ceará.

A BP é caracterizada como uma bacia intracratônica ou sinéclise, alongada na direção NE-SW com limites erosivos que refletem as reativações tectônicas das estruturas. A origem ou subsidência inicial desta bacia está associada às deformações de eventos térmicos finais e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro, por volta de 500 Ma, durante o Estágio de Transição da plataforma Sul-Americana (Almeida e Carneiro, 2004). Essa tectônica foi responsável pela geração de estruturas “grabenformes” no substrato da bacia, com eixos orientados de nordeste a norte, que teriam controlado seu depocentro inicial (Oliveira e Mohriak, 2003). Os riftes precursores estão correlacionados aos *grabens* Jaibaras, Sairi, São Raimundo Nonato, Cococi e São Julião (Figura 5).

Figura 5 - Mapa mostrando a compartimentação da província sedimentar do Meio Norte e os riftes associados à subsidência da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Modificado de Góes, 1995.

O embasamento da Bacia do Parnaíba é formado por rochas paleoproterozóicas e neoproterozóicas do DMC e DCC, além de rochas do rifte cambro-ordoviciano da Bacia Jaibaras (Vaz et al., 2007). O preenchimento dessa bacia representa a porção remanescente de uma extensa sedimentação, que envolveu três grandes ciclos transgressivo-regressivos, representados por sequências sedimentares de idades siluriana (Grupo Serra Grande), devoniana (Grupo Canindé) e carbonífero-triássica (Grupos Balsas), com suas discordâncias e gêneses, em parte, relacionadas às flutuações dos elevados níveis eustáticos dos mares epicontinentais do Eopaleozóico (Góes e Feijó, 1994).

i. 3.3.1 Grupo Serra Grande

O Grupo Serra Grande representa a porção basal da Bacia do Parnaíba, é constituído por rochas clásticas e folhelhos marinhos depositados durante o Ordoviciano-Siluriano (Caputo *et al.* 1984). Essa sequência compreende um ciclo transgressivo-regressivo completo e assenta-se discordantemente sobre rochas proterozóicas do embasamento ou sobre depósitos cambro-ordovicianos, que preencheram rifts precursoros (Oliveira e Mohriak, 2003). Os sistemas deposicionais associados aos sedimentos do Grupo Serra Grande, estão

relacionados a uma grande variedade de ambientes, indo desde flúvio-glacial e glacial, passando a transicional (nerítico) e retornando às condições continentais (fluvial entrelaçado) (Góes e Feijó, 1994). Em superfície apresenta grandes exposições, formando serras e chapadas, nas bordas nordeste e leste da bacia. Essa unidade é dividida, da base para o topo, pelas Formações: Ipu, Tianguá e Jaicós.

3.3.1.1 Formação Ipu

A Formação Ipú, representa a litologia de maior interesse na pesquisa e compreende a porção basal do Grupo Serra Grande. Esta unidade está localizada na porção leste da bacia, bordejando rochas do embasamento. É constituída por arenitos com seixos, conglomerados com matriz areno-argilosa e matações de quartzo ou quartzito e arenitos finos a grossos. Nos psamitos predominam as cores brancas ou cinza/creme-claro, maciços ou com estratificação cruzada. As rochas dessa unidade foram depositadas por sistemas fluviais entrelaçados, com influência periglacial durante o Siluriano (Caputo, 1984 in Vaz et al., 2007). No estado do Ceará, essas rochas afloram principalmente na Serra da Ibiapaba.

3.3.1.2 Formação Tianguá

A Formação Tianguá representa uma transgressão glacio-eustática relacionada ao degelo dos centros glaciais do norte da África, no início do Siluriano. É constituída por folhelhos cinza escuros, siltito e arenito micáceo, depositados em ambiente marinho raso durante o Siluriano (Góes & Feijó, 1994). Essa formação está dividida em três membros litoestratigráficos: 1 - folhelhos pretos a cinza escuro; 2 - arenito com intercalações de folhelho; 3 – folhelho intercalado com siltitos (Caputo & Lima, 1984).

3.3.1.3 Formação Jaicós

A Formação Jaicós possui até cerca de 400 m de espessura, e está localizada na borda nordeste da bacia. Essa sequência representa a última sedimentação regressiva do Grupo Serra Grande, formada por arenito e eventuais pelitos que foram depositados em sistemas de leques aluviais e deltáicos durante o período Neossiluriano e Devoniano (Góes & Feijó, 1994; Caputo & Lima, 1984).

4 DESCRIÇÃO DOS LITOTIPOS

A partir dos estudos bibliográficos e do mapeamento geológico realizado, foi possível estabelecer correlações entre o arcabouço geológico descrito por Galvão (2002), Souza (2013) e Carvalho e Santos (2004), que permitiram caracterizar os litotipos presentes nas regiões em apreço.

Apesar da diversificada gama de litologias encontradas nas áreas, a descrição geológica local enfatizou as rochas pertencentes à Formação Ipú, principal unidade de interesse, mas foram analisados também os tipos que compõe o embasamento cristalino, que ocorrem bordejando os arenitos.

4.1 Embasamento Cristalino

As rochas que compõe o embasamento estão representadas por litologias do Complexo Ceará (Unidade Canindé) e rochas da Bacia do Jaibaras.

4.1.1 Complexo Ceará (Unidade Canindé)

O Complexo Ceará constitui as rochas supracrustais neoproterozóicas do Domínio Ceará Central. Nessa sequência de rochas metamórficas inserem-se as unidades Independência e Canindé (Torres *et al.*, 2010). As litologias da unidade Canindé são constituídas por gnaisses e gnaisses migmatitos, metamorfizadas no fácies anfibolito de alta temperatura (Cavalcante *et al.*, 2003), apresentando foliação com trend na direção NE e mergulhos variando entre 65° a 85°, preferencialmente para SE.

Os gnaisses migmatíticos ocorrem bordejando o corpo arenítico de Santana do Acaraú e encontram-se altamente fraturados e migmatizados, ora com veios pegmatíticos, ora sem veios (Figuras 6A e 6B).

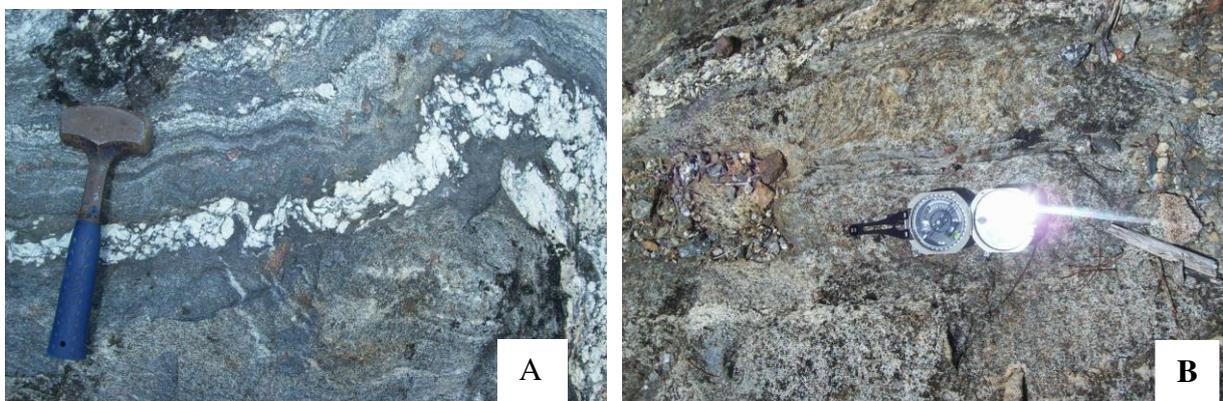
Figura 6- [A] e [B] Gnaisses migmatíticos representativos da unidade Canindé (embasamento cristalino)



Fonte:Elaborada pela autora.

Mineralogicamente, são formadas por plagioclásio, biotita, quartzo e feldspato potássico (Figura 7A). Por vezes, os cristais de quartzo e feldspato potássico podem ocorrer na forma de sigmoide, indicando movimento dextral (Figura 7B).

Figura 7- [A] Veio pegmatítico de quartzo e feldspato; [B] Sigmoide de quartzo e feldspato, movimento dextral



Fonte:Elaborada pela autora.

4.1.2 *Bacia do Jaibaras*

A Bacia do Jaibaras é constituída por depósitos siliciclásticos continentais imaturos e rochas vulcanoclásticas, interpretadas como resultante da reativação do Lineamento Transbrasiliano (Oliveira & Mohriak 2003). Essa sequência paleozoica é constituída da base para o topo pelas seguintes formações: Massapé, Pacuja, Parapuí e Aprazível. As porções aflorantes da Bacia do Jaibaras nas áreas da pesquisa correspondem a

filitos da Formação Pacujá e conglomerados polimíticos representativos da Formação Aprazível.

Os filitos da Formação Pacujá são encontrados na porção oeste das áreas estudadas, apresentando uma coloração acinzentada e constituídos por quartzo, feldspatos e micas. Os afloramentos são escassos e encontram-se intensamente deformados (dobrados, milonitizados e/ou fraturados), com direção dos pares de fraturas entre: 50/170 Az; 40/120 Az (Figura 8).

Figura 8: Filitos da Formação Pacujá-Bacia do Jaibaras, próximo ao município de Guaraciaba do Norte.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os ortoconglomerados polimíticos da Formação Aprazível são do tipo clastosustentado e apresentando um arcabouço composto por fragmentos de rocha (rochas vulcânicas e gnaisses) previamente foliados (Figura 9). Os seixos são mal selecionados, angulosos e de baixa esfericidade, com tamanho variando de 0,3 a 12 cm. Estes fragmentos encontram-se envoltos por uma matriz escura bastante compacta, com a presença de cimento de origem silicosa (Galvão, 2002).

Figura 9- Ortoconglomerados da Formação Aprazível- Bacia do Jaibaras

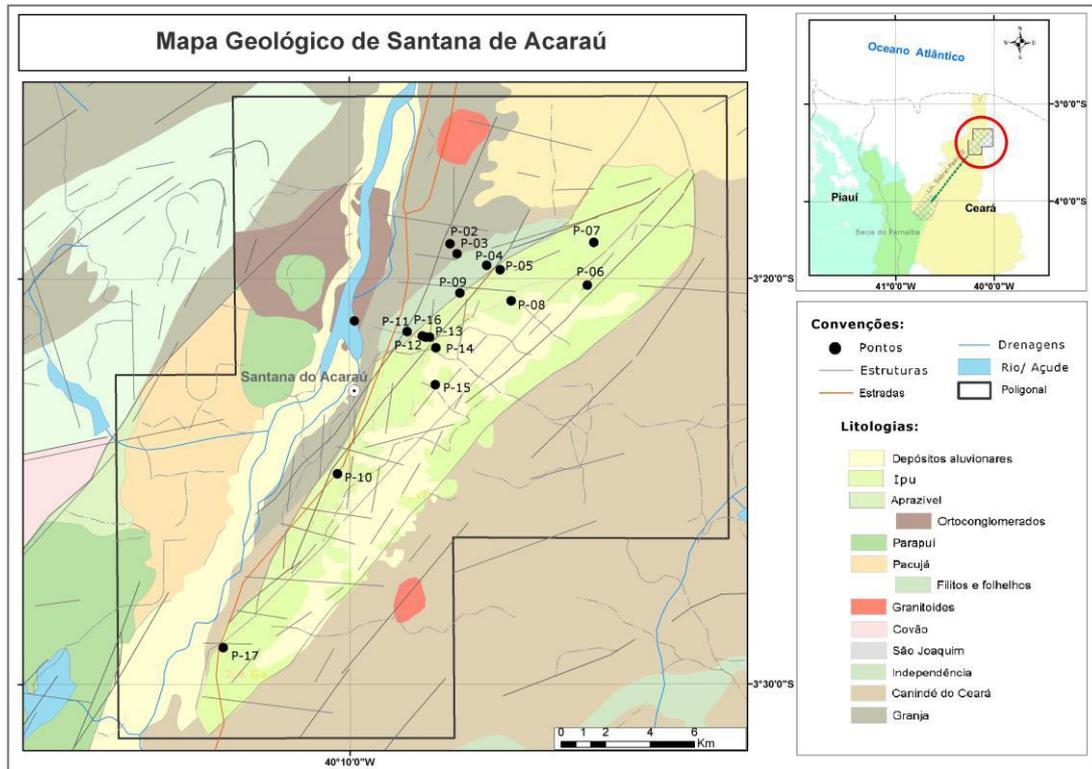


Fonte: Elaborada pela autora

4.2 Morrote de Santana de Acaraú

Em Santana do Acaraú ocorrem rochas areníticas de textura média a grossa, além de conglomerados, apresentando estrutura sinformal alongada na direção NE-SW, com extensão de cerca de 30 km (Destro et al., 1994) (Figura 10).

Figura 10- Mapa geológico de Santana de Acaraú



Fonte: Modificado de Galvão, 2002.

O corpo siliciclástico encontra-se delimitado por falhas transcorrentes de *trend* NE e cinemática dextral, que são interpretadas como decorrentes da reativação do LSP-II (Alves da Silva et al. 2004). Dados geofísicos gravimétricos indicam que a espessura dos sedimentos variam de 50 a 600 metros (Carvalho, 2003). Tal variação é interpretada como decorrente de falhas relacionadas ao embasamento, que compõem um *gráben* assimétrico, com depocentros próximos às falhas de borda.

O acamamento encontra-se basculado, com direções e mergulhos bastante variados. Análises estruturais indicam que o ângulo de basculamento nas bordas da bacia é alto a moderado, diminuindo gradativamente em direção à porção central do corpo, até assumir a posição sub-horizontal.

Os afloramentos visitados localizam-se ao longo do corpo arenítico e apresentam uma pequena, mas distinta, variação de fácies e padrão de paleocorrentes preferencialmente para noroeste/norte (Souza, 2013).

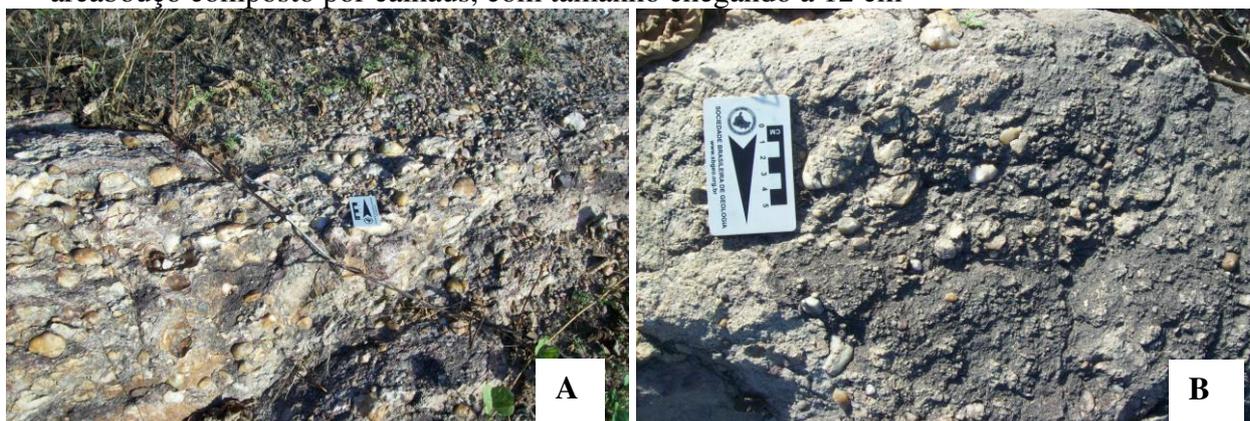
Para uma melhor caracterização das rochas estudadas na região de Santana de Acaraú, utilizou-se a classificação feita por Galvão, 2002, que reconheceu fácies conglomeráticas, areníticas conglomeráticas e arenitos medio a grossos, e por Souza, 2013, que identificou as litofácies: conglomerados maciços (Cm), conglomerados areníticos com estratificação cruzada acanalada (CAa), conglomerados areníticos com estratificação cruzada acanalada e icnofósseis(CAai), arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada com e sem icnofósseis (ACa e ACai) e arenitos com estratificação cruzada acanalada (Aa).

A partir da compilação desses dados e do mapeamento geológico realizado foram caracterizados os seguintes litotipos:

4.2.1 Conglomerados

A porção conglomerática corresponde ao afloramento P-09 e está localizado na porção noroeste da área, bordejando o corpo arenítico e em contato tectônico com gnaisses do embasamento (Figura 10). Essa rocha é formada por conglomerados polimiticos clasto-suportados com seu arcabouço composto por calhaus, com tamanho chegando a 12 cm, de composição predominantemente quartzosa, além de quartzitos e outros fragmentos líticos de gnaisses e rochas máficas (Figura 11 A e B).

Figura 11 - [A] Afloramento rocha conglomerática;[B] Rocha clasto-suportados com arcabouço composto por calhaus, com tamanho chegando a 12 cm

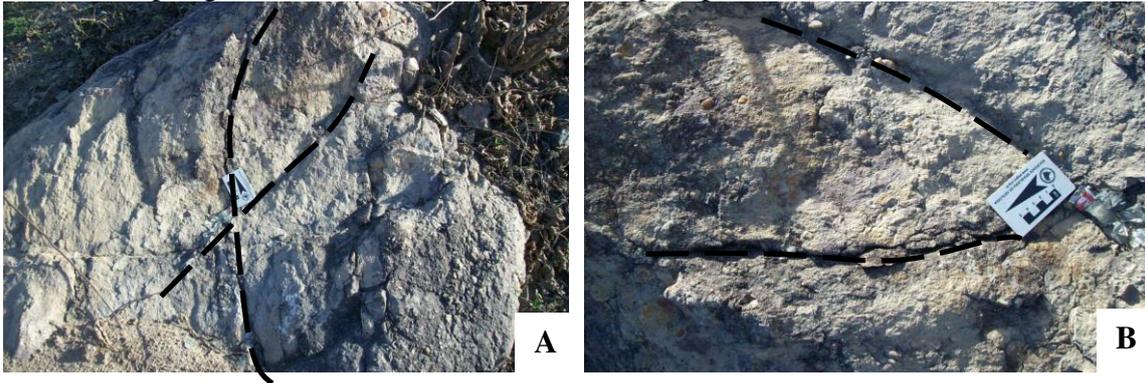


Fonte: Elaborada pela autora

Os clastos são subarredondados e subangulosos a angulosos, envolvidos em uma matriz de composição arenítica. Os grãos não apresentam orientação preferencial, ora estando verticalizados, ora horizontalizados.

Intercalados a estes conglomerados, ocorrem arenitos conglomeráticos, moderadamente selecionados e fraturados, constituídos por grânulos e seixos de quartzo e feldspato. Morfológicamente os seixos apresentam-se subarredondados e subangulosos, envolvidos em uma matriz arenítica (Figura 12 A e B).

Figura 12- [A] Rochas conglomeráticas ocorrem intercaladas com arenitos conglomeráticos Afloramento do fácies conglomerado; [B] Rocha moderadamente selecionada e fraturada, constituída por grânulos e seixos de quartzo feldspato portássico



Fonte: Elaborada pela autora

4.2.2 Conglomerado Arenítico

As rochas consideradas como conglomeráticas areníticas, correspondem ao ponto de afloramento P-17, e situa-se na porção sul da área, paralelo ao Serrote Santana e próximo à borda oeste do corpo arenítico (Figura 10).

No afloramento ocorrem rochas conglomeráticas, porem com seixos de tamanho menor e maior quantidade de grânulos. A fácies descrita é marcada por conglomerados matriz sustentados com presença de estratificação cruzada acanalada. As camadas que formam esses paraconglomerados chegam a atingir dezenas de metros e encontram-se sub-horizontalizadas (Figura 13).

Figura 13- Afloramento conglomerado arenítico com camadas subhorizontalizadas e estratificação cruzadas acanaladas



Fonte: Elaborada pela autora.

Mineralogicamente, a fácies é formada por grânulos (30%) e seixos (20%) dispersos em uma matriz arenítica arcoseana. Os grânulos são preferencialmente angulosos, compostos de feldspatos e fragmentos líticos, ao passo que os seixos são preferencialmente subarredondados, compostos de quartzo e quartzitos (Figura 14).

Figura 14 - Aspecto macroscópico da rocha, com presença de grânulos de feldspato potássico e matriz arcoseana.



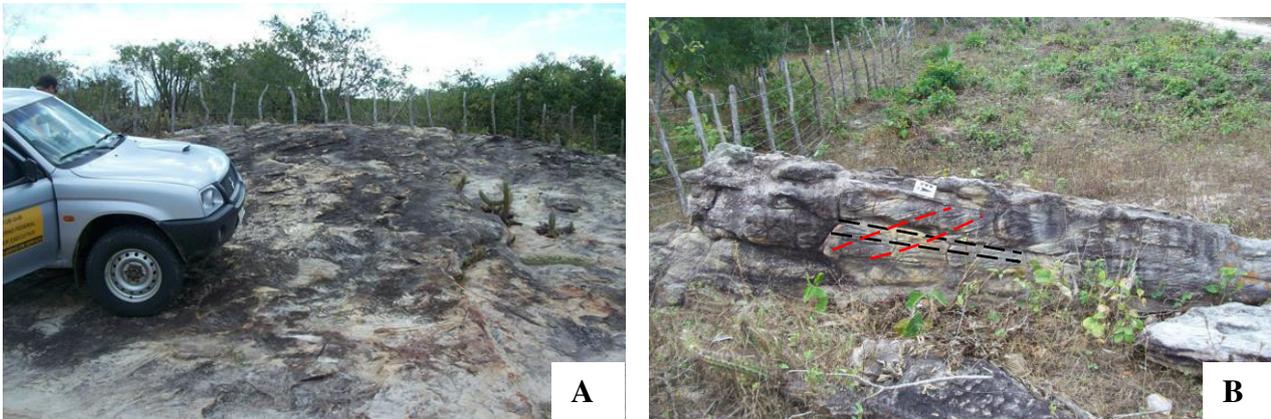
Fonte: Elaborada pela autora

Não há orientação dos grânulos que ocorrem dispersos dentro das camadas, porém os seixos apresentam uma fraca orientação principalmente nas camadas mais superiores. Composicionalmente, a rocha é considerada mal selecionada e de baixa maturidade textural.

4.2.3 Arenito Conglomerático

Os arenitos conglomeráticos são os litotipos mais abundantes dentre os afloramentos estudados e situam-se nas porções centrais da área. Os afloramentos correspondentes são: P-05, P-08 e P-10 (Figura 10). A litofácies arenítica conglomerática constitui extensos pacotes de até 30 metros (Figura 15 A), apresentando estratificações cruzadas acanaladas (Figura 15 B), além da presença de icnofósseis.

Figura 15- [A]: Afloramento arenito conglomerático; [B]: Rocha apresentando estratificação cruzada acanalada



Fonte: Elaborada pela autora.

Mineralogicamente, a rocha é constituída pelo predomínio de grânulos de quartzo e alguns feldspatos, dispersos dentro do arenito médio arcoseano. Esses grãos encontram-se subarredondados a subangulosos, envoltos em uma matriz de composição areno-argilosa (Figura 16).

Figura 16 - Aspecto macroscópico da rocha, com grânulos de quartzo e feldspato potássico



Fonte: Fonte: Elaborada pela autora

A coloração da rocha varia de amarelo esbranquiçado a amarelo avermelhado, provocado possivelmente pela alteração dos feldspatos associados a óxido de ferro. Nessa litofácies observa-se uma diminuição na quantidade de fragmentos líticos encontrados, caracterizando essa fácies com moderada maturidade, tanto mineralógica quanto textural. As camadas encontram-se subhorizontalizadas, com mergulhos de 10° para 140° az, 10° para 160° Az (Figura 17).

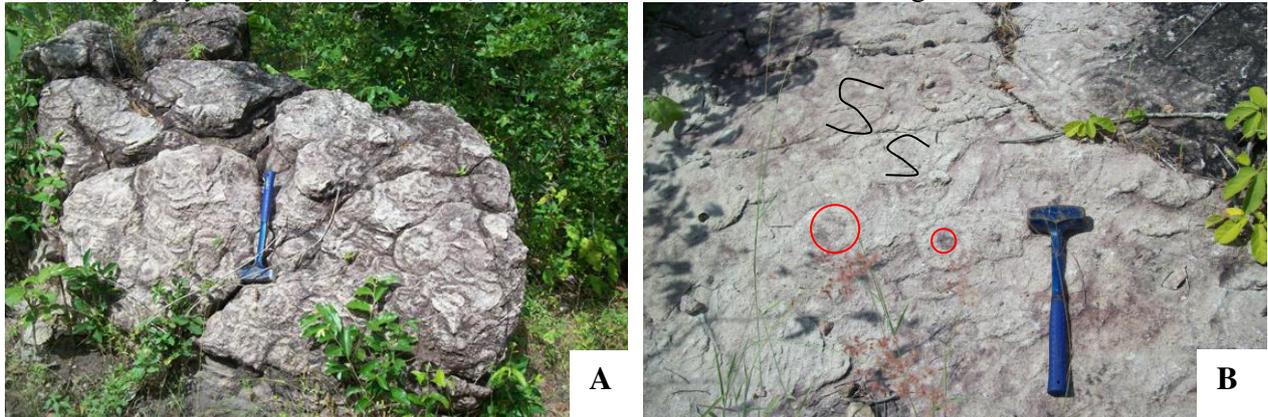
Figura 17 - A rocha apresenta suas camadas basculadas, com mergulhos de 10° para 140° az, 10° para 160° Az.



Fonte: Elaborada pela autora

Os icnofósseis encontrados correspondem aos icnogêneros *Circulichnis*, encontrado como pares de círculos circunscritos (Figura 18 A) e *Palaeophycus*, que constituem marcas de rastejamento de organismos fósseis, na forma de tubos horizontais (Figura 18 B).

Figura 18 - [A] e [B] Icnofósseis *Circulichnis* (indicados nos círculos vermelhos) e *Palaeophycus* (Tubos em verde) associados a Fácies arenítica conglomerática



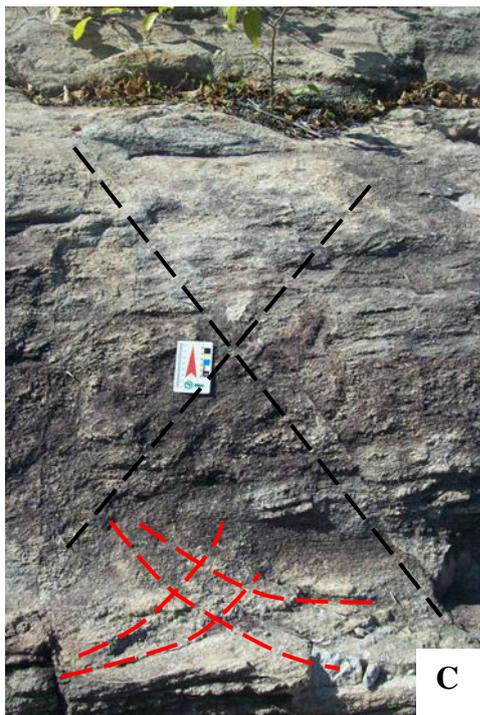
Fonte: Elaborada pela autora

4.2.4 Arenito médio a grosso

Essas rochas possuem grãos de tamanhos variando de médio a grossos e foram encontrados nos pontos de afloramento P-13, P-14, P-15 e P-16 (Figura 10). Os afloramentos estudados possuem espessuras de até 5 m, estendendo-se lateralmente por dezenas de metros. A rocha possui coloração amarela esbranquiçada (Figura 19 A), por vezes, com manchas avermelhadas (Figura 19 B) e estratificação cruzada tabular (Figura 19 C).

Figura 19 - [A] Afloramento fácies arenítica; [B] Rocha arenito médio com manchas avermelhadas; [C] Afloramento apresentando estratificações cruzadas acanaladas





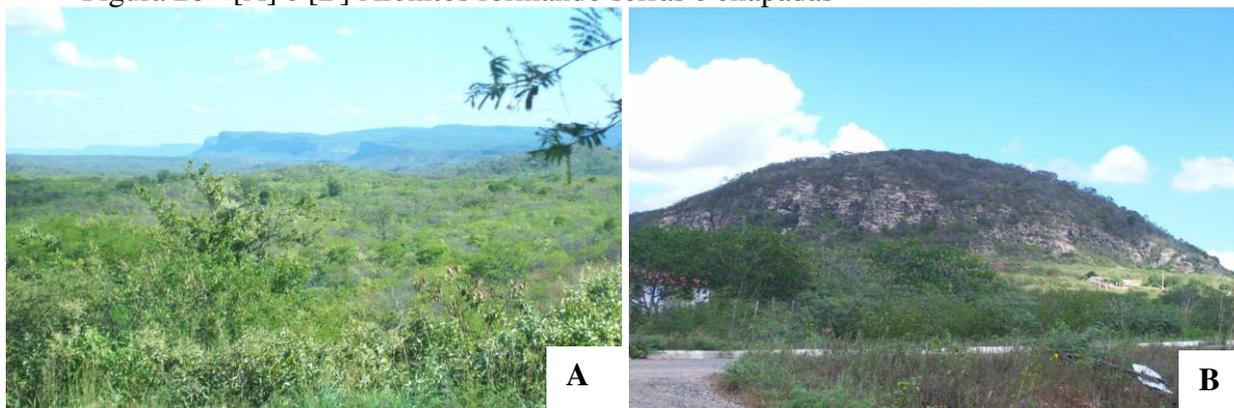
Fonte: Elaborada pela autora

O arcabouço é constituído por grânulos ou pequenos seixos de quartzo e feldspatos, que se encontram dispersos em uma matriz caulínica e arenítica. Os clastos são moderadamente selecionados, variando de subangulosos a subarredondados, conferindo a rocha maturidade moderada, tanto textural como composicional. As camadas encontram-se basculadas apresentando mergulhos de 17° para 105° Az.

4.3 Guaraciaba do Norte (Bacia do Parnaíba)

O município de Guaraciaba do Norte localiza-se na Serra da Ibiapaba e compreende a borda leste da Bacia do Parnaíba. Nessa região ocorrem arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados pertencentes à Formação Ipú, que apresentam grandes exposições, formando serras e chapadas de direção NE-SW (Figura 20 A e B).

Figura 20- [A] e [B] Arenitos formando serras e chapadas

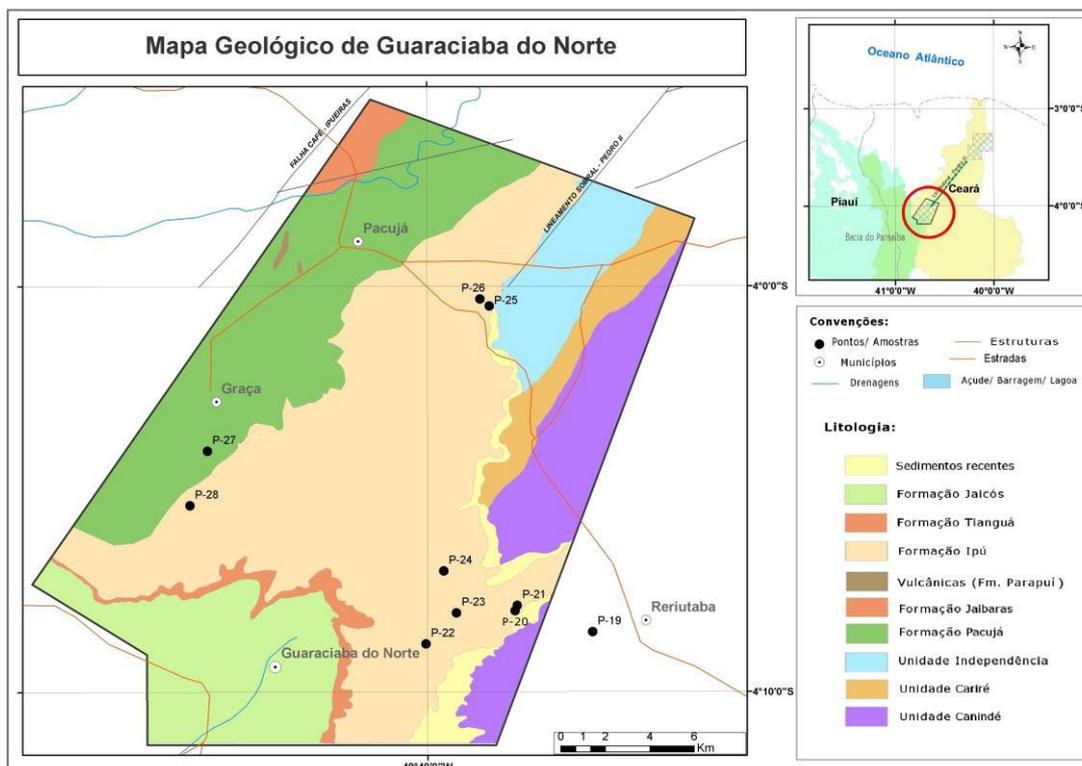


Fonte: Elaborada pela autora.

A área encontra-se delimitada a leste por sedimentos da Bacia do Jaibaras e a oeste pelo Lineamento Sobral-Pedro II. A reativação deste segmento do Lineamento Transbrasiliiano é considerada como a responsável pelo basculamento das camadas, apresentando mergulhos mais suaves, quando comparados com a porção aflorante nas proximidades do município de Santana de Acaraú. As medidas de paleocorrente para essas rochas indicam direções para norte e para oeste (Santos e Carvalho,2004).

Os afloramentos estudados localizam-se na base da Serra da Ibiapaba , nas proximidades município de Guaraciaba do Norte (Figura 21).

Figura 21 - Mapa geológico com os afloramentos visitados, nas proximidades da região de Guaraciaba do Norte.



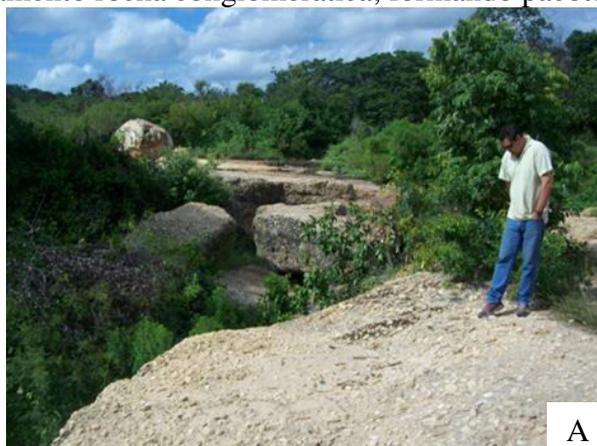
Fonte: Modificado de Cavalcante et al., 2003.

Para uma melhor caracterização dos afloramentos estudados na área, informações descritas por Santos e Carvalho, 2004, em rochas da Formação Ipú próximo a Serra da Ibiapaba, foram compiladas, permitindo caracteriza-los em: conglomerados polimiticos, arenitos conglomeráticos e arenitos medio a grossos, descritas a seguir:

4.3.1 Conglomerados

Os conglomerados foram encontrados na porção sudeste da área, próxima ao contato com sedimentos coluvionares e compreende os pontos P-22 e P-24 (Figura 21). Os afloramentos apresentam coloração amarela-esbranquiçada e chegam a formar extensos pacotes sedimentares, de até 30 metros (Figura 22).

Figura 22 - [A] Afloramento rocha conglomerática, formando pacotes sedimentares



Fonte: Elaborada pela autora

As rochas são classificadas como conglomerados polimíticos, do tipo clasto-suportados e maciços. Possuem o arcabouço composto por grânulos, seixos, calhaus de quartzo, quartzitos e fragmentos líticos. Estes grãos possuem tamanhos variando entre 3 a 15 cm e estão envolvidos por uma matriz de composição arenítica (Figura 23).

Figura 23 - Rocha apresentando arcabouço constituído por grânulos, seixos, calhaus de quartzo e fragmentos líticos, com tamanhos de ate 12 cm.



Fonte: Elaborada pela autora

Esta fácies constitui a mais conglomerática entre os afloramentos, apresentando baixa maturidade textural e mineralógica, evidenciada pela presença de seixos subangulosos a angulosos, com baixa esfericidade e sem orientação preferencial.

4.3.2 Conglomerado Arenítico

O afloramento classificado como conglomerático arenítico é representado pelo ponto P-23 e encontra-se na porção mais ao norte da área (Figura 21). As camadas que formam esses paraconglomerados podem atingir dezenas de metros e encontram-se subhorizontalizadas apresentando mergulho de 2° para 240° (Figura 24). A rocha é moderadamente selecionada e submatura texturalmente e composicionalmente.

Figura 24 - Afloramento conglomerado arenítico apresentando camadas sub-horizontais



Fonte: Elaborada pela autora

O arcabouço da rocha é formado por grânulos e seixos de quartzo, feldspato potássico e fragmentos líticos, com tamanhos de até 4 cm. Os grânulos são preferencialmente angulosos, compostos de feldspatos e fragmentos líticos, e os seixos são preferencialmente quartzosos e subarredondados, envolvidos em uma matriz areno-argilosa (Figura 25).

Figura 25 - Rocha constituída por grânulos e seixos de quartzo, feldspato potássico e fragmentos líticos.



Fonte: Elaborada pela autora

4.3.3 Arenito Conglomerático

Os afloramentos de arenitos conglomeráticos correspondem aos pontos P-19, P-20 e P-28, ocorrem constituindo extensos pacotes de até 30 metros, com coloração amarelo esbranquiçado a amarelo avermelhado. (Figura 26). As camadas que formam essa sequência estão subhorizontalizadas, com mergulhos entre 10° para 330° Az e 45° para 310° Az.

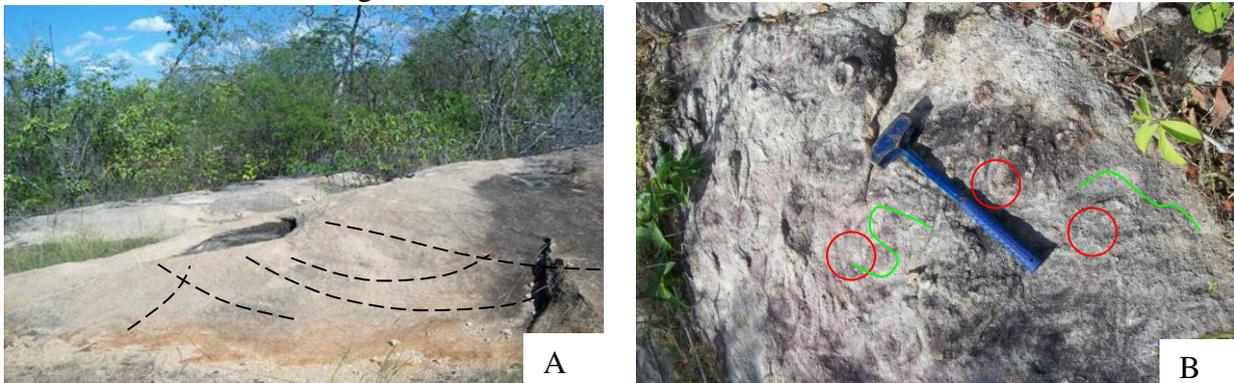
Figura 26 - Rocha arenito conglomerático. Os afloramentos chegam a formar extensos pacotes de até 30 metros de extensão.



Fonte: Elaborada pela autora

A rocha é classificada como arenito conglomerático, com presença de estratificações cruzadas acanaladas (Figura 27 A) e icnofósseis (Figura 27 B).

Figura 27 - [A]: Rocha apresentandoestratificações cruzadas acanaladas; [B]: Icnofósseis *Circulichnis* (indicados nos círculos vermelhos) e *Palaeophycus* (Tubos em verde) associados a Fáceis arenítica conglomerática.



Fonte: Elaborada pela autora

Mineralogicamente, seu arcabouço é formado pelo predomínio de grânulos de quartzo e alguns feldspatos, envolvidos em uma matriz de composição areno-argilosa (Figura 28). Esses grãos encontram-se subarredondados a subangulosos.

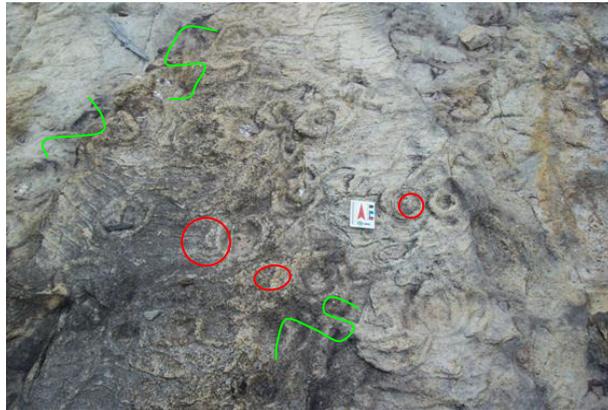
Figura 28 -Aspecto macroscópico da rocha, presença de grânulos de quartzo e feldspatos



Fonte: Elaborada pela autora

Os icnofósseis encontrados pertencem à mesma icnofácie encontrada nos afloramentos estudados no morrote de Santana e estão representados pelos icnogêneros *Circulichnis*, encontrados como pares de círculos circunscritos ou sob forma ovalar não ramificado, e *Palaeophycus*, que constituem organismos de rastejamento, formando tubos horizontais (Figura 29).

Figura 29 - Icnofósseis *Circulichnis* (indicados nos círculos vermelhos) e *Palaeophycus* (Tubos em verde)

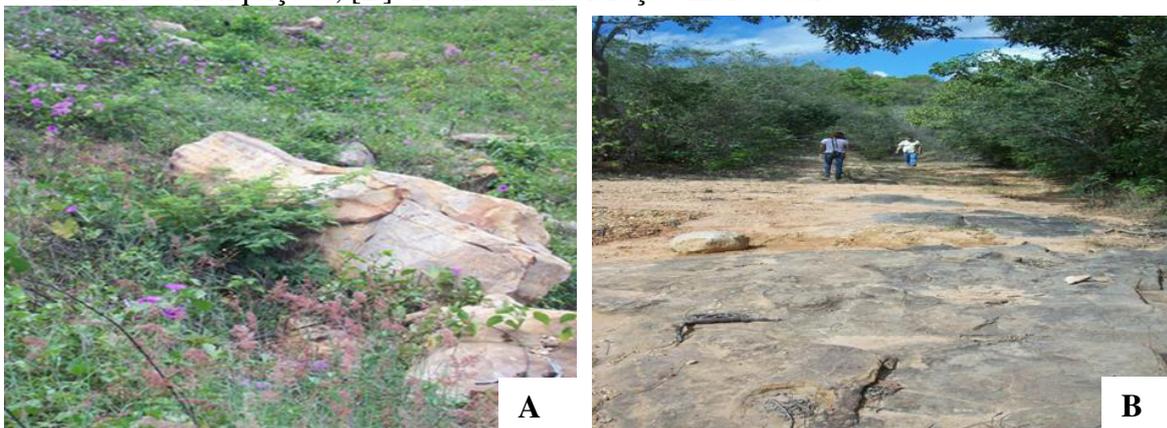


Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.4 Arenito médio a grosso

Os arenitos médios a grossos correspondem aos pontos P-25 e P-26 e localizam-se nas porções mais centrais da área (Figura 21). Os afloramentos possuem espessuras variando de 1 a 5 m, estendendo-se lateralmente por dezenas de metros e apresentando coloração amarela esbranquiçada, por horas com manchas avermelhadas (Figura 30).

Figura 30: Afloramento de arenitos médios a grossos; [A] Rocha apresentando coloração amarela esbranquiçada; [B]: Rocha com coloração mais escura.



Fonte: Elaborada pela autora

O arcabouço é constituído por grãos de quartzo e feldspatos dispostos numa matriz formada por quartzo e argilominerais. Os grãos apresentam-se subangulosos a subarredondados, conferindo à rocha moderada seleção e maturidade tanto textural como composicional (Figura 31).

Figura 31: Aspecto macroscópico da rocha, apresentando grânulos de quartzo e feldspato potássico



Fonte: Elaborado pela autora

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização petrográfica

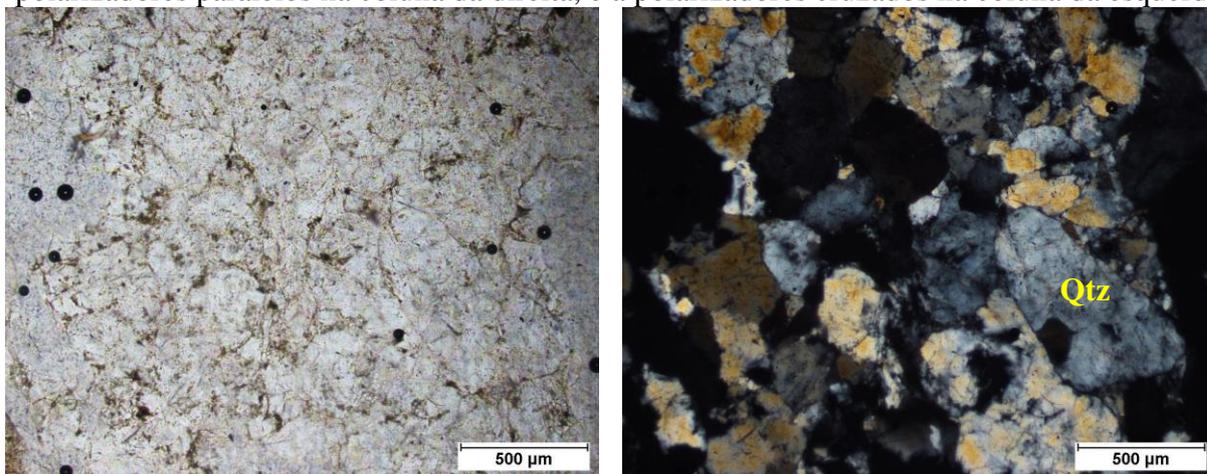
5.1.1 Santana de Acaraú

5.1.1.1 Arenitos conglomeráticos (P-06, P-08, P-10, P-14)

Amostra P-06

A amostra é considerada madura texturalmente, supermadura mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e mal selecionada. O arcabouço constitui cerca de 92 %, da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo. Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si, indo de pontuais a longos (Figura 32).

Figura 32: Fotomicrografia da amostra P-06. Microscopicamente a rocha apresenta-se mal selecionada. Arcabouço constituído por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



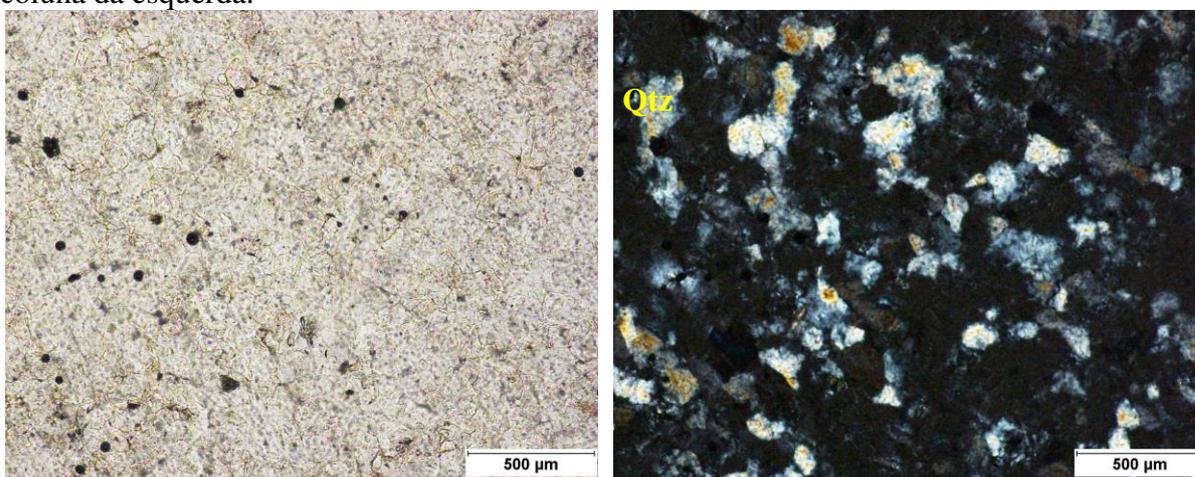
Fonte: Elaborada pela autora

A matriz constitui cerca de 3% da amostra e possui composição arenítica. O cimento é silicoso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 5%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

Amostra P-08

A amostra é considerada madura tanto texturalmente como mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e moderadamente selecionada. O arcabouço constitui cerca de 90 %, da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo. Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si, indo de pontuais a tangenciais (Figura 33).

Figura 33: Fotomicrografia da amostra P-08. Microscopicamente a rocha apresenta-se moderadamente selecionada, com arcabouço constituído por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



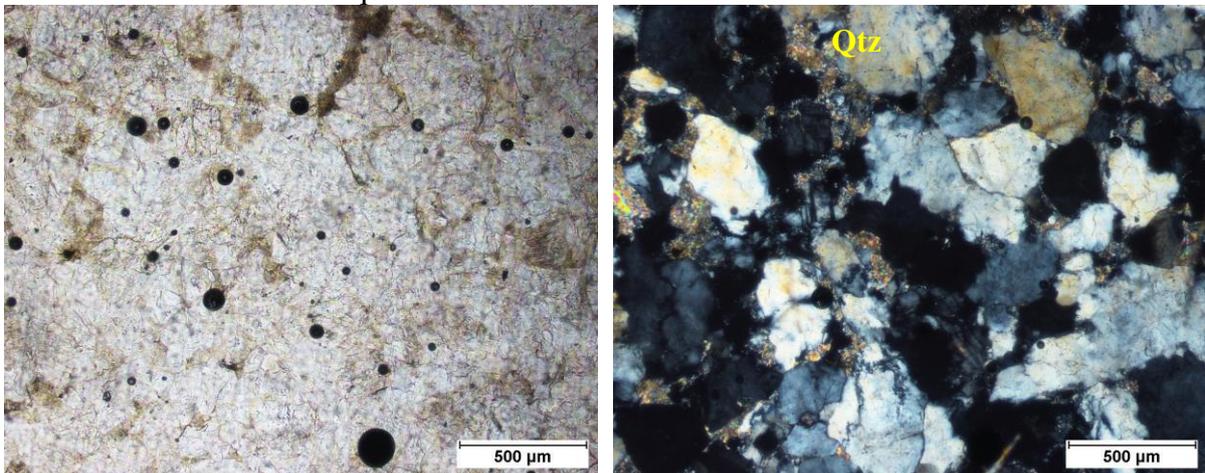
Fonte: Elaborada pela autora

A matriz constitui cerca de 3% da amostra possui composição arenítica. O cimento é silicoso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 7%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

Amostra P-10

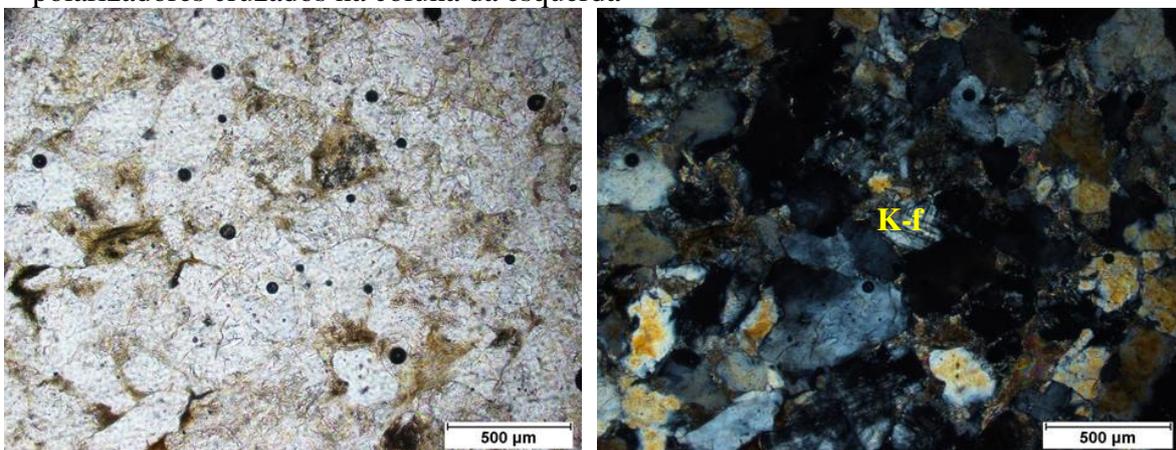
A amostra é considerada madura, tanto texturalmente como mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e bem selecionada. O arcabouço constitui cerca de 86% da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo com alguma ocorrência de feldspato potássico, muscovita, e plagioclásio (Figuras 34, 35, 36 e 37, respectivamente). Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e com baixa esferecidade, com contatos entre si, indo de tangenciais a longos.

Figura 34: Fotomicrografia da amostra P-10. Microscopicamente a rocha apresenta-se bem selecionada, com arcabouço constituído por quartzo e matriz formada por quartzo e argilominerais. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda



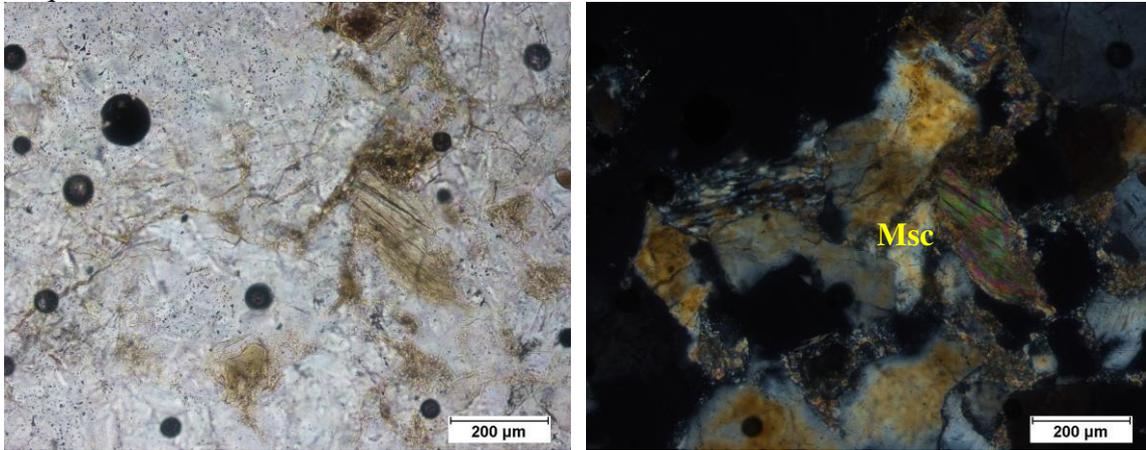
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 35: Fotomicrografia da amostra P-10. Arcabouço constituído por quartzo e ocorrência de feldspato potássico. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda



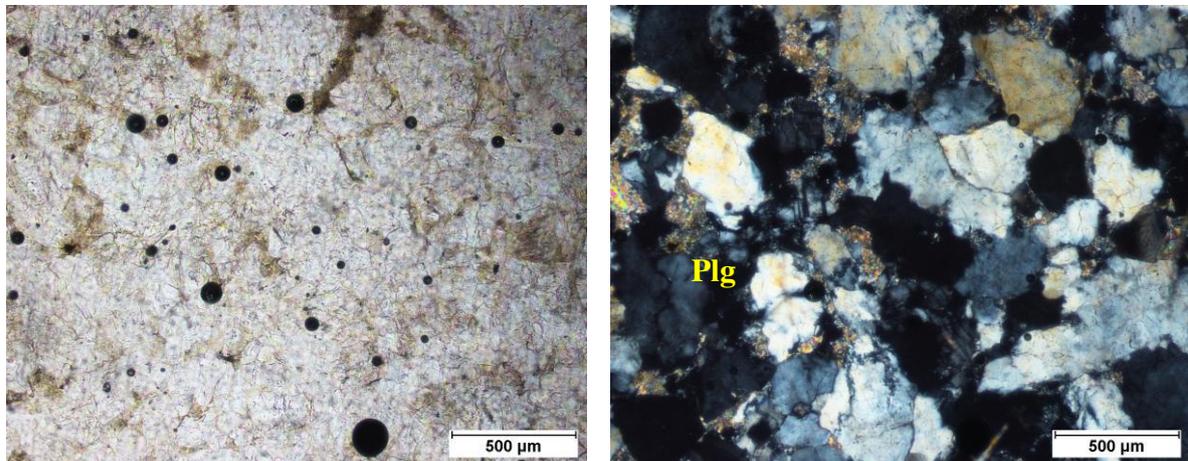
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 36: Fotomicrografia da amostra P-10. Ocorrência de muscovita no arcabouço. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 37: Fotomicrografia da amostra P-10. Ocorrência de plagioclásio no arcabouço. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



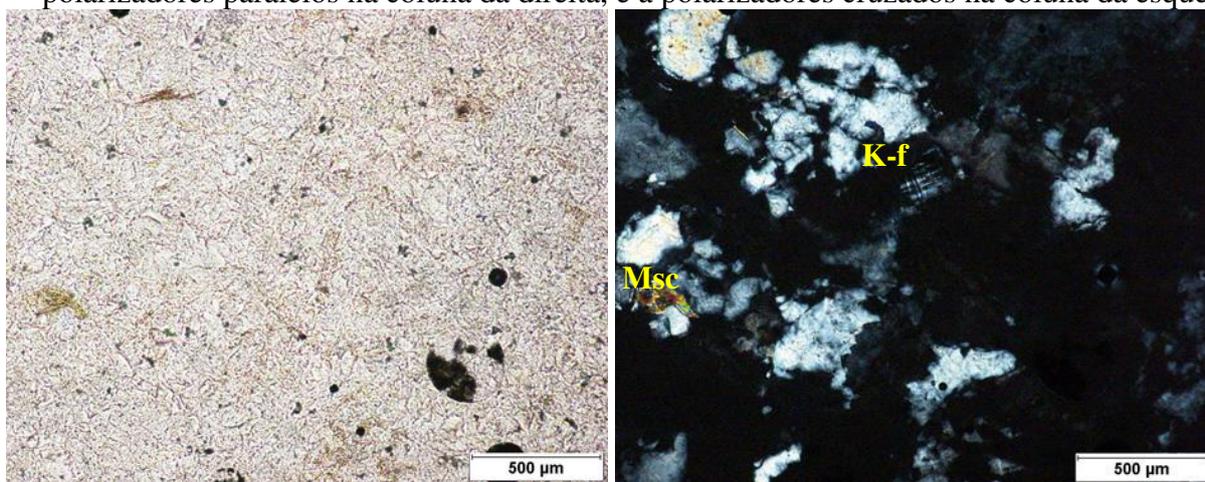
Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz compõe cerca de 6% da amostra e é formada por quartzo e argilominerais. O cimento é argiloso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 8%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

Amostra P-14

A amostra é considerada submadura texturalmente, madura mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e mal selecionada. O arcabouço constitui cerca de 91 %, da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo, com alguma ocorrência de muscovita e feldspato potássico (Figura 38).

Figura 38: Fotomicrografia da amostra P-14. Ocorrência de feldspato potássico. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz ocorre de maneira disseminada (2%) e possui composição arenítica. O cimento é silicosos com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 7%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964). Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si, indo de pontuais a longos.

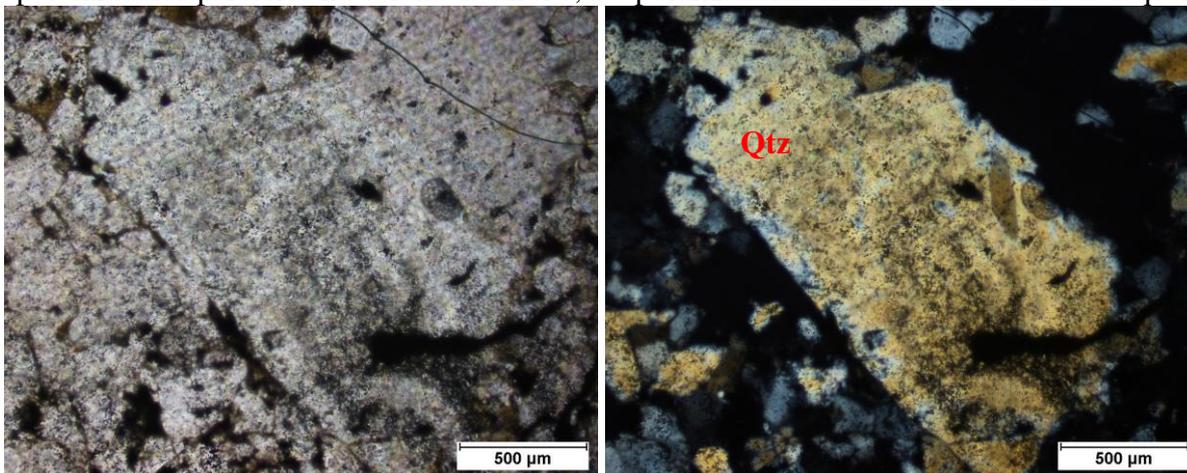
5.1.1.2 Conglomerado arenítico

Amostra P-17

A amostra é considerada submadura texturalmente, madura mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e pobremente selecionada. O arcabouço constitui cerca de 88 %, da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo.

Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade, com contatos entre si variando de tangenciais a longos (Figura 39).

Figura 39 - Fotomicrografia da amostra P-17. Microscopicamente a rocha apresenta-se mal selecionada, com arcabouço formado por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz compõe cerca de 4% da rocha e possui composição arenítica. O cimento é argiloso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 8%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

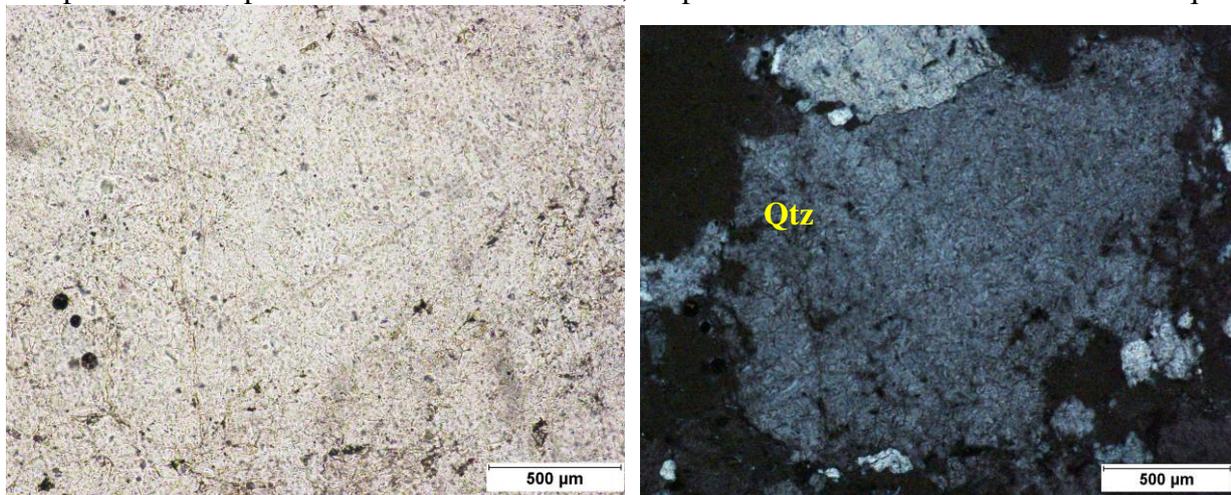
5.1.2 *Guaraciaba do Norte*

5.1.2.1 *Conglomerados*

Amostra P-21

A amostra é considerada submadura, texturalmente, supermadura mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e pobremente selecionada. O arcabouço constitui cerca de 91%, da rocha e é formado exclusivamente por grãos de quartzo. Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si, indo de pontuais a longos (Figura 40).

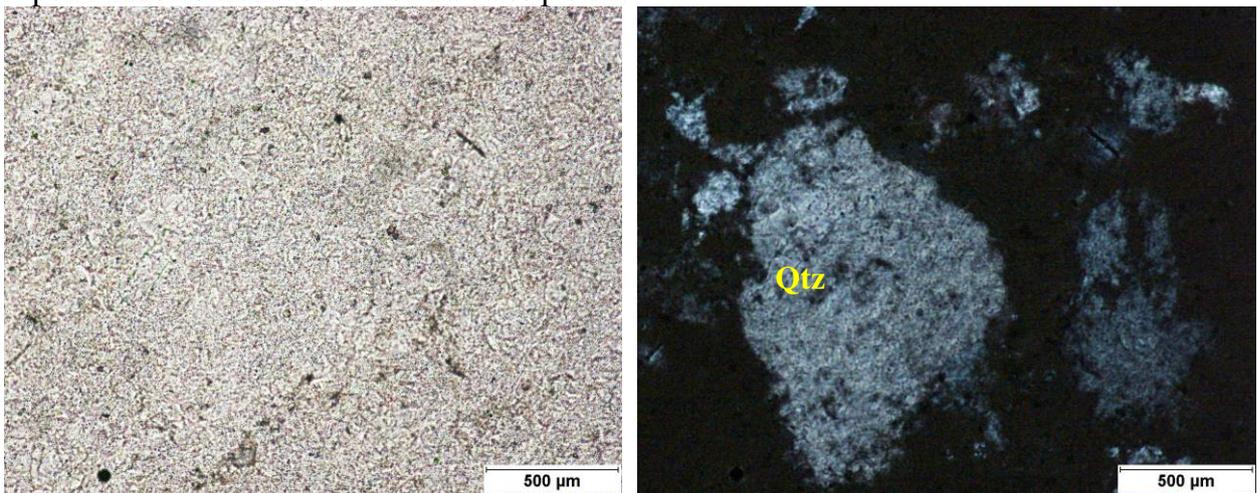
Figura 40: Fotomicrografia da amostra P-21. Microscopicamente a rocha mostra-mal selecionada, com arcabouço formado por quartzo e matriz de composição arenítica. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz ocorre em pequena quantidade (2%) e de composição arenítica. O cimento é silicoso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 7% (Figura 41). Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

Figura 41: Fotomicrografia da amostra P-21. Microscopicamente a rocha apresenta matriz arenítica e cimento silicoso. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



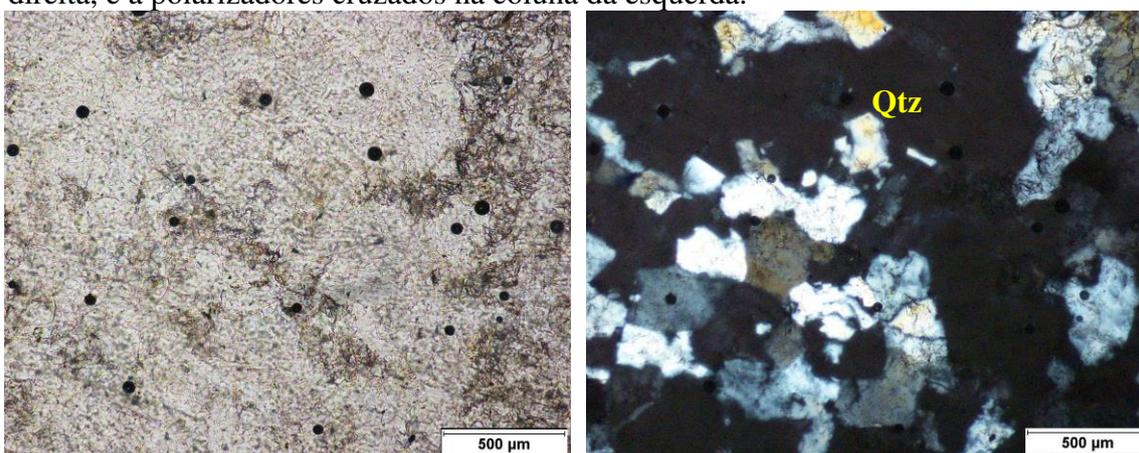
Fonte: Elaborada pela autora.

5.1.2.2 Arenitos conglomerados

Amostra P-23

A amostra é considerada submadura, texturalmente, supermadura mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e moderada selecionada. O arcabouço é o componente singenético mais abundante, constituindo cerca de 94%, e formado exclusivamente por grãos de quartzo. Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si variando de pontuais a tangenciais (Figura 42).

Figura 42: Fotomicrografia da amostra P-23. Microscopicamente a rocha mostra-se com arcabouço formado por quartzo e matriz disseminada, de composição arenítica. O contatos entre os grãos varia de pontual a tangencial. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora.

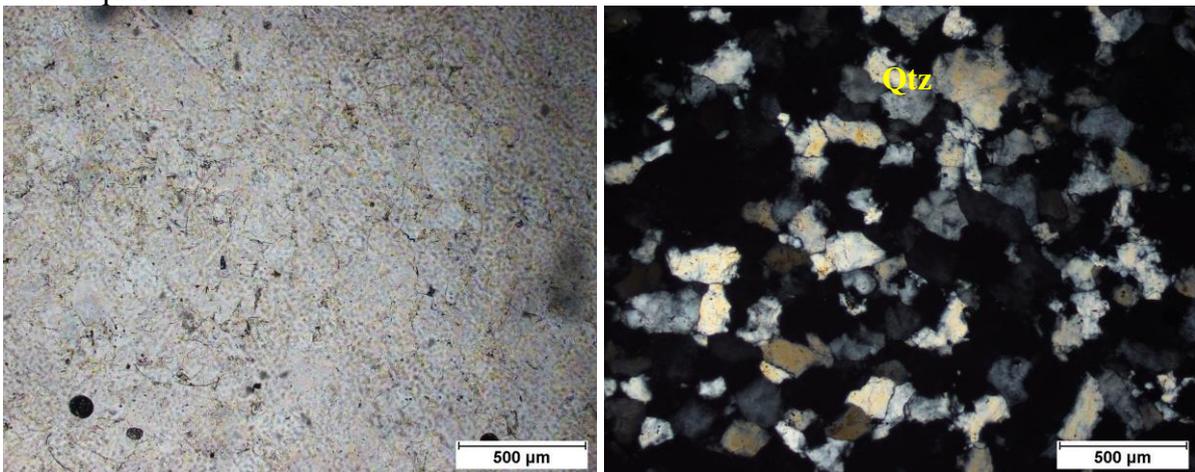
A matriz ocorre em quantidade disseminada (1%) e de composição arenítica. O cimento é silicoso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 5%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

5.1.2.3 Arenitos médios a finos

Amostra P-26

A amostra é considerada madura, tanto texturalmente como mineralogicamente (Folk, 1974, Pettijohn, Potter & Siever, 1987) e moderada a bem selecionada. O arcabouço é o componente singenético mais abundante, constituindo cerca de 94%, e formado exclusivamente por grãos de quartzo. Morfologicamente, os grãos encontram-se subangulosos a angulosos e baixa esferecidade com contatos entre si variando de pontuais a tangenciais (Figura 43).

Figura 43: Fotomicrografia da amostra P-26. Microscopicamente a rocha mostra-se com arcabouço formado por quartzo, com contatos entre si variando de pontuais a tangenciais. Imagens a polarizadores paralelos na coluna da direita, e a polarizadores cruzados na coluna da esquerda.



Fonte: Elaborada pela autora.

A matriz ocorre em quantidade disseminada (1%) e de composição silicosa. O cimento é silicoso com textura de poro envolvente e quantidade de, aproximadamente, 5%. Devido a baixa quantidade de matriz e a presença predominante de quartzo a amostra é classificada como quartzo-arenito (Dott, 1964).

5.2 Geologia Isotópica - Dados analíticos de Sm-Nd

Um total de oito amostras foram analisadas pelo método isotópico Sm-Nd em rocha total, porém, apenas cinco mostraram resultados satisfatórios. As amostras foram coletadas próximo às cidades de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte e os resultados estão apresentados abaixo, na Figura 44:

Figura 44: Resultados das assinaturas isotópicas Sm-Nd das amostras analisadas. Resultados satisfatórios grifados

Amostra	Localização	Sm(ppm)	Nd(ppm)	147Sm/144Nd	143Nd/144Nd ± 2 SE	eNd	TDM(Ga)	Região
P-05	377177/9631876	4.184	10.123	0.2498	0.511726+/-18	-17.79		S. Acaraú
P-10	369861/9622612	7.063	29.322	0.1456	0.511624+/-12	-19.77	3.21	S. Acaraú
P-14	374288/9628334		13.628		0.511758+/-68	-17.17		S. Acaraú
P-017	364708/9614710	4.728	26635	0.1073	0.511635+/-5	-19.56	2.00	S. Acaraú
P-21	314932/9541428	2.440	16456	0.0896	0.511623+/-13	-19.79	1.73	G. do Norte
P-23	315730/9544746	602.841	30.682		0.511763+/-13	-17.07		G. do Norte
P-25	317363/9557106	2.536	13146	0.1166	0.511605+/-25	-20.15	2.25	G. do Norte
P-28	304220/9546448	1.026	4065	0.1525	0.511694+/-27	-18.41	3.43	G. do Norte

Fonte: Elaborada pela autora.

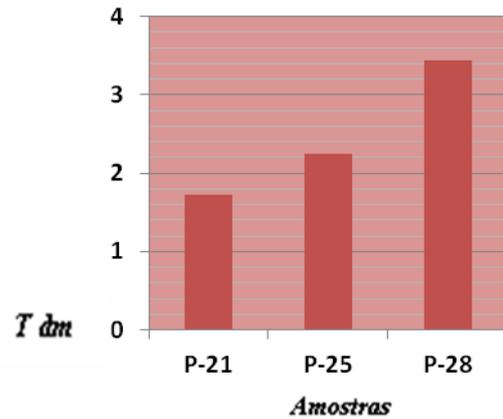
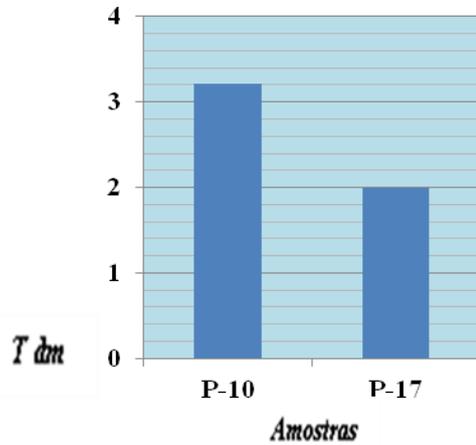
Para as amostras que não apresentaram Tdm, denota-se, segundo o laboratório responsável pelas análises, que houve problemas durante a diluição das amostras nas colunas e instabilidade do equipamento na hora da análise.

Quanto às amostras que apresentaram resultados coerentes, histogramas com as idades modelo obtidas, estão apresentados na figura 45:

Figura 45: Histograma com a relação das amostras analisadas e suas idades modelo obtidas para as áreas da pesquisa. À esquerda, resultados das idades das amostras de Santana de Acaraú e, a direita, Guaraciaba do Norte

Santana de Acaraú

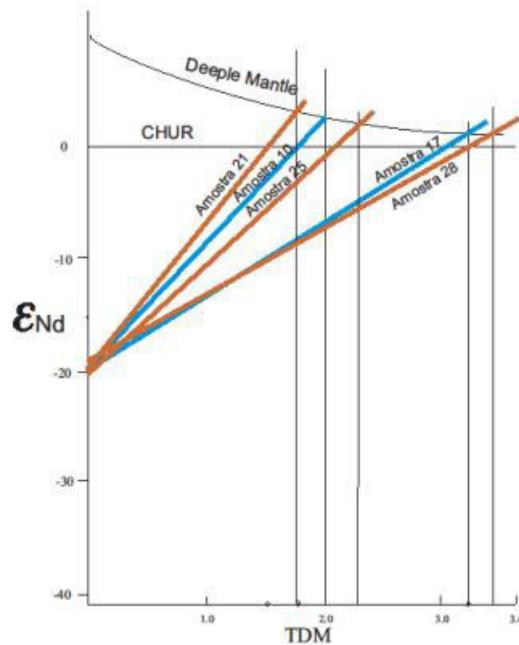
Guaraciaba do Norte



Fonte: Elaborada pela autora.

Gráfico com as idades TDM *versus* $\epsilon Nd(0)$, para as duas áreas, está apresentado na figura 46.

Figura 46: Gráfico as idades Tdm obtidas *versus* $\epsilon Nd(0)$ para as duas bacias



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados das análises indicam que as idades modelo TDM estão situadas entre 2 - 3,21 Ga e 1,73 -3,43 G.a, para as amostras localizadas nas proximidades das regiões de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, respectivamente, constatando áreas fontes com contribuição arqueana e paleoproterozóica para os arenitos.

5.2.1 Rochas analisadas neste estudo

Oito amostras representativas da Formação Ipú foram analisadas. Dessas, quatro foram coletadas nas proximidades da região de Santana de Acaraú e quatro próximo a cidade de Guaraciaba do Norte. Apenas cinco amostras apresentaram resultados significativos e suas características estão apresentadas a seguir:

5.2.1.1 Santana de Acaraú

Em Santana de Acaraú, as amostras analisadas correspondem aos fácies conglomeráticos e areníticos conglomeráticos.

Amostra P-10

A amostra P- 010 corresponde a fácies arenítica conglomerática, e apresentou idade Tdm de 3.21 Ga, indicando contribuição de fontes arqueanas. Os valores encontrados para as concentrações de Sm foram de 7.063 ppm e para Nd foi de 29.322 ppm, sendo o valor mais alto encontrado entre as amostras analisadas.

Amostra P-17

A amostra P-17 corresponde a fácies conglomerática e apresentou idade Tdm de 2 Ga, indicando contribuição de fontes paleoproterozóicas. Os valores encontrados para as concentrações de Sm foram de 4.728 ppm e para Nd foi de 26.635 ppm.

5.2.1.2 Guaraciaba do Norte

Em Guaraciaba do Norte, as amostras analisadas correspondem as fácies conglomeráticas e areníticas conglomeráticas. Medidas de paleocorrentes feitas por Santos e Carvalho, 2009, indicam direções para norte e oeste.

Amostra P-21

A amostra corresponde a fácies conglomerática e apresentou idade de 1.73 Ga, indicando contribuição de fontes paleoproterozóicas. Os valores encontrados para as concentrações de Sm foram de 2.440 ppm, e para Nd foi de 16.456 ppm.

Amostra P-25

A amostra P- 025 corresponde a facie arenítica conglomerática e apresentou idade de 2.25 Ga, indicando contribuição de fontes arqueanas. Os valores encontrados para as concentrações de Sm foram de 2.536 ppm e para Nd foi de 13.146 ppm.

Amostra P-28

A amostra P- 028 corresponde a fácies arenítica conglomerática, e apresentou idade de 3.43 Ga, indicando contribuição de fontes arqueanas. As os valores encontrados para as concentrações de Sm foram de 1.026 ppm, e para Nd foi de 4.065 ppm.

6 CONCLUSÕES

A partir do mapeamento foi possível reconhecer rochas conglomeráticas e conglomerados areníticos, com características polimiticas e arenitos conglomeráticos e arenitos médio a grossos, ambos com presença de estratificações cruzadas acanaladas e icnofósseis, nas duas áreas.

Microscopicamente, as rochas também mostram semelhantes, quanto à textura e composição, com arcabouço constituído, em sua maioria, por quartzo (85%), sendo caracterizadas como submaturas, devido ao baixo percentual de matriz (2-6 %) e cimento areno-argiloso.

A análise isotópica, revelou idades entre 2 - 3,21 Ga e 1.73 -3,43 G.a, para as rochas coletadas nas proximidades das regiões de Santana de Acaraú e Guaraciaba do Norte, respectivamente, constatando áreas fontes com contribuição arqueana e paleoproterozóica para ambas as áreas. Além disso, os valores de ϵNd não tem variação significativa, indicando que as fontes são as mesmas.

Portanto, os resultados obtidos na petrografia e as pequenas diferenças das assinaturas isotópicas permitem evidenciar o corpo arenítico de Santana de Acaraú como um morro testemunho da Formação Ipú, na Bacia do Parnaíba.

Recomenda-se a continuação dos estudos no corpo arenítico de Santana do Acaraú e nos arenitos pertencentes à Formação Ipú, buscando ainda mais indícios que comprovem que se trata da mesma formação. Para tanto se sugere um refinamento dos paleoambientes deposicionais através de um minucioso estudo faciológico e paleocorrentes e a integração desses resultados com os dados estruturais e isotópicos, para a composição de um modelo tectônico que possa interpretar a evolução dos arenitos basais do Grupo Serra Grande.

REFÊRENCIAS

- ALMEIDA, F. F. M., 1977. **O Cráton do São Francisco**. Rev. Bras. De Geociências, 7: 349-64.
- ALMEIDA, F.F.M. de; CARNEIRO, C.D.R. 2004. **Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados**.
- ARCHANJO, C. J.; HOLLANDA, M. H. B. M.; RODRIGUES, S. W. O; BRITO NEVES, B. B.; ARMSTONG, R. **Fabrics of pre- and syntectonic granite plutons and chronology of shear zones in the Eastern Borborema Province, NE Brazil**. Journal of Structural Geology, v. 30, p. 310-336, 2008.
- ARTHAUD, M.H., NOGUEIRA NETO, J.A., WERNICK, E. 2003. **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for assembly of West Gondwana**. Gondwana Research, 6: 265-273.
- ARTHAUD, M. H. 2007. **Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental Brasileira**. Tese de Doutorado, UnB – Brasília, DF.
- BAYON, G.; GERMAN, C.R; BOELLA, R.M.; MILTON J.A.; TAYLOR R.N.; NESBIT R.W. (2002). **An improved method for extracting marine sediment fractions and its application for Sr and Nd isotope analysis**. Chemical Geology, 187, 179-199.
- BRITO NEVES, B. B., 2000. **Tectonic history of the Borborema Province, NW Brazil**. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds), **Tectonic Evolution of South America**. CPRM, Rio de Janeiro, 151-182pgs.
- CABY, R.; ARTHAUD, M., 1986. **Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil**. Geology, 14: 871-874.
- CABY, R.; SIAL, A.; ARTHAUD, M. H.; VAUCHEZ, A. **Crustal Evolution and Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil**. In: DALLMEYER, R. D. & LECORCHÈ, J. P. (ed.) **The West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives**, Springer-Verlag, 1991. p. 373-397.
- CARVALHO, J. A. (2005). **Caracterização Macro, Meso e Microscópica das Estruturas Frágeis do Corpo Arenítico Conglomerático da Região de Santana do Acaraú (CE) e seu Embasamento Circundante**. Dissertação do Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal.
- CARVALHO, M. J. (2003). **Estruturação do Grupo Serra Grande na Região de Santana do Acaraú (CE) e a Reativação do Lineamento Sobral Pedro II: Integração com Dados Geofísicos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal
- CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., MEDEIROS, M.F., Paiva, I.P., GOMES, F.E.M., CAVALCANTE, S.N., CAVALCANTE, J.E., MELO, A.C.R., DUARTE NETO,

V.C. & BENEVIDES, H.C. 2003. **Mapa Geológico do Estado do Ceará** – Escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia, CPRM.

CAPUTO, M.V.; LIMA, E.C. **Estratigrafia, idade e correlação do grupo Serra Grande–Bacia do Parnaíba**. In: Congresso Brasileiro De Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, SBG, 1984. p. 740–752.

CORDANI, U.G., PIMENTEL, M.M., ARAÚJO, C.E.G., FUCK, R.A., 2013. **The significance of the - Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of West Gondwana**. Brazilian Journal of Geology 43, 583-597.

COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B. & LINS, C.A.C.; BACCHIEGA, I.F.; HABEKOST, C.R.; CRUZ, W.B. - 1979 - **Geologia da Bacia do Jaibaras: Ceará, Piauí e Maranhão**, Projeto Jaibaras. Dep. Nac. Prod. Min., 14:11-106.

DEPAOLO, D.J. (1981). **Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and implications for crust formation and mantle evolution in the Proterozoic**. Nature, 291: 193-197.

DEPAOLO, D.J. (1988). **Neodymium Isotope Geochemistry**, na introduction. Springer-Verlag, 187 p.

DESTRO, N., SZATMERI P., LADEIRA E.A. (1994). **Post-Devonian transpressional reactivation of a Proterozoic ductile shear zone in Ceara, NE Brazil**. Journal of Structural Geology, v. 16, p. 35-45.

DOTT, R.H., Jr. **Wacke, greywacke and matrix – what approach to immature sandstone classification?** Jour. Sed. Petrology, v.34, pp. 625-632, 1964

FAURE, G. (1986). **Principles of Isotope Geology**. Wiley, New York. 589

FETTER, A.H. 1999. **U–Pb and Sm–Nd Geochronological constraints on the crustal framework and geological history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana**. PhD. Thesis, Kansas University.

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

FOLK, R.L. **Petrology of sedimentary rocks** (2nd ed.). Austin (Texas, USA), Hemphill's bookstore, 184 p., 1974.

GALVÃO, C. C. - 2002 - **Mapeamento Geológico Estrutural da Região Nordeste de Santana do Acaraú-CE, Com Ênfase a Deformação Frágil**. Relatório de Graduação, UFRN, 60p, Natal, RN.

GIOIA, S. M. L. C.; PIMENTEL, M. M. (2000). **The Sm-Nd Isotopic Method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília**. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, 72: 219-245.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ J.F. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.57-67. 1994.

GÓES, A. M. A formação poti (carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba. 1995. 172 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GÓES, A. M.; COIMBRA, A. M. **Bacias sedimentares da província sedimentar do meio-norte do Brasil**. In: Simpósio De Geologia Da Amazônia, 5., 1996, Belém. Resumos. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p.186-187.

HACKSPACHER, P.C.; SOARES, J.W.; PETTA, P.A. 1988. **A geologia do Grupo Ubajara - Região de Frecheirinha**. In: Cong. Bras. Geol., 35. Belém, Anais... Belém, v. 6. p. 2661-2677.

HOFMANN, A.W.; JOCKUM, K.P.; SEUFERT, M.; WHITE, W.M. 1986. **Nd and Pb in oceanic basalts: new constrains on mantle evolution**. Earth Plan. Sci. Lett., 79:33-45.

JACOBSEN, S.B. & WASSERBURG, G.J. 1980. **Sm/Nd isotopic evolution of chondrites**. Earth Planet. Sci. Letters, 50:139-155;

JACOBSEN, S.B. & WASSERBURG, G.J. 1984. **Sm-Nd evolution of chondrites and achondrites, II**. Earth Planet. Sci. Lett., 67:137-150

JARDIM DE SÁ, E. F. 1994. **A Faixa Seridó (Província Borborema, Nordeste do Brasil) e seu significado na cadeia brasileiro - pan-Africana**. Thesis. Universidade de Brasília. Brasília, 803pp. (unpublished Doctorete thesis).

MARTINS, G, 2000, **Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró**. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 218 p.

MARTINS, G., OLIVEIRA, E.P., LAFON, J.M. 2009. **The Algodões amphibolite– tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil: geochemical and geochronological evidence for Palaeoproterozoic accretion of oceanic plateau/back-arc basalts and adakitic plutons**. Gondwana Research, 15: 71-85.

MCCULLOCH, M.T.; WASSERBURG, G.J. (1978). **Sm-Nd and Rb-Sr Chronology of Continental Crust Formation**. Science, 200: 1003-1011.

MCLENNAN, S.M.; TAYLOR, S.R.; MCCULLOCH, M.T.; MAYNARD, J.B. (1990). **Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate-tectonic associations**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54: 2015-2050.

NOGUEIRA NETO, J. A. **Evolução Geodinâmica das Faixas Granulíticas de Granja e Cariré, Extremo Noroeste da Província Borborema**. 2000. 171 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, D. C. de MOHRIAK, W.U. – 2003 – **Jaibaras Trough: An Important Element in the Early Tectonic Evolution of the Parnaíba Interior Sag Basin**, Northern Brazil. Marine and Petroleum Geology 20. 351-383p.

- PEDREIRA, L.H.S.T. & TORQUATO, J.R.F -1991- **Formação São Joaquim Base do Grupo Martinópolis ou Grupo São Joaquim?** Atas XIV Simpósio de geologia do nordeste Recife-PE.
- PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E. & SIEVER, R. 1973. **Sand and sandstone**. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag.
- RODRIGUES, R. 1967. **Estudo Sedimentológico dos depósitos Silurianos e devonianos da Bacia do Parnaíba**. Belém. Petrobrás, 61p. (Relatório Técnico).
- SANTOS, E. J. AND MEDEIROS, V. C. 1998. **New insights on Grenville age and Brasiliano plutonism of the Transversal Zone, Borborema Province, NE Brazil**. Actas x Congresso Lafiniamenricano de Geologia, y Congreso National de Geologia Econômica, Mar Del Plata, Uruguai, 2, 427-431.
- SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M.S.S. de. (2004). **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís: Reconstituições Paleobiológicas**. 2. ed. Rio de Janeiro: CPRM (Serviços Geológicos do Brasil).
- SANTOS, T. J. S ; FETTER, A. H.; HACKSPACHER, P. C.; SCHMUS, W. R. V.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Neoproterozoic Tectonic and Magmatic Episodes in the NW Segment of the Borborema Province, NE Brazil, During the Assembly of the Western Gondwana**. Journal of South American Earth Science, doi: 10.1016/j.jsames.2007.05.006. 2007
- SANTOS, T. J. S.;FETTER, A. H.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Comparisons Between the Northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the Southwestern Pharusian Dahomey Belt, SW Central Africa**. Geological Society Special Publication, v. 294, p. 101-119, 2008.
- SATO K., TASSINARI C.C.G., KAWASHITA K., PETRONILHO L. 1995. **O método Geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações**. Anais da Academia Brasileira de Ciências 67(3): 24p
- SOUZA, A. C. B. 2013. **Caracterização Faciológica e Análise de Paleocorrente do Corpo Arenítico de Santana de Acaraú- Ce-**. Fortaleza. Departamento de Geologia. UFC.
- TORRES, P.F.M., CAVALCANTE, J.C., SMITH, E.P., VASCONCELOS, A. M., OLIVEIRA, F.V. 2010. **Mapa geológico da Folha Quixadá (B-24-V-C-VI)**, CPRM-SBG – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza-CE, Escala 1:250.000.
- VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; W. FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W.A. S. **Boletim de Geociências, Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007.
- VIANA, M. S. S.; OLIVEIRA, P. V.; Sousa, M. J. G.; BARROSO, F. R. G.; VASCONCELOS, V. A.; MELO, R. M.; LIMA, T. A.; OLIVEIRA, G. C.; CHAVES, A. P. P. (2010). **Ocorrências Icnofossilíferas Do Grupo Ceará**. Revista de Geologia (Fortaleza), v. 23, p.77-89.