



**Úrsula Lopes Riente**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO ENTRE AS BACIAS DO  
PARNAÍBA E DO ARARIPE – INVESTIGANDO CONEXÕES  
GEOLÓGICAS**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2022



UFRJ

**Úrsula Lopes Riente**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO ENTRE AS BACIAS DO PARNAÍBA E DO  
ARARIPE – INVESTIGANDO CONEXÕES GEOLÓGICAS**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Dra. Renata da Silva Schmitt  
(Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)

Dr. Alessandro Ferraz Palmeira  
(Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)

Rio de Janeiro  
Outubro de 2022

RIENTE, Úrsula Lopes

**ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO ENTRE AS BACIAS DO PARNAÍBA E DO ARARIPE – INVESTIGANDO CONEXÕES GEOLÓGICAS/** Úrsula Lopes Riente - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2022. xii, 73p.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2022.

Orientadora: Renata da Silva Schmitt; Coorientador: Alessandro Ferraz Palmeira

1. Geologia. 2. IGEO - Trabalho de Conclusão de Curso. I. Renata da Silva Schmitt, UFRJ. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Análise estrutural da região entre as bacias do Parnaíba e do Araripe – Investigando Conexões Geológicas.

Úrsula Lopes Riente

ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO ENTRE AS BACIAS DO PARNAÍBA E DO  
ARARIPE – INVESTIGANDO CONEXÕES GEOLÓGICAS

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Dra. Renata da Silva Schmitt  
(Depto. Geologia, IGEO/UFRJ)

Dr. Alessandro Ferraz Palmeira  
(PPGL, IGEO/UFRJ)

Aprovada em:

Por:

---

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Renata da Silva Schmitt (UFRJ)

---

Prof. Dr. Claudio Limeira Mello (UFRJ)

---

MSc. Maria Filipa Perez da Gama (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
Outubro de 2022

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Shell Brasil Petróleo Ltda e a importância estratégica do suporte da ANP (Agência Nacional de Petróleo), através do regulamento obrigatório P&D (cooperação técnica #20.219-2) pelo financiamento do Projeto Alagoas. Agradeço também ao laboratório Centro Digital de Geoprocessamento Gondwana por todo apoio de estrutura necessária para a confecção do trabalho.

De forma especial agradeço à minha orientadora Renata Schmitt por permitir a participação em projetos tão interessantes e enriquecedores. Agradeço ainda mais sua paciência em me orientar e por cada ensinamento que me fizeram crescer nesses últimos anos.

Ao meu coorientador Alessandro Palmeira pelas correções e apoio no trabalho e ao André Assis por viabilizar e insistir no trabalho de campo.

Ao departamento de Geologia da UFRJ e a todos os professores que contribuíram com a minha formação, não só acadêmica, mas também pessoal.

A toda equipe do Centro Digital de Geoprocessamento Gondwana (CDGG) que viraram amigos para todos os momentos. A todos os meus amigos da Geologia UFRJ, que as vezes acreditam mais em mim que eu mesma e em especial, meu querido grupo M. Queens, sem vocês eu não conseguiria acabar essa graduação.

Aos meus pais e minha irmã, Daniel, Rutilea e Luana por me apoiar, escutar e incentivar. À minha avó, Ivonete Bastos Riente, que não está mais aqui pra ver essa conquista, mas com certeza está no céu vibrando por mim. E às minhas amigas (quase irmãs) Carol, Duda, Letícia, Mariana O., Mariana T, Isabelle e Thaís – o famoso Bonde de Niterói – por serem suporte a qualquer hora.

Agradeço principalmente a Deus por ter me sustentado até aqui.

## Resumo

RIENTE, Úrsula. **ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGIÃO ENTRE AS BACIAS DO PARNAÍBA E DO ARARIPE – INVESTIGANDO CONEXÕES GEOLÓGICAS**. 2022. xii, 73 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica fanerozoica originada pela reativação rúptil de estruturas do embasamento pré-cambriano formando *rifts* de direções NE-SW e E-W de idade Cambro-Ordoviciano, com uma fase *sag* flexural que se estende do Siluriano ao Triássico. No Eo-Jurássico e Eo-Cretáceo, ocorreram eventos magmáticos basálticos, que foram seguidos pela sedimentação juro-cretácea preservada na porção centro norte da bacia. A Bacia do Araripe, de idade mesozoica, tem sua origem na reativação de estruturas NE-SW do embasamento por esforços extensivos durante a quebra do Gondwana. Esse evento extensional também afetou a sequência paleozoica da Bacia do Parnaíba. Atualmente as formações sedimentares cretáceas das duas bacias estão separadas por 430 km. Apesar da distância, os depósitos aptianos e albianos são bastante semelhantes em termos de fácies e conteúdo fossilífero. O objetivo deste trabalho é investigar se esses depósitos poderiam estar conectados através área em que hoje afloram as unidades paleozoicas da Bacia do Parnaíba. O estudo envolve uma análise estrutural da borda leste da Bacia do Parnaíba integrando lineamentos interpretados a partir de imagens SRTM e mapas magnetométricos com aplicação de diversos filtros de realce e quatro seções geológicas E-W realizadas em campo. Além das seções foi gerado um mapa estrutural na escala 1:250.000. Os resultados desta análise mostram que as estruturas do embasamento de *trends* principais E-W e NE-SW, lateralmente e abaixo das bacias do Parnaíba e Araripe, também estão presentes em unidades do Siluriano-Devoniano da Bacia do Parnaíba e do Cretáceo da Bacia do Araripe. Seguindo o *trend* NE-SW são encontrados diques, relacionados ao evento magmático do Eo-cretáceo (Formação Sardinha). Falhas e fraturas NW-SE recortam todas as unidades sedimentares de ambas as bacias, mas não ocorrem de forma expressiva no embasamento. Na Bacia do Araripe, o *trend* de falhas NW-SE deforma as camadas da unidade mais jovem, a Formação Exu. Na Serra de Ibiapaba, um *trend* de estruturas rúpteis N-S é o mais expressivo. Essas evidências levam à interpretação que os sistemas rúpteis NW-SE e N-S configuram as estruturas mais novas, consideradas como produto de deformação intraplaca posteriores à quebra do Gondwana.

Palavras-chave: Lineamentos SRTM; Anomalias magnéticas; Bacias do Araripe e do Parnaíba; Embasamento.

## Abstract

RIENTE, Úrsula. **STRUCTURAL ANALYSIS OF THE REGION BETWEEN THE PARNAÍBA AND ARARIPE BASINS - INVESTIGATING GEOLOGICAL CONNECTIONS**. 2022. xii, 73 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Parnaíba Basin is an intracratonic Phanerozoic basin originated by the brittle reactivation of Precambrian basement structures forming NE-SW and E-W Cambro-Ordovician rifts, with a flexural sag phase extending from the Silurian to the Triassic. In the Early Jurassic and Early Cretaceous, a series of basaltic magmatic spills and intrusions occurred partially coeval with sedimentation in the northern central portion of the basin. The Mesozoic Araripe Basin has its origin in the reactivation of NE-SW basement structures by extensive stresses during the break-up of Gondwana. This extensional event also affected the Paleozoic sequence of the Parnaíba Basin. Today the Cretaceous sedimentary formations of these two basins are 430 km apart. Despite the distance, the Aptian and Albian sedimentary deposits are quite similar in terms of facies and fossiliferous content. This paper investigates whether or not these deposits were connected across the vast area where the Paleozoic units of the Parnaíba Basin crop out today. The study involves a structural analysis of the eastern edge of the Parnaíba Basin integrating data interpreted from SRTM images and magnetometric maps with the application of various enhancement filters and four E-W geological sections constructed with field data. In addition to the sections, a structural map at the scale 1:250,000 was generated. The results of this analysis show that the E-W and NE-SW main trend basement structures laterally and below the Parnaíba and Araripe basins are also present in units of the Silurian-Devonian of the Parnaíba Basin and the Cretaceous of the Araripe Basin. The NE-SW trend is also marked by dikes related to the Lower Cretaceous magmatic event (Sardinha Formation). NW-SE faults and fractures cross cut through all the sedimentary units of both basins, but do not occur significantly in the basement. In the Araripe Basin, the NW-SE faults affect the layers of the youngest unit, the Exu Formation. In the Serra de Ibiapaba, a N-S fault system is the most expressive. These evidences lead to the interpretation that the NW-SE and N-S brittle structure systems configure the youngest structures, considered as products of intraplate deformation after the Gondwana breakup.

Key-Words: SRTM lineaments; Magnetic anomalies; Araripe and Parnaíba basins; Basement.

## Lista de figuras

- Figura 1:** Mapa da reconstrução a 110 Ma, modelo cinemático adaptado de Heine *et al.* (2013). O retângulo vermelho delimita aproximadamente a área de estudo. Abreviações: Ar – Bacia do Araripe, PG- Bacia Potiguar e RTJ – Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá (modificado e traduzido de Godot Souza *et al.*, 2022)..... 14
- Figura 2:** Mapa da localização geográfica da área de estudo com as principais vias de acesso (Fonte: editado de *Google Maps*, 2022) ..... 15
- Figura 3:** Mapa geológico compilado da borda leste da Bacia do Parnaíba, porção oeste da Bacia do Araripe e o embasamento cristalino, parte da Província Borborema. Base geológica adaptada de CPRM (2004). Diques máficos e falhas normais na Bacia do Parnaíba segundo Lima e Jardim de Sá (2017) e Fernandes *et al.* (2020). Diques máficos e ácidos da Província Borborema de Gomes e Vasconcelos (2000) e Pinéo *et al.* (2020). Cristas silicificadas segundo Gomes e Vasconcelos (2000) e Lima e Jardim de Sá (2017) ..... 17
- Figura 4:** Compartimentação tectônica a Província Borborema, suas principais zonas de cisalhamento e registros de magmatismo (figura em inglês modificado de Ganade de Araújo *et al.*, 2014) ..... 18
- Figura 5:** (A) Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba e (B) coluna estratigráfica simplificada segundo Goés e Feijó (1994) (modificado de Cruz, 2021)..... 20
- Figura 6:** (A) Mapa geológico simplificado da Bacia do Araripe e (B) coluna estratigráfica adaptada de Ponte e Appi (1990) (figura em inglês extraída de Godot Souza *et al.*, 2022)..... 23
- Figura 7:** Mapa geotectônico do embasamento abaixo da Bacia do Parnaíba proposto por Cordani *et al.* (1984) – figura em inglês..... 25
- Figura 8:** Mapa geotectônico do embasamento abaixo da Bacia do Parnaíba proposto por de Castro *et al.* (2014) – figura em inglês..... 26
- Figura 9:** Mapa geotectônico do embasamento Pré-Siluriano da Bacia do Parnaíba proposto por Porto *et al.* (2022)..... 28
- Figura 10:** Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe segundo (A) Ponte e Ponte Filho (1996) e (B) Camacho e Souza (2017)..... 29
- Figura 11:** Mapa dos levantamentos magnéticos públicos que abrangem as áreas da Bacia do Parnaíba e Bacia do Araripe. Fonte: Equipe de Geofísica, Projeto Alagoas..... 34
- Figura 12:** Imagem SRTM da área de estudo..... 36



<b>Figura 13:</b> Mapa do Campo Magnético Total. Corresponde à quantidade medida por este método sem aplicação de filtros.....	37
<b>Figura 14:</b> Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	38
<b>Figura 15:</b> Mapa da Inclinação do Sinal Analítico (ISA).....	39
<b>Figura 16:</b> Mapa Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA).....	40
<b>Figura 17:</b> Mapa da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT).....	41
<b>Figura 18:</b> (A) Mapa da Inclinação do Sinal Analítico com lineamentos magnéticos traçados. Diagramas de roseta dos lineamentos magnéticos (B) todos os lineamentos menos (C) lineamentos interpretados como diques.....	44
<b>Figura 19:</b> Mapa da Inclinação do Sinal Analítico com os principais lineamentos da Província Borborema e sua continuidade abaixo das bacias do Parnaíba e do Araripe.....	46
<b>Figura 20:</b> Mapa Inclinação do Sinal Analítico com domínios magnéticos.....	47
<b>Figura 21:</b> Mapa de relevo sombreado com iluminação de 315° com os lineamentos traçados a partir de todos os mapas de relevo sombreado.....	50
<b>Figura 22:</b> Diagramas de roseta dos lineamentos SRTM do embasamento. (A) Trama principal do embasamento e (B) trama secundária do embasamento.....	51
<b>Figura 23:</b> Diagramas de roseta dos lineamentos traçados a partir do SRTM na Bacia do Parnaíba. Lineamentos traçados nas sequências (A) Siluriana; (B) Mesodevoniana-Eocarbonífera; (C) Neocarbonífero-Eotriássica; (D) Jurássica; (E) Formação Sardinha; e (F) unidades do Cenozóico.....	53
<b>Figura 24:</b> Diagrama de rosetas dos lineamentos da Bacia do Araripe (A) lineamentos nas formações Santana, Araripina e Exu de idade cretácea e (B) lineamentos no Cenozóico próximos à Bacia do Araripe.....	54
<b>Figura 25:</b> (A) Mapa geológico modificada de CPRM (2004), diques máficos e falhas normais na Bacia do Parnaíba segundo Lima e Jardim de Sá (2017) e Fernandes <i>et al.</i> (2020), diques máficos e ácidos da Província Borborema de Gomes e Vasconcelos (2000) e Pinéo <i>et al.</i> (2020), cristas silicificadas segundo Gomes e Vasconcelos (2000) e Lima e Jardim de Sá (2017) e falhas delimitadas a partir do trabalho de campo e mapa de relevo sombreado. Falhas normais em subsuperfície da Bacia do Araripe de acordo com Matos (1992). (B) Seções geológicas esquemáticas da estruturação da borda oeste da Bacia do Parnaíba e borda leste da Bacia do Araripe.....	55
<b>Figura 26:</b> Projeção estereográfica das medidas de (A) falhas e estrias; (B) Diagrama de roseta das medidas de fraturas no embasamento; (C) rede com a foliação tectônica dúctil do embasamento cristalino.....	56

**Figura 27:** (A) Diagramas de roseta das fraturas medidas no Grupo Serra Grande. Estereogramas dos (B) planos de falha e estrias e (C) polos dos planos de acamamento dos estratos do Grupo Serra Grande; (D) BPBL-422-30 e (E) BPBL-422-54 – relação entre o embasamento e o Grupo Serra Grande e (F) BPBL-422-34 – zona de dano em arenitos da Formação Jaicós..... 58

**Figura 28:** Estereogramas dos (A) planos de falha e estrias e (C) polos dos planos de acamamento dos estratos do Grupo Canindé; (B) Diagramas de roseta das fraturas medidas no Grupo Serra Grande. (D) BPBL-422-51 – falha normal afetando a Formação Pimenteiras; (E) BPBL-422-42 – falha sin-sedimentar na Formação Pimenteiras..... 59

**Figura 29:** Estereogramas dos (A) planos de falha e estrias do Formação Santana e (B) acamamento dos estratos da Formação Santana. (C) BPBL-422-47 – zona de dano na Formação Santana..... 60

## Lista de quadros

**Quadro 1** – Resumo dos eventos tectônicos de trabalhos anteriores na área de estudo. Modificado de Lima (2016)..... 32

**Quadro 2** - Especificações dos projetos de aquisição de dados aerogeofísicos que fazem parte da área de estudo..... 34

**Quadro 3** – Descrição simplificada dos domínios magnéticos..... 48

## Sumário

Agradecimentos .....	iv
Resumo .....	v
<i>Abstract</i> .....	vi
Lista de figuras .....	vii
Lista de tabelas .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Objetivo .....	14
1.2 Localização e acesso .....	15
2. GEOLOGIA REGIONAL .....	16
2.1 Província Borborema .....	18
2.2 Bacia do Parnaíba .....	20
2.3 Bacia do Araripe .....	22
2.4 Arcabouço estrutural e embasamento das bacias .....	24
3 TRABALHOS ANTERIORES .....	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
4.1 Materiais .....	33
4.1.1 Imagens SRTM .....	33
4.1.2 Mapas magnetométricos .....	33
4.1.3 <i>Softwares</i> utilizados .....	34
4.2 Métodos .....	35
5 RESULTADOS.....	43
5.1 Lineamentos magnéticos .....	43
5.2 Domínios magnéticos .....	46
5.3 Lineamentos SRTM .....	49
5.4 Dados de campo – Reconhecimento regional de estruturas .....	54
6 DISCUSSÕES .....	61
6.1 Prolongamento das estruturas e domínios do embasamento .....	61
6.2 Magmatismo .....	61
6.3 Evolução Tectônica .....	62
6.4 Canais de conexão estrutural .....	64
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66

Referências bibliográficas .....	67
Apêndice A – Tabela de pontos de campo .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Parnaíba, localizada na região Nordeste do Brasil, faz parte do grupo de bacias paleozoicas classificadas como bacias de sinéclise intracratônica. A Bacia do Araripe faz parte das bacias do interior do Nordeste e se desenvolveu como uma bacia do tipo rifte durante o Cretáceo. Apesar das distintas histórias evolutivas, as bacias do Araripe e do Parnaíba apresentam similaridades nos registros fósseis marinhos (Maisey, 2000; Arai, 2014), bem como camadas de evaporitos (Formação Codó – Bacia do Parnaíba e Membro Ipubi – Bacia do Araripe) indicando que poderiam estar conectadas durante o intervalo Aptiano-Albiano.

Arai *et al.* (1994) e Arai (2014), através de estudos paleontológicos, propõem que a conexão entre as bacias do Araripe e Parnaíba se estabeleceu por sobre o Paleozoico da Bacia do Parnaíba (Figura 1). Porém, a entrada do mar na Bacia do Araripe também poderia ter se estabelecido através da Bacia do Potiguar (NE da Bacia do Araripe – Lima, 1978; Kroth *et al.*, 2021; Godot Souza *et al.*, 2022).

Autores como Assine *et al.* (2014) e Custódio *et al.* (2017), com base em estudos estratigráficos, propõem que as bacias do Araripe e do Parnaíba não estariam conectadas durante o Aptiano, dado que a entrada do mar na Bacia do Araripe teria se estabelecido através do sistema de riftes do Recôncavo-Tucano-Jatobá (S/SE da Bacia do Araripe).

As estruturas deformacionais da crosta terrestre, como falhas normais, condicionam a formação de blocos baixos. A conexão dessas estruturas gera corredores de baixos estruturais formando uma fisiografia preferencial para o estabelecimento de redes de drenagem e ainda grandes lagos. Os baixos topográficos gerados no continente combinados com o aumento do nível do mar criam condições para ingressões marinhas e a formação de lagos com influência marinha ou até mares epicontinentais. Apesar das diversas propostas para a entrada do mar no continente, poucos estudos avaliam a ação das estruturas no controle de baixos topográficos que permitissem a conexão dos depósitos do Cretáceo das bacias do Araripe e do Parnaíba.

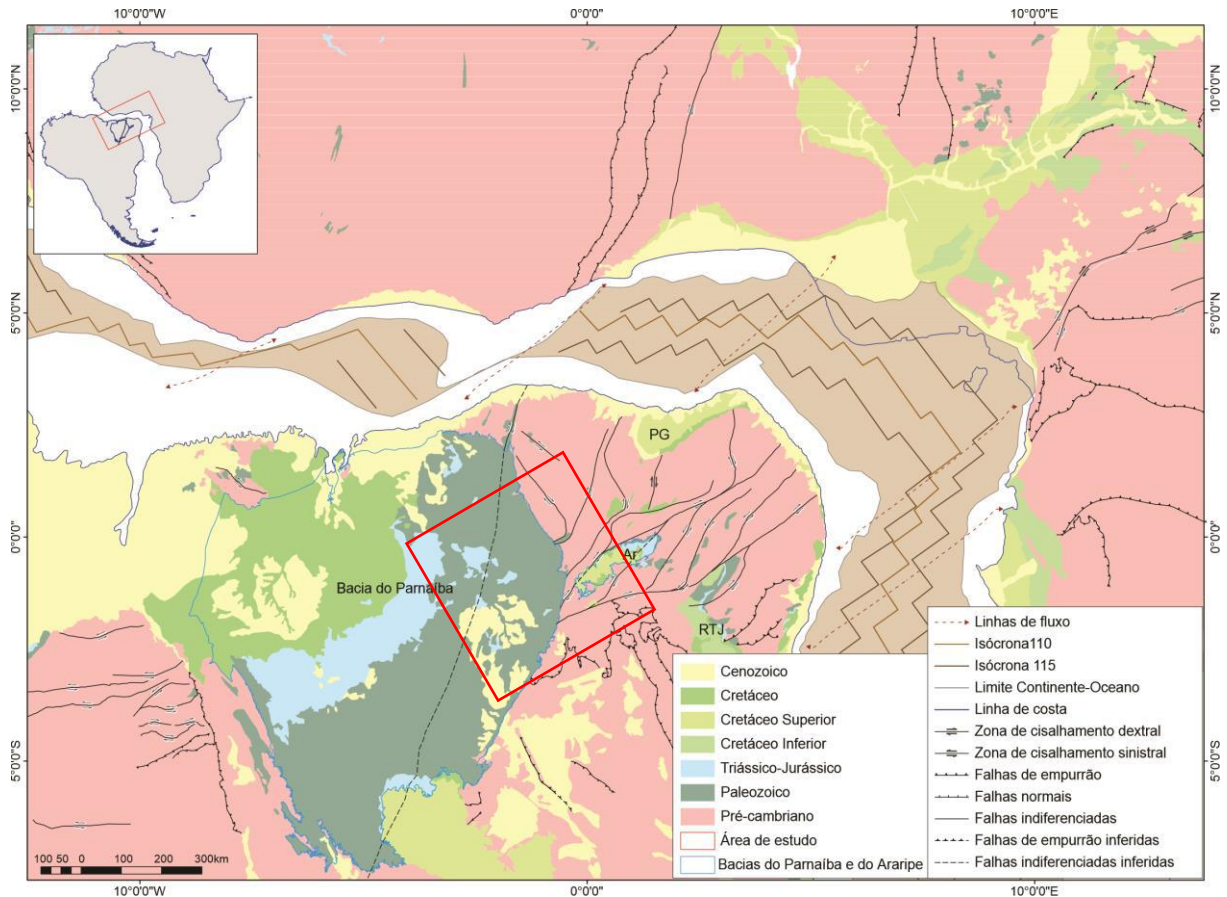


Figura 1: Mapa da reconstrução a 110 Ma, modelo cinemático adaptado de Heine *et al.* (2013). O retângulo vermelho delimita aproximadamente a área de estudo. Abreviações: Ar – Bacia do Araripe, PG- Bacia Potiguar e RTJ – Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá (modificado e traduzido de Godot Souza *et al.*, 2022).

## 1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho é a análise estrutural da cobertura sedimentar da borda leste da Bacia do Parnaíba, da borda oeste da Bacia do Araripe e do embasamento entre essas bacias, com a finalidade de investigar um dos possíveis canais de conexão de baixos estruturais durante o Cretáceo. O trabalho teve como foco entender duas questões principais:

(1) Como as estruturas do embasamento (Província Borborema) se prolongam abaixo da cobertura sedimentar na área de estudo?

(2) As estruturas formadoras e deformadoras das bacias possibilitariam a formação de baixos estruturais que conectassem as bacias do Araripe e do Parnaíba durante o Cretáceo, por sobre o Paleozoico da Bacia do Parnaíba?

## 1.2 Localização e acesso

A área de estudo fica localizada entre as latitudes 05°S e 09°S e as longitudes 39°30'W e 43°30'W, abrangendo principalmente o estado do Piauí, parte do Maranhão, Ceará, Pernambuco e uma pequena parte da Bahia (Figura 2). As rodovias federais principais que atravessam a área de estudo são BR-020, BR-230, BR-316 e BR-343.

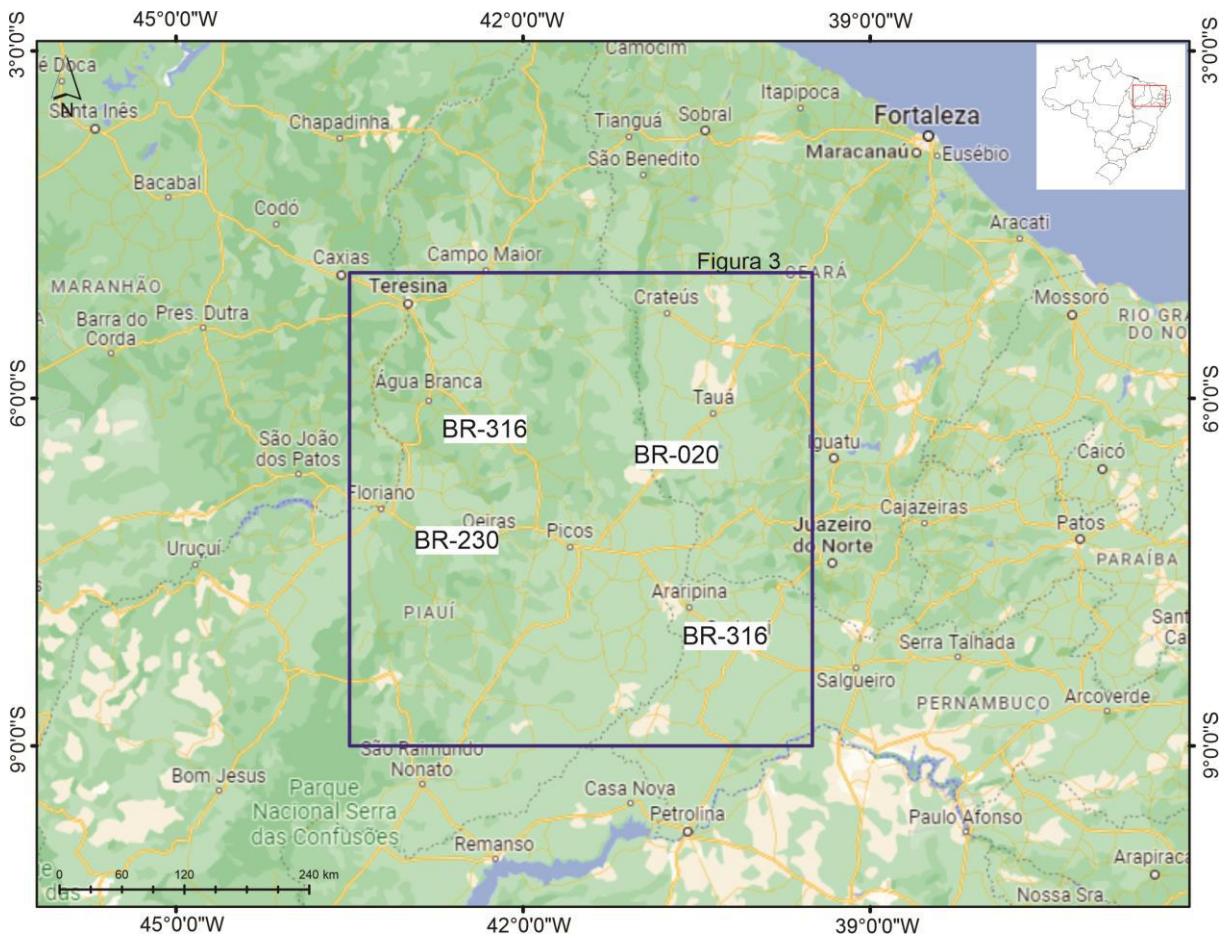


Figura 2: Mapa da localização geográfica da área de estudo com as principais vias de acesso (Fonte: editado de *Google Maps*, 2022).



## **2. GEOLOGIA REGIONAL**

A área compreende três domínios geológicos: embasamento cristalino das bacias do Parnaíba e Araripe constituído pela Província Borborema; a borda leste da Bacia do Parnaíba, abrangendo as sucessões sedimentares depositadas do Siluriano ao Jurássico; e a borda oeste da Bacia do Araripe, formada por camadas sedimentares do Jurássico e Cretáceo (Figura 3).

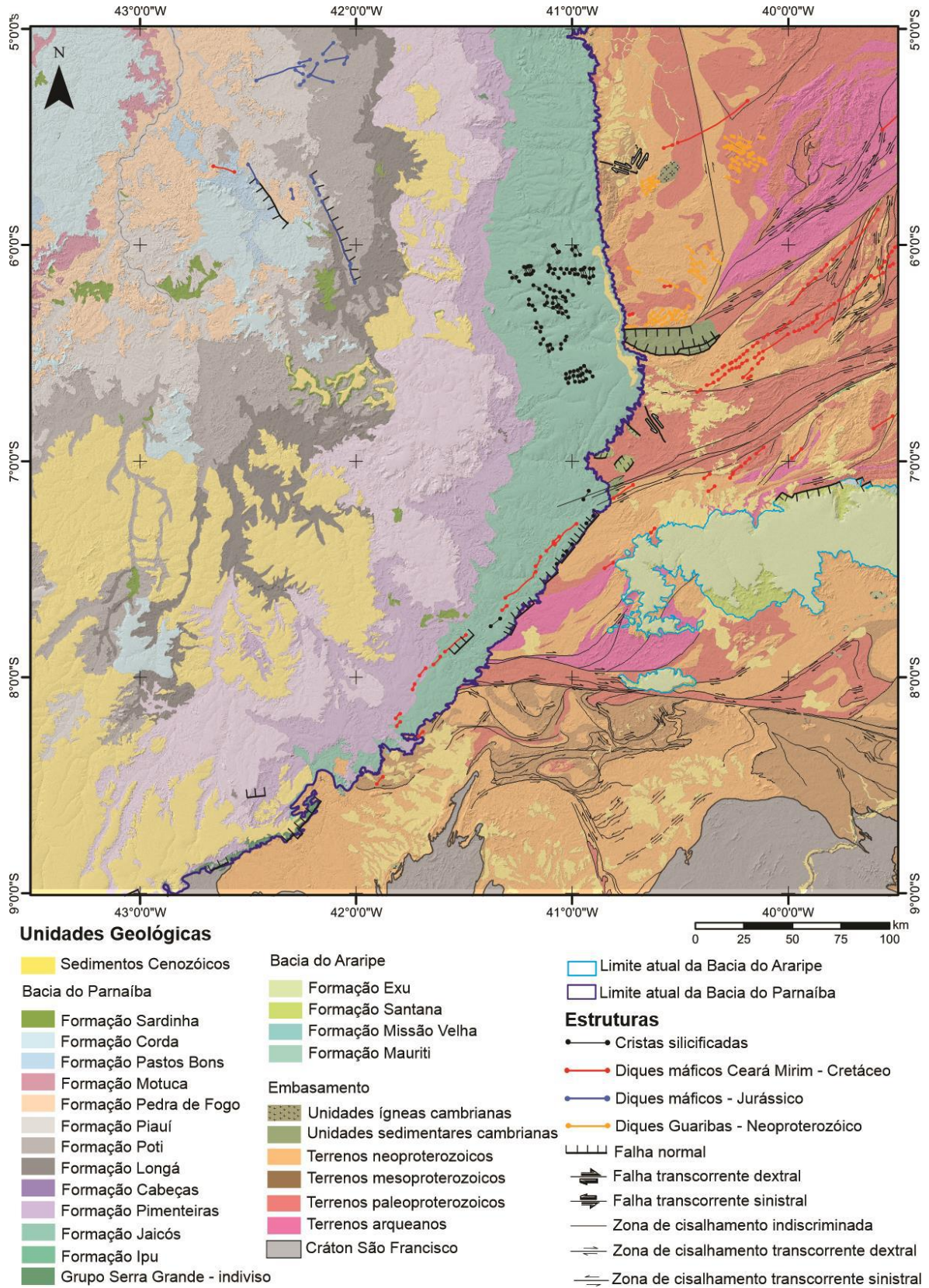


Figura 3: Mapa geológico compilado da borda leste da Bacia do Parnaíba, porção oeste da Bacia do Araripe e o embasamento cristalino, parte da Província Borborema. Base geológica adaptada de CPRM (2004). Diques máficos e falhas normais na Bacia do Parnaíba segundo Lima e Jardim de Sá (2017) e Fernandes *et al.* (2020). Diques máficos e ácidos da Província Borborema de Gomes e Vasconcelos (2000) e Pinéo *et al.* (2020). Cristas silicificadas segundo Gomes e Vasconcelos (2000) e Lima e Jardim de Sá (2017).

## 2.1 Província Borborema

A Província Borborema, localizada na região Nordeste do Brasil, corresponde a uma faixa de dobramentos composta por rochas metamórficas e ígneas de idades desde o Arqueano até o Neoproterozoico. É subdividida em três subprovíncias separadas por zonas de cisalhamento regionais. A Subprovíncia Norte, que inclui o Domínio Ceará Central e o Domínio Rio Grande do Norte, é separada pela Zona de Cisalhamento Patos da Subprovíncia Central ou Zona Transversal. Esta última é separada pela Zona de Cisalhamento Pernambuco da Subprovíncia Sul (Figura 4).

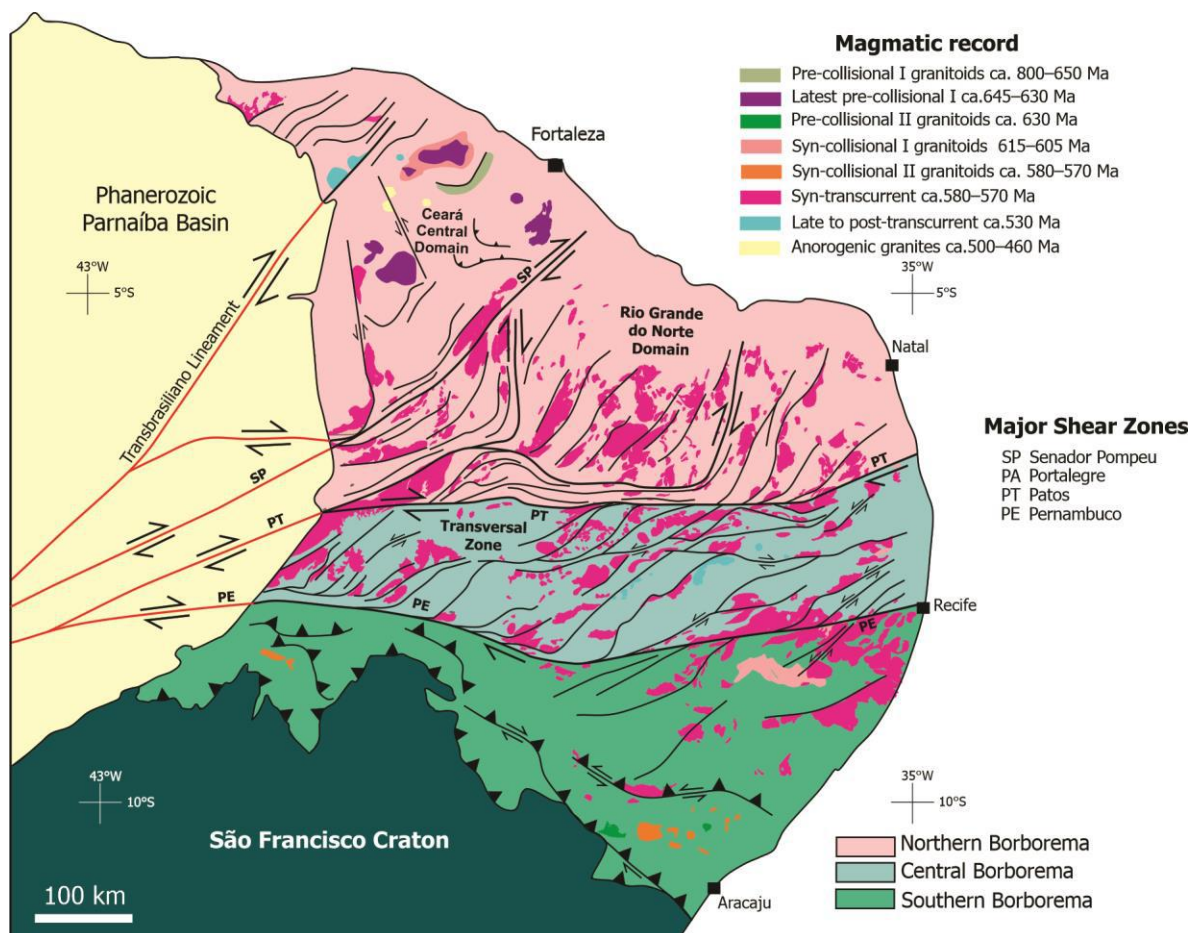


Figura 4: Compartimentação tectônica da Província Borborema, suas principais zonas de cisalhamento e registros de magmatismo (figura em inglês modificado de Ganade de Araújo *et al.*, 2014).

Diversos modelos são propostos para a formação da Província Borborema, não sendo consenso na literatura. Neves *et al.* (2006, 2009) assumem a existência de um bloco único e estável desde o Paleoproterozoico, que seria parte do supercontinente Atlântica. Argumentam que durante o Neoproterozoico sofreu um tectonismo distensivo com a instalação de bacias intracontinentais e posterior

inversão dessas bacias. Outra corrente adota o modelo acrescionário, com mais de um cenário de formação. O primeiro considera a acreção de diversos terrenos exóticos dispersos entre os crátons São Francisco – Congo e Amazônico - Oeste África durante o Neoproterozoico (Brito Neves *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2018). O segundo modelo propõe a instalação de ciclos de Wilson completos envolvendo o rifteamento de um paleocontinente a 920 Ma e a instalação de pelo menos duas zonas de subducção durante o Neoproterozoico (Caxito *et al.*, 2014, 2016, 2020; Basto *et al.* 2019). Ainda, Ganade de Araujo *et al.* (2014, 2021) propõem que a Província Borborema tenha se formado pelo retrabalhamento do Cráton São Francisco durante o Neoproterozoico associado à formação de zonas de subducção na margem norte.

Essa província é marcada por uma complexa trama estrutural formada por zonas de cisalhamento resultado dos eventos tectônicos do Brasiliano/Pan-africano (625-510 Ma) dos estágios finais da amalgamação do Gondwana. Essas estruturas se estendem abaixo da Bacia do Parnaíba, como evidenciado por dados diretos e indiretos (de Castro *et al.*, 2014, 2016; Mocitaiba *et al.*, 2017, Porto *et al.*, 2018, 2022). Um apanhado histórico acerca do conhecimento do substrato da Bacia do Parnaíba é apresentado na seção 2.4 do presente trabalho.

## **2.2 Bacia do Parnaíba**

A Bacia do Parnaíba abrange uma história de evolução tectono-sedimentar que registra desde o final do Ciclo Brasiliano (Cambro-Ordoviciano) até a separação continental entre América do Sul e África (Cretáceo). Segundo Goés e Feijó (1994) o registro sedimentar e magmático da Bacia do Parnaíba pode ser dividido em cinco supersequências, sendo elas as seguintes: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífero-Eotriássica, Jurássica e Cretácea (Figura 5A e 5B).

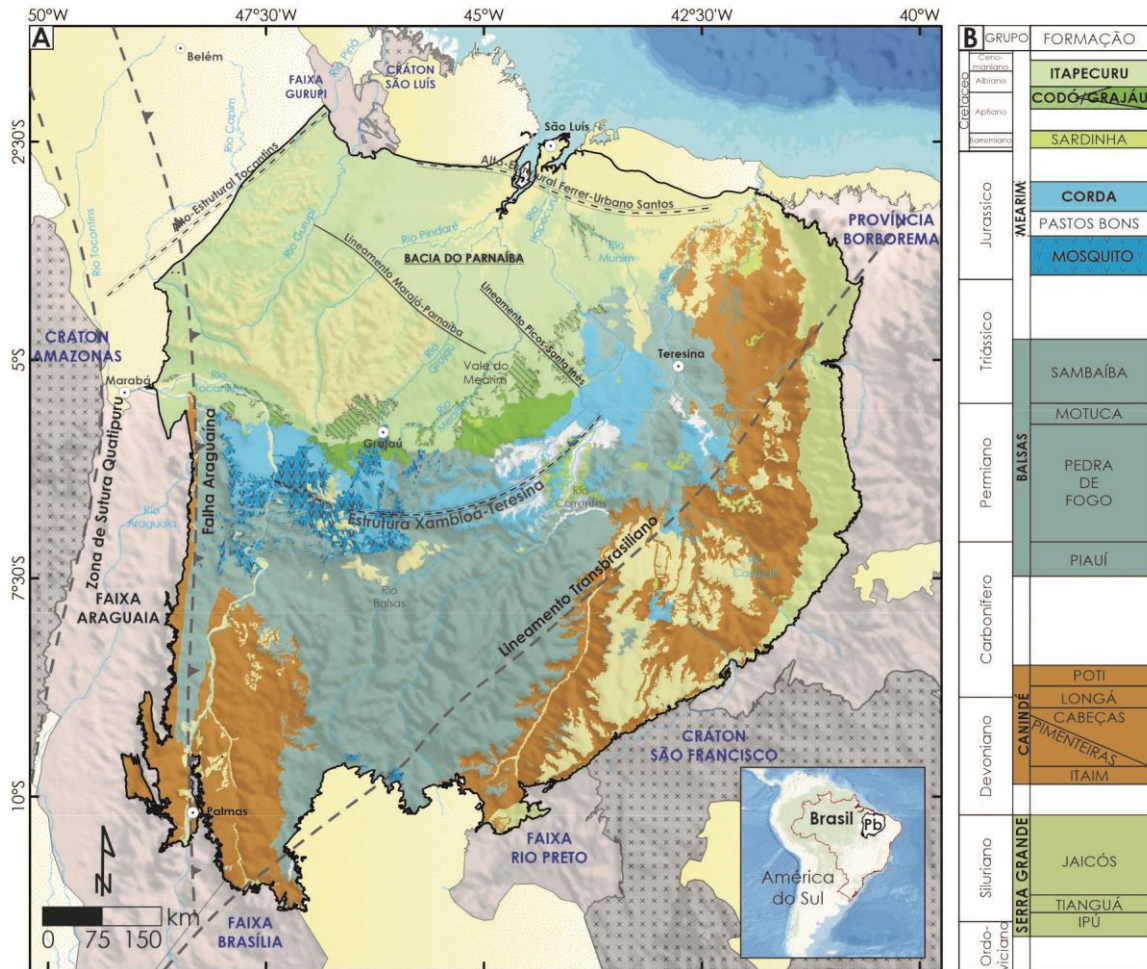


Figura 5: (A) Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba e (B) coluna estratigráfica simplificada segundo Goés e Feijó (1994) (modificado de Cruz, 2021).

As três primeiras seqüências (Siluriana, Mesodevonianiana-Eocarbonífera, Neocarbonífero-Eotriássica) foram depositadas durante a fase de estabilidade da Plataforma Sul-Americana e separadas por discordâncias relacionadas à variação do nível eustático dos mares durante o Paleozoico. Segundo Vaz *et al.* (2007), os lineamentos Picos-Santa Inês (*trend* NW-SE), Marajó-Parnaíba (*trend* NW-SE) e a Zona de Falha Transbrasiliana (*trend* NE-SW) controlaram estruturalmente os eixos deposicionais da sinéclise até o Eocarbonífero, conferindo à bacia formato ovalado com eixo de maior alongação com orientação NE-SW. Além disso, a subsidência nessas seqüências foi fortemente controlada pela resposta eustática de orogênicas que ocorriam na borda do Gondwana, como a Orogenia Caledoniana no Eo-Devoniano e a Orogenia Eo-Herciniana (Pensilvaniana) (Vaz *et al.*, 2007).

A Sequência Siluriana, representada pelo Grupo Serra Grande (constituído pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós), corresponde a um ciclo transgressivo-regressivo completo que registra a primeira ingressão marinha na bacia, depositada

devido à subsidência termal ocorrida durante o final do ciclo Brasileiro, tendo o fim da deposição dessa sequência sido ocasionado pela orogenia Caledoniana (Vaz *et al.*, 2007).

Depositado em discordância com a sequência anterior, o Grupo Canindé (que compõe a Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera) compreende as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti. Essa sequência registra a maior ingressão marinha ocorrida na Bacia do Parnaíba, a Formação Pimenteiras, de idade devoniana (Vaz *et al.*, 2007).

A Sequência Neocarbonífero-Eotriássica refere-se ao pacote sedimentar do Grupo Balsas, constituída da base para o topo pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba. Por conta da orogenia Eo-Herciniana o mar no Pensilvaniano passa a invadir a bacia através do oeste, passando pelas bacias do Solimões e Amazonas, o que provocou mudança no depocentro da bacia durante a deposição dos sedimentos da sequência Neocarbonífera-Eotriássica (Caputo *et al.*, 2005). Essa sequência marca importantes mudanças ambientais e tectônicas na Bacia do Parnaíba. Os mares passaram a ser restritos, rasos e o clima quente e árido. Uma regressão marinha em escala mundial do final do Permiano e início do Triássico pode ter causado a progressiva desertificação e a retirada definitiva do mar epicontinental dessa bacia, que culminaram com o estabelecimento do amplo deserto no qual foram depositados os arenitos da Formação Sambaíba (Vaz *et al.*, 2007). A consolidação do Pangeia na orogenia Allegheniana provocou um novo soerguimento na bacia, causando uma discordância de caráter regional (Vaz *et al.*, 2007).

Após esse evento, iniciou-se um novo estágio de ativação da Plataforma Sul-Americana com os processos de fragmentação do supercontinente Pangeia. Nesse momento a bacia experimentou dois episódios de magmatismo. O primeiro, de idade jurássica e denominado de *Central Atlantic Magmatic Province* (CAMP), tem relação com a abertura do Atlântico Central e está registrado pela Formação Mosquito. O segundo tem relação com a abertura do Atlântico Sul e final do rompimento do Gondwana no Cretáceo e está registrado como a Formação Sardinha (Vaz *et al.*, 2007).

Segundo Góes e Feijó (1994), o peso das rochas ígneas da Formação Mosquito junto com a carga já existente dos sedimentos possibilitou a criação de espaço para a deposição da Sequência Jurássica.

Neste trabalho foi adotada a sugestão de Góes e Feijó (1994) para a Sequência Jurássica, caracterizada como sendo formada pelas formações Pastos Bons e Corda (Grupo Mearim) e depositada de modo discordante sobre a sequência anterior.

A posição da Formação Corda tem sido alvo de discussão na literatura. Vaz *et al.* (2007) colocam a Formação Corda no Cretáceo. Entretanto, trabalhos mais recentes, como o de Rabelo (2013) observou, em testemunhos de sondagem, que as formações Grajaú e Codó estão depositadas discordantemente sobre os depósitos da Formação Corda, o que a colocaria como sendo mais antiga (D'Souza, 2020).

Segundo Góes e Feijó (1994), a Formação Corda é caracterizada por arenitos depositados em ambiente continental desértico interdigitados com os depósitos flúvio-lacustres da Formação Pastos Bons.

A Sequência Cretácea é constituída pelas formações Grajaú, Codó e Itapecuru (Góes e Feijó, 1994). Essa sequência sobrepõe-se discordantemente sobre as unidades do Jurássico, do Triássico e do Paleozoico. A Formação Grajaú é composta por arenitos esbranquiçados finos e conglomeráticos, de origem fluvial e que ocorrem interdigitados aos folhelhos da Formação Codó (Góes e Feijó, 1994). A Formação Codó é formada por arenitos, folhelhos, carbonatos e anidrita depositados em ambiente lacustre com posterior incursão marinha (Caputo *et al.*, 2005). A Formação Itapecuru é formada pelos arenitos avermelhados, médios a grossos, e argilitos castanho-avermelhados e que ocorrem de forma discordante sobre as formações Grajaú e Codó (Góes e Feijó, 1994; Rossetti, 2001; Vaz *et al.*, 2007). Esses depósitos estão concentrados na região central e extremo norte e noroeste da bacia, na chamada Bacia do Grajaú (Goés, 1995).

### **2.3 Bacia do Araripe**

A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, que têm origem na reativação de estruturas brasileiras da Província Borborema durante os eventos de rifteamento do Gondwana e abertura do Oceano Atlântico (Assine, 2007). A bacia fica localizada entre as zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco (Figura 6A), que exercem controle estrutural pela reativação de estruturas sigmoidais de escala crustal do embasamento. Tais estruturas,

predominantemente NE-SW, são de extrema importância para a estruturação da bacia na sua fase rifte, onde foram desenvolvidos grábens assimétricos de direção NE-SW (Ponte e Ponte Filho, 1996; Camacho e Souza, 2017).

A sucessão sedimentar da bacia é dividida em sequências que traduzem o momento tectônico de deposição de cada unidade (Ponte e Ponte Filho, 1996; Assine, 2007 – Figura 6B).

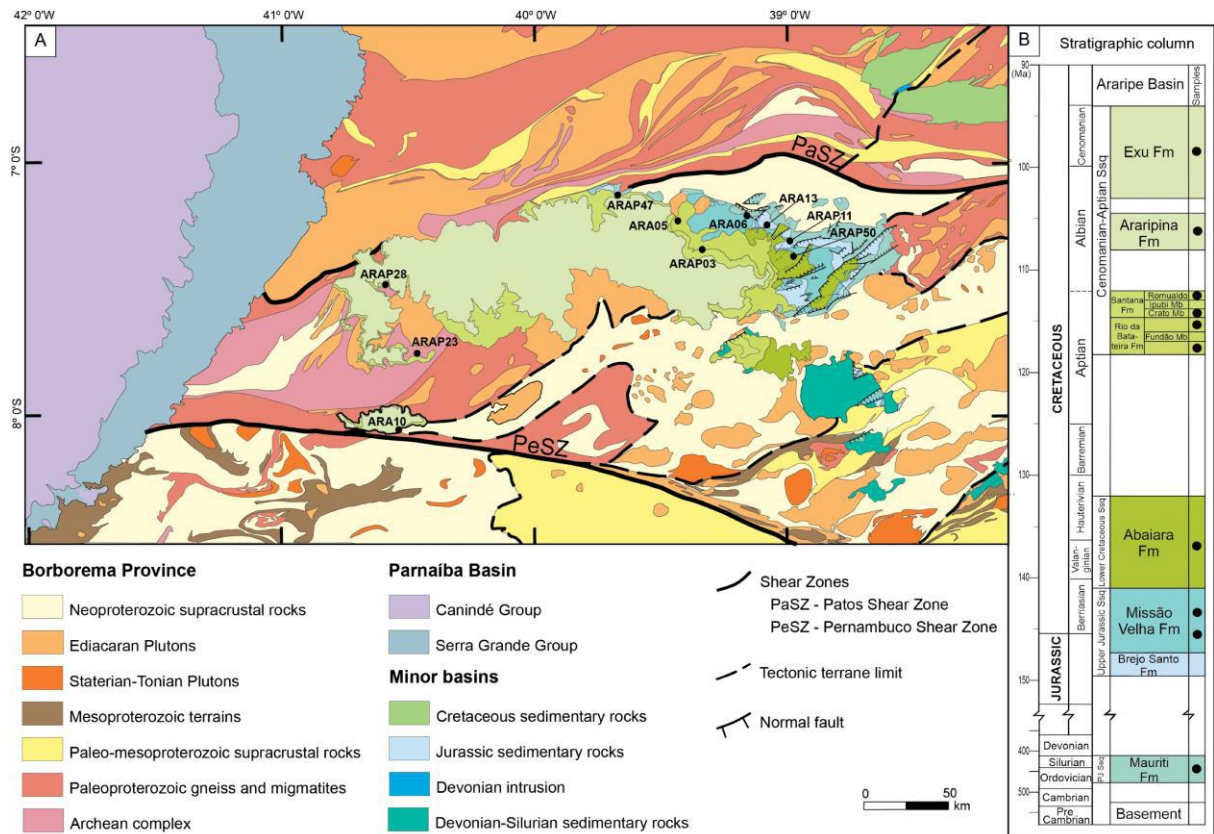


Figura 6: (A) Mapa geológico simplificado da Bacia do Araripe e (B) coluna estratigráfica adaptada de Ponte e Appi (1990) (figura em inglês extraída de Godot Souza *et al.*, 2022).

A sequência paleozoica é constituída pelos arenitos afossilíferos da Formação Cariri, que também é conhecida na literatura como Formação Mauriti. A idade ordoviciano atribuída a essa unidade é resultado da correlação com a Formação Tacaratu, da Bacia de Tucano-Jatobá, e ao Grupo Serra Grande, da Bacia do Parnaíba (Assine, 2007). Foi interpretada como sendo formada por depósitos de ambiente fluvial em um contexto *sag* da bacia, que se desenvolveu após os eventos brasileiros (Ponte e Ponte Filho, 1996).

A sequência pré-rifte é corresponde às formações Brejo Santo e Missão Velha, depositadas em ambiente fluvio-lacustre. O espaço de acomodação foi gerado pela subsidência mecânica da crosta devido ao estiramento litosférico, resultando na



depressão regional afro-brasileira (Assine, 2007). Ambas as formações possuem fósseis que as posicionam no Jurássico superior, sendo que a Formação Missão Velha corresponde aos depósitos fluviais de idade Neojurássica-Eocretácea.

A Formação Abaiara, entre os andares Rio da Serra e Aratu, refere-se aos depósitos fluviais correspondentes aos arenitos e folhelhos depositados em grábens de tectônica ativa, reconhecida como a sequência rifte (Ponte e Ponte Filho, 1996; Assine, 2007).

O espaço de acomodação criado na deposição da sequência pós-rifte foi resultado da subsidência flexural térmica (Assine, 2007). É composta pelo Grupo Araripe, que inclui as formações, da mais antiga para a mais nova, Barbalha, Santana, Araripina e Exu e está posicionada acima da discordância pré-Alagoas, uma descontinuidade regional reconhecida em todas as bacias da margem leste brasileira (Ponte e Appi, 1990; Assine, 2007).

Destaca-se nessa sequência as Camadas Batateira da Formação Barbalha (Assine, 2007) ou Formação Rio da Batateira (Ponte e Appi, 1990), que representa um sistema lacustre anóxico. A Formação Santana pode ser dividida em Membro Crato, que consiste em carbonatos laminados depositados em ambiente lacustre, as Camadas Ipubi (Assine, 2007) ou o Membro Ipubi (Ponte e Appi, 1990), que é representado por camadas evaporíticas de gipsita, e o Membro Romualdo, composto por arenitos na base que gradam para folhelhos no topo, onde é encontrada uma assembleia fossilífera que indica ambiente marinho (Assine, 2007), representando a primeira incursão marinha da Bacia do Araripe.

## **2.4 Arcabouço estrutural e embasamento das bacias**

A Bacia do Parnaíba se estende por aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>, recobrando também unidades tectônicas que são de extrema importância para remontar a história e evolução pré-cambriana do oeste do Gondwana, assim como parte da sua evolução cambriana. Diversos trabalhos estudam o embasamento recoberto da Bacia do Parnaíba de forma indireta, através de métodos geofísicos, e de forma direta, com informações de poços.

Cordani *et al.* (1984) apresentam um mapa esquemático do embasamento (Figura 7) com os principais elementos geotectônicos, que foram inferidos a partir dos terrenos vizinhos à Bacia do Parnaíba e dados de poços que atingiram o



brasilianas, durante a fase de distensão tectônica após os eventos de consolidação do Gondwana.

Segundo de Castro *et al.* (2014), o substrato da Bacia do Parnaíba seria composto por um único bloco cratônico (Bloco Parnaíba), profundamente estruturado por uma série de grábens de idade proterozoica e cambro-ordoviciano, cercado por cinturões orogênicos. Alguns desses grábens afloram na borda da bacia, como é o caso dos grábens representados pelas bacias Jaibaras, na borda NE, e Cococi, na borda leste (Figura 8). Esses autores também apontam para a formação dessas bacias no estágio final da Orogenia Brasiliana-Pan Africana com o desenvolvimento de riftes preenchidos por depósitos pré-silurianos.

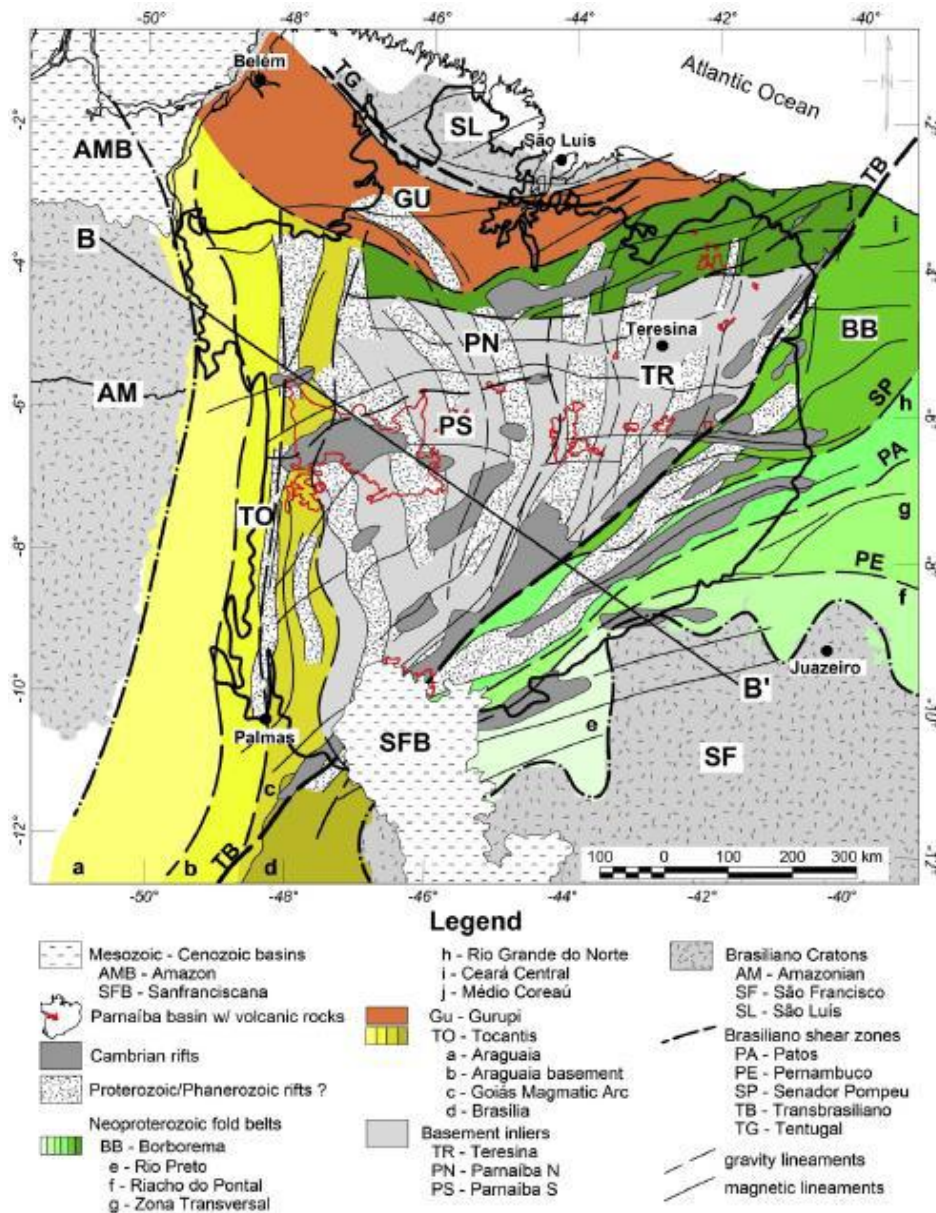


Figura 8: Mapa geotectônico do embasamento abaixo da Bacia do Parnaíba proposto por de Castro *et al.* (2014) – figura em inglês.

Daly *et al.* (2014), através de uma linha sísmica profunda, afirmam que o embasamento da Bacia do Parnaíba não é marcado por grábens, como previamente proposto por de Castro *et al.* (2014), porém tais autores reconheceram a existência de grábens de forma localizada no Lineamento Transbrasiliano, no prolongamento da Bacia do Jaibaras.

Em uma reavaliação sobre as estruturas do embasamento, de Castro *et al.* (2016) alegaram que os grábens da Bacia do Parnaíba, interpretados a partir de baixos gravimétricos, não são observados nas linhas sísmicas. Tais anomalias gravimétricas e magnetométricas podem representar variedades composicionais no embasamento da bacia. Estes autores propõem ainda que, onde se localiza o Lineamento Transbrasiliano, pode ter se estabelecido uma zona de riftes de idade cambro-ordoviciano.

Os grábens cambro-ordovicianos poderiam representar uma fase inicial de subsidência mecânica, seguida pela implantação da sinéclise marcando o estágio de subsidência termal (Oliveira e Mohriak, 2003; Vaz *et al.*, 2007). Porém tal relação é controversa.

Cerri *et al.* (2020), através de estudos de campo e mudança na composição e proveniência dos sedimentos, concluem que a hipótese de evolução de um sistema rifte para uma bacia *sag* não pode ser considerada adequada para as bacias do Jaibaras e Parnaíba. Segundo os autores, durante o período de não deposição entre o final da sedimentação da Bacia do Jaibaras e início da deposição da Bacia do Parnaíba existiu um ciclo de erosão que mudou completamente as áreas fontes denotando histórias de subsidência distintas.

Mais recentemente, Porto *et al.* (2018, 2022) propuseram um novo mapa tectônico do embasamento encoberto, com base na compilação de diversos dados geofísicos (Figura 9). As bacias cambro-ordovicianas estariam localizadas e restritas ao Lineamento Transbrasiliano, e a Bacia do Riachão foi interpretada como uma bacia de *foreland* relacionada com a evolução da Faixa Araguaia.

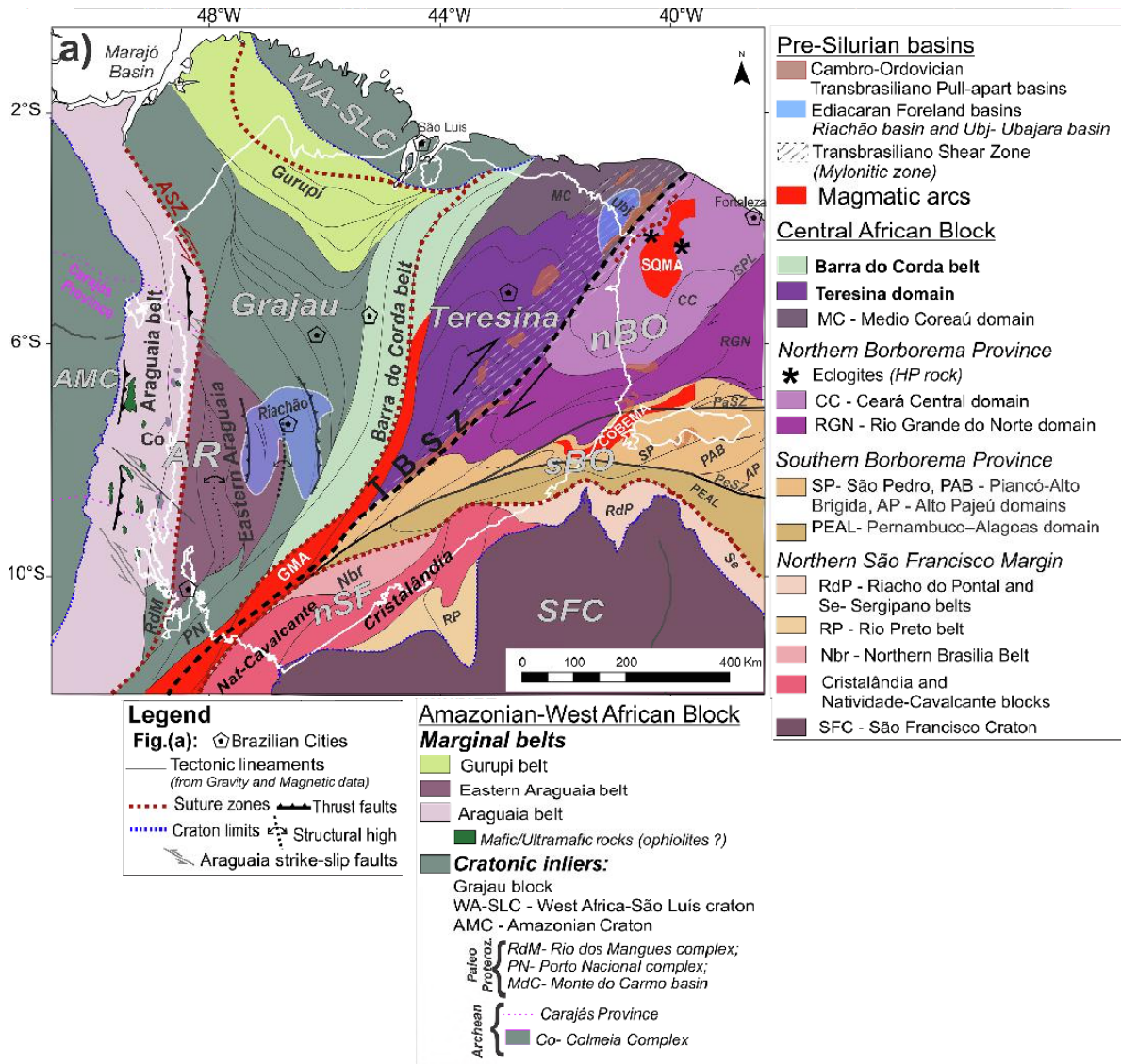


Figura 9: Mapa geotectônico do embasamento Pré-Siluriano da Bacia do Parnaíba proposto por Porto *et al.* (2022) – figura em inglês.

A Bacia do Araripe é reconhecida como um conjunto de hemigrábens assimétricos de direção E-W e NE-SW associados à reativação de estruturas da Província Borborema durante o processo de separação do Gondwana e abertura do Atlântico (Ponte e Ponte Filho, 1996).

Ponte e Ponte Filho (1996), através de quatro linhas sísmicas, definiram grábens e *horsts* que afetam tanto o embasamento como as sequências pré-rifte da bacia (Figura 10A). Os autores separam ainda o interior da bacia em duas sub-bacias: Sub-bacia de Feitoria e Sub-bacia do Cariri. Camacho e Souza (2017) apresentam também para o arcabouço da bacia uma complexa compartimentação estrutural de grábens e *horsts* a partir de dados magnéticos (Figura 10B).

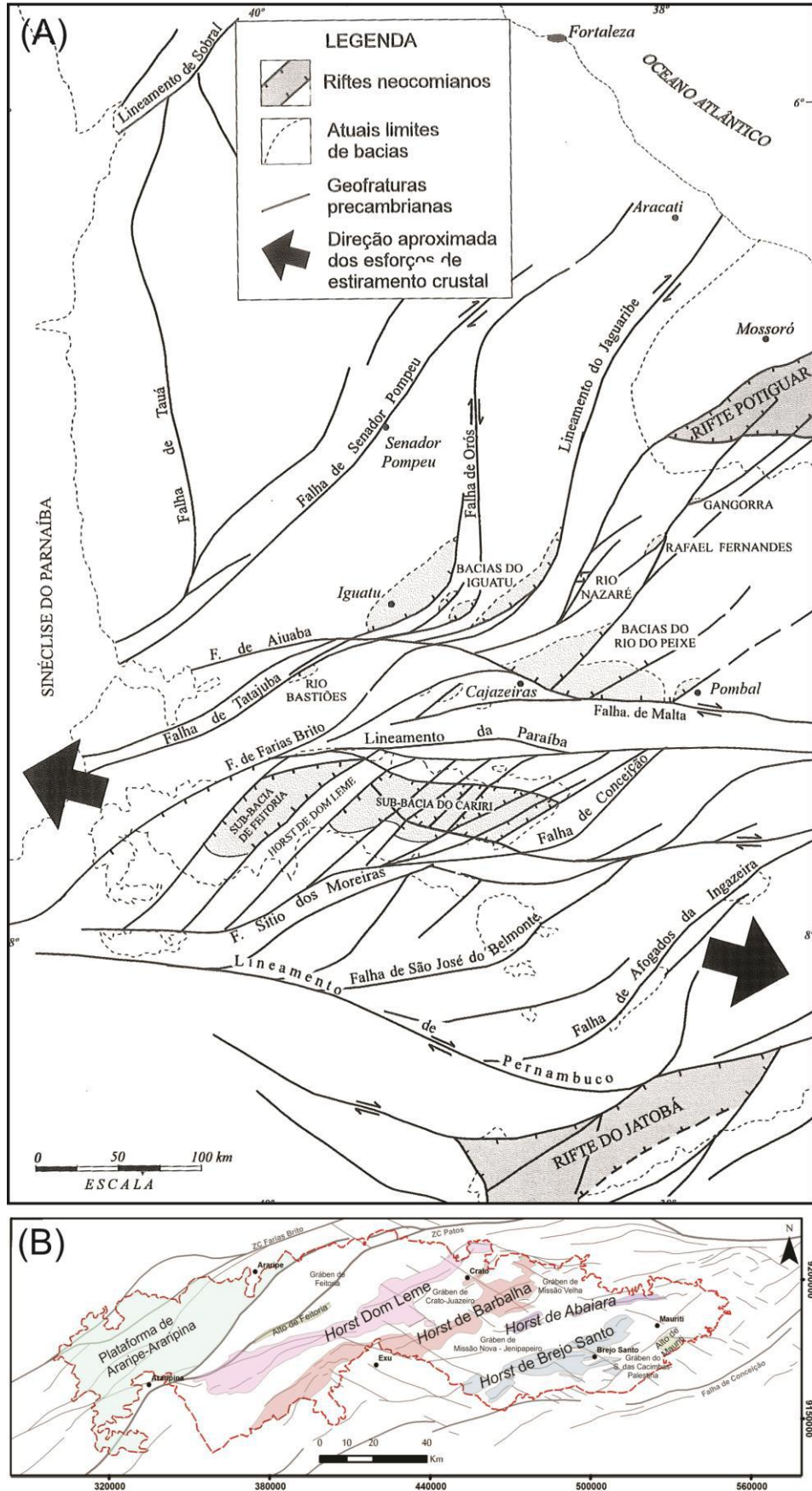


Figura 10: Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe segundo (A) Ponte e Ponte Filho (1996) e (B) Camacho e Souza (2017).

### 3. TRABALHOS ANTERIORES

Poucos trabalhos de geologia estrutural foram desenvolvidos na área de estudo. Metelo (1999) descreve na borda sudeste da Bacia do Parnaíba, próximo à Serra da Capivara, a existência de estruturas em forma de gráben de orientação NE-SW que causaram o basculamento para NW do Grupo Serra Grande nessa localidade, representado pela Formação Ipu. Sobreposta a essa unidade, em discordância angular, ocorre a Formação Itaim (Grupo Canindé), não ocorrendo, portanto, as formações Tianguá e Jaicós. As estruturas em gráben afetam as rochas do Grupo Serra Grande, dessa forma algum evento tectônico pode ter ocorrido para separar a Formação Ipu (base do Grupo Serra Grande) da Formação Itaim (base do Grupo Canindé).

Na seção geológica feita em São João do Piauí, também foram identificadas estruturas em forma de grábens que não afetariam as rochas do Grupo Canindé. Além disso, Metelo (1999) associa a porção conglomerática da Formação Ipu a leques aluviais, sendo assim depósitos sintectônicos relacionados à atividade de falhas NE-SW.

Lima e Jardim de Sá (2017) propuseram três eventos tectônicos com base no mapeamento da borda sudeste da Bacia do Parnaíba. O primeiro foi relacionado ao resfriamento de estruturas do embasamento e a passagem de uma tectônica dúctil do embasamento para uma rúptil. Nesse evento, zonas de cisalhamento de direção NE-SW apresentam cinemática dextral sendo responsável pela formação de grábens como o Cococi e São Julião. Num evento  $D_{n+1}$  falhas transcorrentes dextrais NE-SW ocorrem junto com falhas normais e juntas de distensão com orientação WNW-ESE a NW-SE, porém essa fase também afeta as unidades paleozoicas. Essas estruturas atingem a Formação Pimenteiras e por isso é tida como pós-Devoniana. O evento  $D_{n+2}$  é representado por falhas normais NE-SW impressos nos sedimentos siluro-devonianos. Inclui fraturas e juntas de distensão com orientação NE-SW. Ocorrem associadas a essas estruturas enxames de diques máficos correlacionados com a Formação Sardinha, sendo o evento compatível com a distensão eocretácea.

Fernandes *et al.* (2020) descrevem de forma mais detalhada o controle estrutural dos diques que ocorrem tanto na borda leste da Bacia do Parnaíba, como

na sua porção central. O trabalho corrobora a existência de dois eventos magmáticos na Bacia do Parnaíba e ainda propõe que o evento jurássico (registrado pela Formação Mosquito) não é restrito apenas na porção oeste da bacia como defendido por diversos trabalhos. Os diques na borda leste da bacia são concordantes com a extensão NW-SE que ocorreu durante o Cretáceo. Esses diques ocorrem com fraturas de orientação NE-SW e falhas normais. Essas estruturas NE-SW também controlam veios e cristas silicificadas nos arenitos. O magmatismo, segundo os autores, é relacionado ao evento D4, que corresponde a uma extensão NW-SE associado à abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo, também responsável pela formação dos sistemas de grábens representados pelas bacias do interior do nordeste brasileiro.

Já na porção mais central da área estudada, Fernandes *et al.* (2020) descrevem dois eventos deformacionais controlando a colocação de diques. Os diques da Formação Mosquito podem ter sido controlados pelo evento D3, uma extensão NNW caracterizada por falhas normais E-W e ENE-WSW e fraturas extensionais de idade jurássica relacionadas à abertura do Atlântico Central. Esses diques podem ainda estar controlados pela reativação de estruturas da fase D2 que se refere à reativação de Lineamento Transbrasiliano no Permiano-Triássico em regime tectônico transcorrente sinistral registrado na porção centro-sul da bacia.

Celestino *et al.* (2020) apresentam um estudo acerca da borda norte da Bacia do Araripe, onde se localiza a Zona de Cisalhamento Patos. Essa estrutura, formada nos eventos brasileiros, foi reativada em regime rúptil em outras duas ocasiões. A primeira reativação se deu no Paleozoico. As estruturas de deformação são concordantes com as estruturas dúcteis do embasamento, representando a mesma cinemática, porém em profundidades crustais mais rasas. O segundo evento de reativação (Dn+2) foi responsável pela formação da Falha do Triunfo onde a Zona de Cisalhamento Patos foi reativada com falhas normais-obliquas NE-SW de cinemática normal-sinistral. Celestino *et al.* (2021), ao datar brechas carbonáticas próximas à Falha do Triunfo, concluem que após esses dois eventos essa estrutura foi reativada durante a fase pós-rifte da Bacia do Araripe.

Datações de Ganade *et al.* (2022) em carbonatos associados à Falha do Triunfo, na borda norte da Bacia do Araripe, apontaram uma idade triássica, evidenciando que a abertura do Atlântico Central afetou a porção interna do continente Gondwana mesmo não havendo preservados depósitos sedimentares



dessa época. Além dessa idade também foi obtida uma idade jurássica na borda norte da Bacia do Araripe (ca. 167 Ma), porém com alto erro. Tal idade, pode indicar uma tectônica anterior a formação do rifte do Araripe no Cretáceo ou apenas a mistura de idades do Triássico e Cretáceo.

O quadro a seguir apresenta de forma resumida a evolução tectônica da área de estudo a partir de dados obtidos em trabalhos anteriores:

Quadro 1 – Resumo dos eventos tectônicos de trabalhos anteriores na área de estudo. Modificado de Lima (2016).

Descrição	Lima e Jardim de Sá, 2017	Fernandes et al. (2020)	Celestino et al. (2020)	Celestino et al. (2021)	Ganade et al. (2022)
Reativação pós-rifte da Bacia do Araripe.				Idade em brechas carbonáticas associadas a <i>pipes</i>	
Distensão NW, formação de falhas normais NE-SW, veios silicosos e colocação de diques básicos. Idade eocretácea associada à abertura do Atlântico Sul.	Dn+2	D4	Dn+2		
Distensão N/NNE caracterizada por falhas e juntas de distensão E-W que controlam o alojamento dos diques de diabásio relacionados a Formação Mosquito. Evento de idade neotriássica-eojurássica relacionado à abertura do Atlântico Central.		D3			Idade em brechas carbonáticas associadas a falhas
Estruturas NE-SW com cinemática transcorrente sinistral e falhas de rejeito oblíquo ou normal com orientação N-S a NNW. Evento do Eopermiano-Mesotriássico.		D2			
Falhas dextrais NE-SW e falhas normais E-W que também ocorrem no embasamento e afetam a Sequência Siluriana-Devoniana (idade pós-devoniana e pré-cretácea)	Dn+1	D1			
Estruturas dúcteis-rúpteis com zonas de cisalhamento NE-SW dextrais e falhas normais E-W. Estágio tardio da evolução das zonas de cisalhamento brasileiras. Responsável pela formação de bacias pré-silurianas.	Dn		Dn+1		

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Imagens SRTM

Foram utilizadas imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 m, retiradas do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

A *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi produto de uma colaboração da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), com as agências espaciais da Alemanha (*DLR – Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt*) e Itália (*ASI - Agenzia Spaziale Italiana*) (Bamler, 1999).

Para a aquisição dos dados, o ônibus espacial *Endeavour*, lançado em 11 de fevereiro de 2000, com uma órbita de 233 km de altitude e inclinação de 57°, coletou imagens da superfície terrestre utilizando sensores SAR Interferométricos (InSAR) entre as latitudes de 60°N e 56°S (Koch *et al.*, 2002; Rabus *et al.*, 2003).

A missão utilizou duas antenas para coletar os dados, uma na banda C (SIR-C), com comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 6,0 cm, e a outra na banda X (X-SAR), com comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 3,1 cm (Koch *et al.*, 2002). Dessa forma, foi possível gerar Modelos Digitais de Elevação (*Digital Elevation Model- DEM*) da superfície terrestre, com resoluções de 30 m e 90 m, ou 1 e 3 arco-segundos (Rabus *et al.*, 2003).

#### 4.1.2 Mapas magnetométricos

Os levantamentos magnéticos disponíveis na região da Bacia do Parnaíba e da Bacia do Araripe são representados na Figura 11. Esses levantamentos foram tratados e unificados pela equipe de Geofísica do Projeto Alagoas e foi gerado um mapa único que serviu de base para a aplicação de diversos filtros através do *software* Oasis Montaj. As especificações dos projetos utilizados são resumidas no quadro 2.

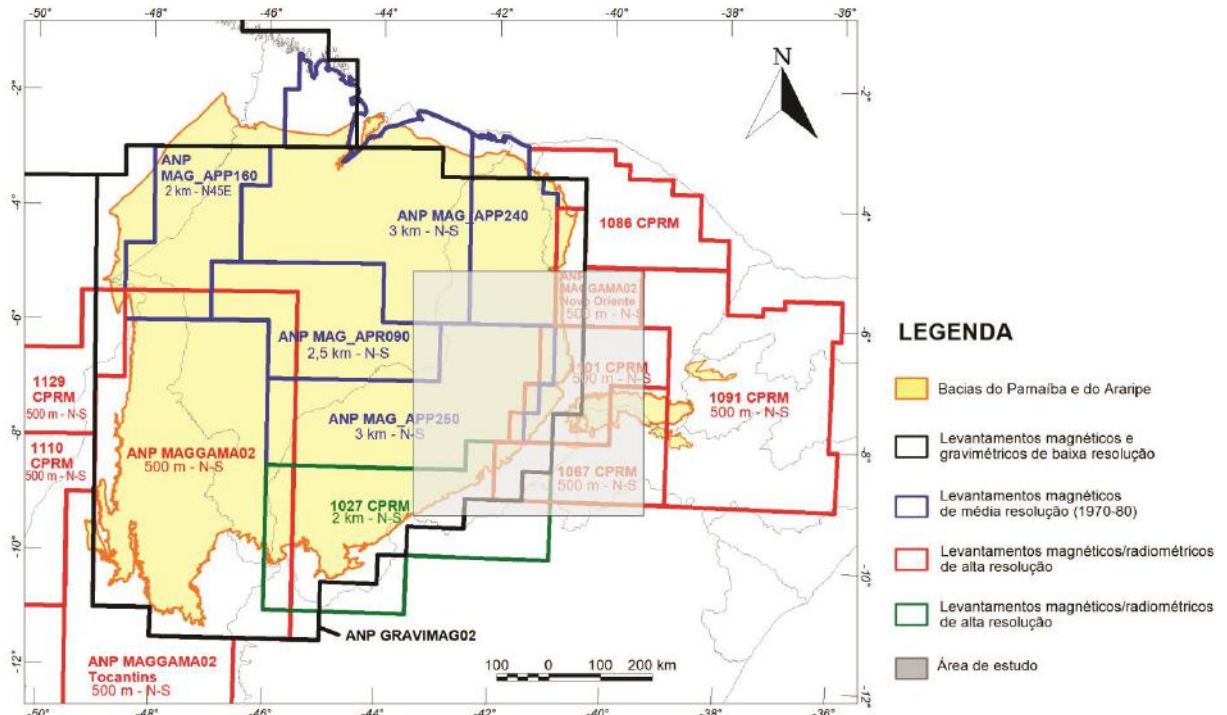


Figura 11: Mapa dos levantamentos magnéticos públicos que abrangem as áreas da Bacia do Parnaíba e Bacia do Araripe. Fonte: Equipe de Geofísica, Projeto Alagoas.

Quadro 2 - Especificações dos projetos de aquisição de dados aerogeofísicos que fazem parte da área de estudo.

Código	Fonte	Ano	Altura do voo	Espaçamento das linhas de voo	Espaçamento das linhas de controle
1101	CPRM	2010	100 m	0,5km	10km
1067	CPRM	2006	100 m	0,5km	10km
1027	CPRM	1976	150 m	2 km	20 km
<b>Novo Oriente</b>	ANP	2006	100 m	0,5 km	10 km
<b>MAG_APR090</b>	ANP	1981	300 m	2,5 km	8 km
<b>MAG_APP250</b>	ANP	1989	100 m	3 km	18 km
<b>MAG_APP240</b>	ANP	1988	100 m	3 km	18 km

#### 4.1.3 Softwares utilizados

- ArcGis versão 10.7;
- Oasis Montaj versão 9.7.1;
- Global Mapper versão 12 e
- CorelDRAW 2019.

## 4.2 Métodos

O método de trabalho engloba: pesquisa bibliográfica e compilação de trabalhos anteriores; interpretação de imagens SRTM e de mapas magnetométricos; e um trabalho de campo.

A pesquisa bibliográfica incluiu o estudo e fundamentação teórica do trabalho como também a compilação de dados estruturais de trabalhos anteriores que foram incorporados ao mapa geológico da área. Os trabalhos utilizados na compilação foram os de Gomes e Vasconcelos (2000), Lima e Jardim de Sá (2017), Fernandes *et al.* (2020) e Pinéo *et al.* (2020).

As imagens SRTM foram utilizadas para a produção dos mapas de relevo sombreado, utilizando a configuração padrão do ArcGis 10.7, com inclinação de 45° nas direções azimutais de 000°, 060°, 090° e 315°, além de um mapa RGB com iluminação artificial com inclinação de 45° e azimute de 045° gerado pelo *software* Global Mapper (Figura 12).

O processo de interpretação de imagem para o mapeamento dos lineamentos foi realizado no *software* ArcGIS 10.7 da ESRI na escala de 1:250.000. Para o cálculo automático do azimute de cada lineamento foi utilizado a Módulo ArcSDM do *software* ArcGis 10.7 (Kemp *et al.*, 2001). Os lineamentos também foram classificados de acordo com a unidade estratigráfica na qual se apresentavam, sendo separados por unidades geológicas e de acordo com as sequências sedimentares das bacias do Parnaíba e Araripe.

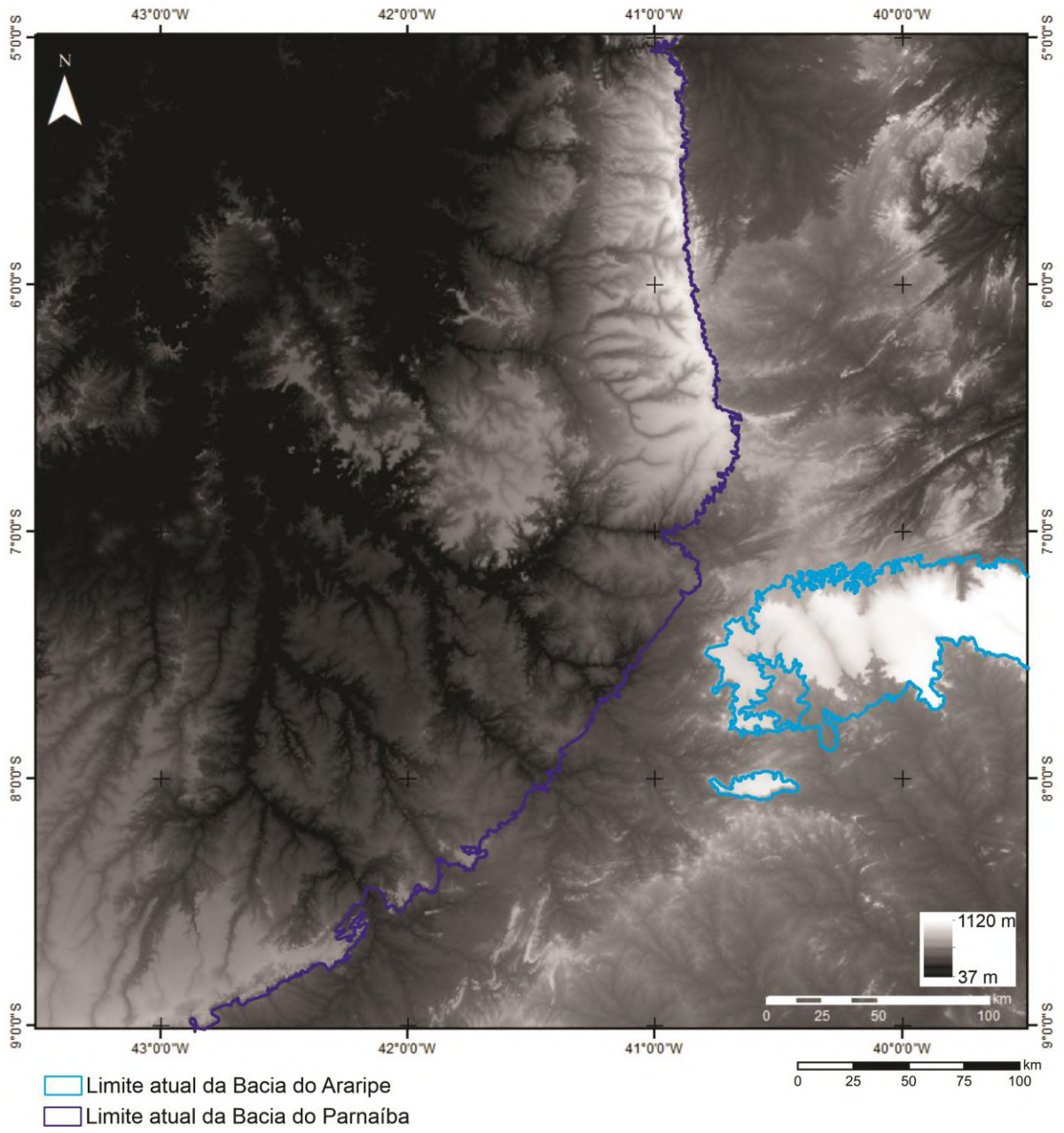


Figura 12: Imagem SRTM da área de estudo.

A partir dos dados de levantamentos magnéticos foram aplicados diversos filtros ao mapa de Campo Magnético Total (Figura 13), sendo eles Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Inclinação do Sinal Analítico (ISA), Gradiente Horizontal Total (GHT), Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA), Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT), primeira derivada (Dx, Dy e Dz) e Correção Automática de Ganho (AGC) a fim de facilitar a interpretação das anomalias magnéticas que apresentam natureza dipolo.

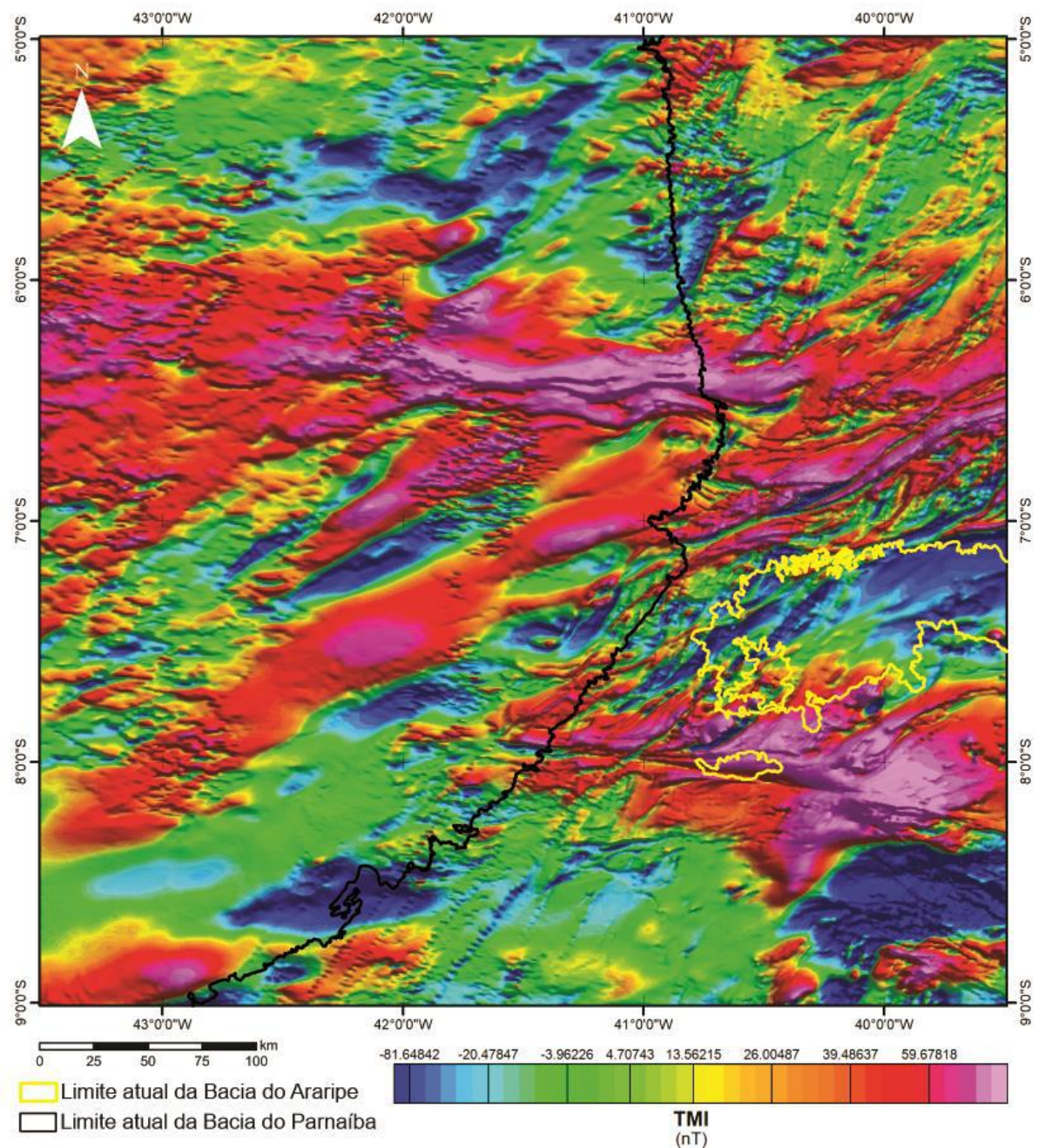


Figura 13: Mapa do Campo Magnético Total. Corresponde à quantidade medida por este método sem aplicação de filtros.

Os filtros mais utilizados para interpretação dos dados foram Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Inclinação do Sinal Analítico (ISA), Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA) e a Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT). Esses filtros serão definidos de forma resumida, sendo qualificados também pela sua utilidade no estudo.

A Amplitude do Sinal Analítico (Nabighian,1972) centraliza o valor máximo na fonte da anomalia, em valores positivos, logo no topo de cada contato e sua largura está diretamente relacionada à profundidade do corpo (Figura 14).

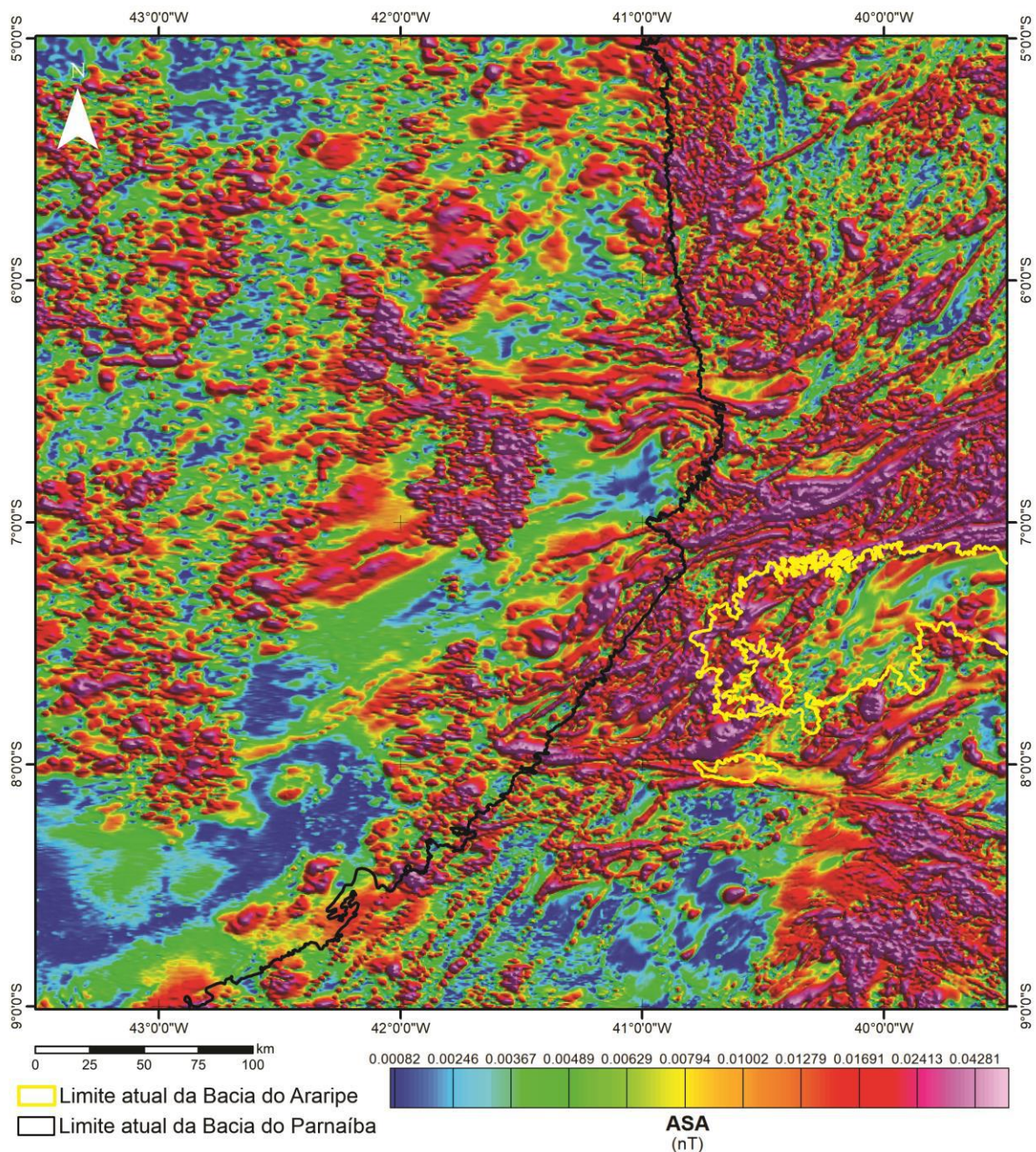


Figura 14: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA).

O filtro de Inclinação do Sinal Analítico também posiciona os valores máximos da anomalia sobre o centro da fonte magnética. Além disso, também equaliza a amplitude das anomalias independente da sua profundidade (Miller e Singh, 1994), ou seja, permite o melhor reconhecimento de estruturas profundas (Figura 15).

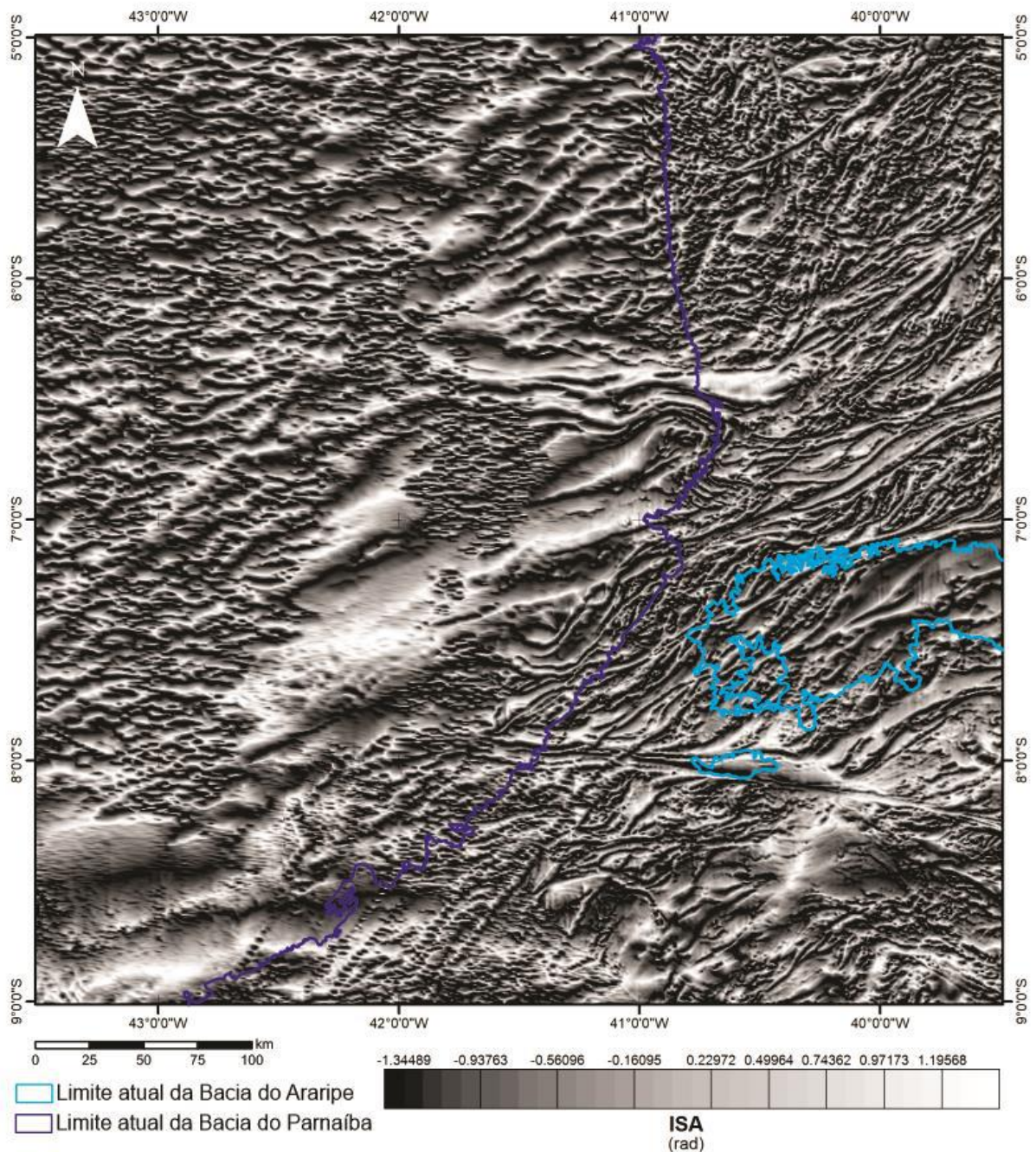


Figura 15: Mapa da Inclinação do Sinal Analítico (ISA).

O filtro Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA) realça o Gradiente Horizontal Total (GHT) de anomalias magnéticas através da aplicação subsequente da Inclinação do Sinal Analítico (ISA). Destaca a



borda dos corpos em seus valores máximos e também equaliza o sinal de fontes profundas com o de fontes rasas (Figura 16), porém há uma atenuação do sinal em função das profundidades dos corpos (Verduzco *et al.*, 2004).

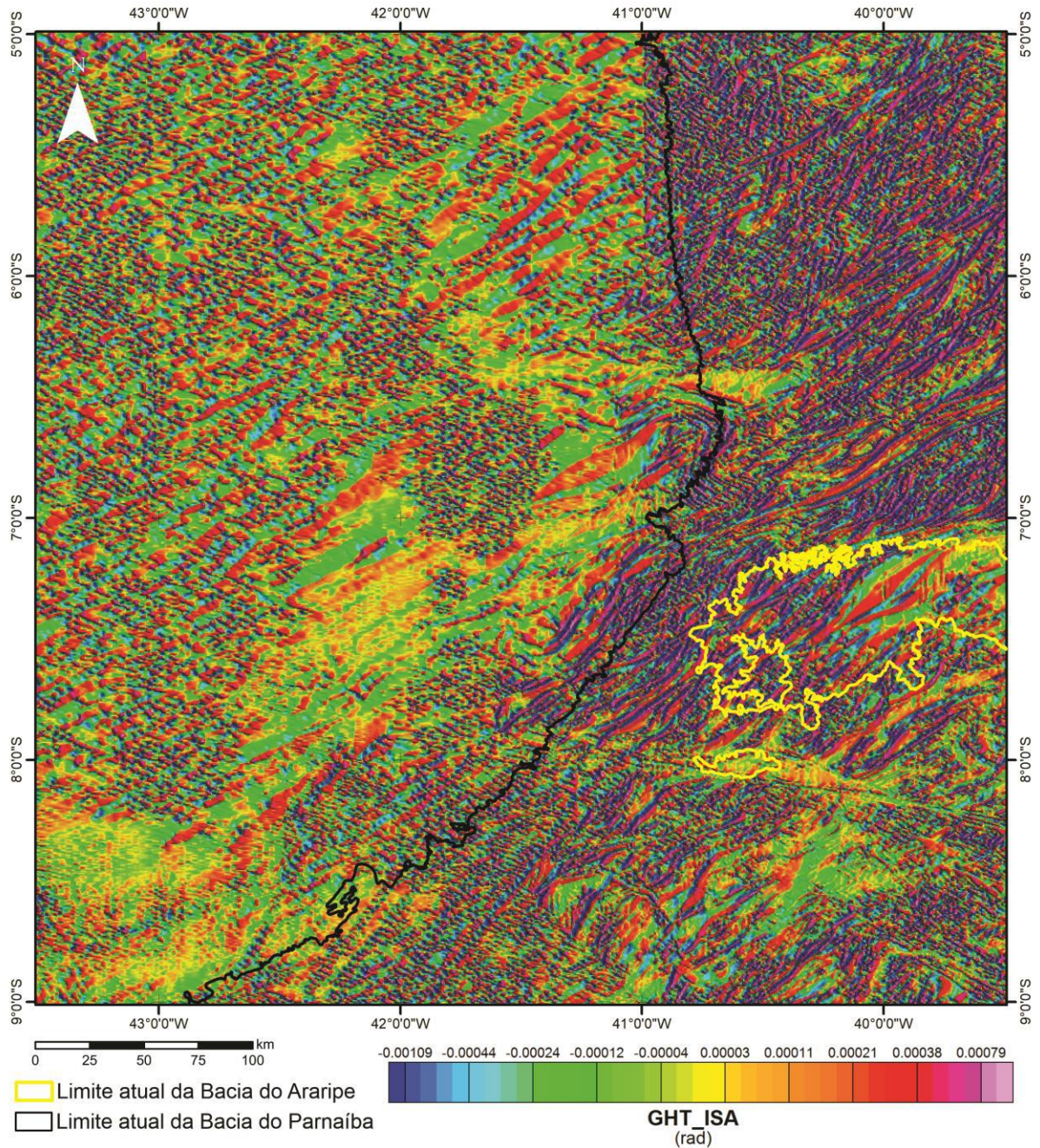


Figura 16: Mapa Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA).

A Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT), realçando a borda das anomalias com máximas amplitudes do sinal independente de estruturas rasas ou profundas, ou seja, sem relação com a profundidade da fonte da anomalia (Ferreira *et al.*, 2010). O filtro foi eficiente para definir a continuidade dos lineamentos magnéticos (Figura 17).

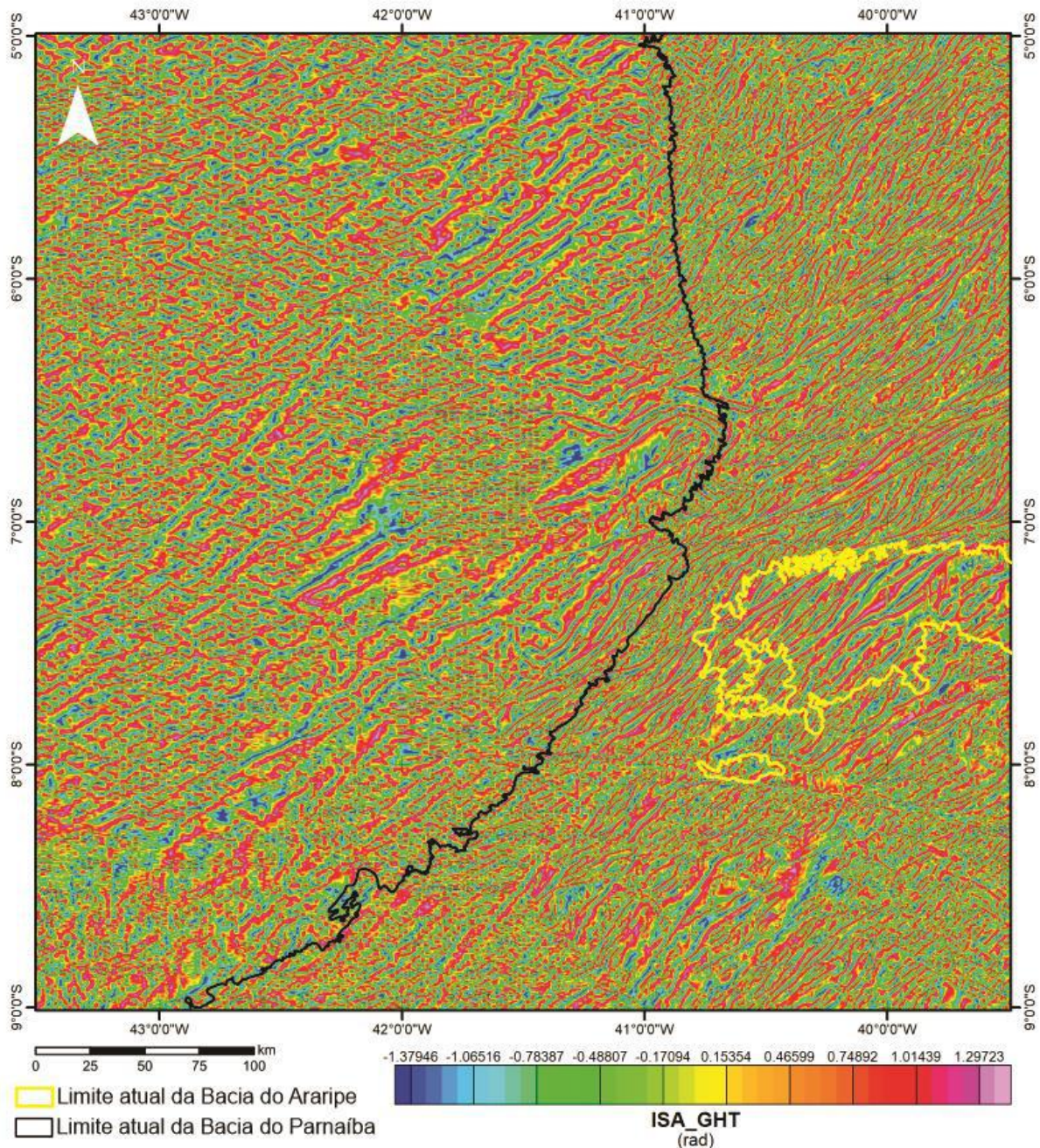


Figura 17: Mapa da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT).

Foi feito ainda um trabalho de campo com duração de seis dias para o reconhecimento regional de estruturas e coleta expedita de dados estruturais para o refinamento da análise estrutural. Foram percorridas quatro seções geológicas ao longo da borda leste da Bacia do Parnaíba, alcançando desde o embasamento até a Formação Cabeças, e borda oeste da Bacia do Araripe (Formação Araripina), com a aquisição de dados estruturais e descrição de afloramentos em 26 pontos, da Bacia do Parnaíba de idade devoniana e da Bacia do Araripe (Figura 25A e 25B). A atitude

das estruturas planares neste trabalho é representada pela notação de mergulho, reportando o sentido de mergulho em azimute, seguido do ângulo de mergulho. A direção das estruturas planares é referida como *trend*.

Por fim, foi feita a integração dos dados compilados, das análises e interpretação das imagens SRTM e dos lineamentos magnéticos com os dados obtidos em campo para a geração de um mapa estrutural regional da área e quatro seções geológicas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Lineamentos magnéticos

Na área de estudo, foram identificados ao todo 840 lineamentos magnéticos separados em diferentes grupos. Os lineamentos NE-SW e E-W somam 494 traçados (Figura 18A e 18B). Esses dois *trends* de lineamentos coincidem com a trama dúctil do embasamento cristalino da Província Borborema, que se estende abaixo das bacias do Parnaíba e Araripe. Estes lineamentos são expressos por anomalias contínuas, com média de 50 km de comprimento podendo chegar até a 374 km (Lineamento Transbrasiliano) e podem se apresentar encurvados.

Existem ainda lineamentos NW-SE (n=243) que são usualmente retilíneos, curtos (com média de 28 km e no máximo 107 km) e apresentam um *trend* predominante N30W-S30E (Figura 18B). Estes lineamentos ocorrem interrompendo as anomalias mais contínuas de orientação NE-SW, sendo interpretados como estruturas rúpteis.

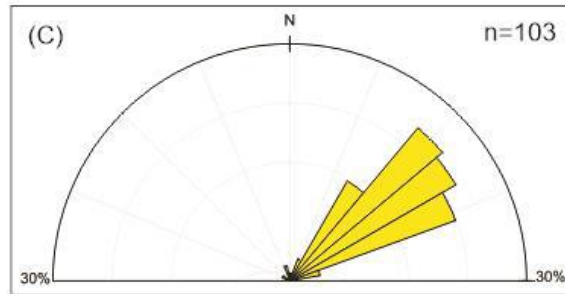
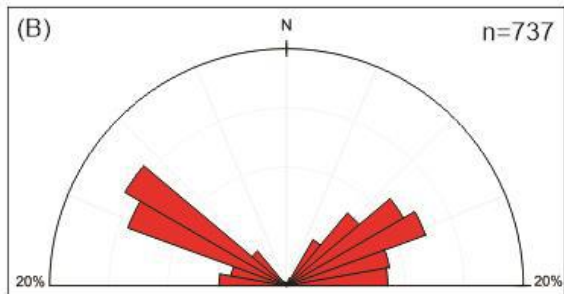
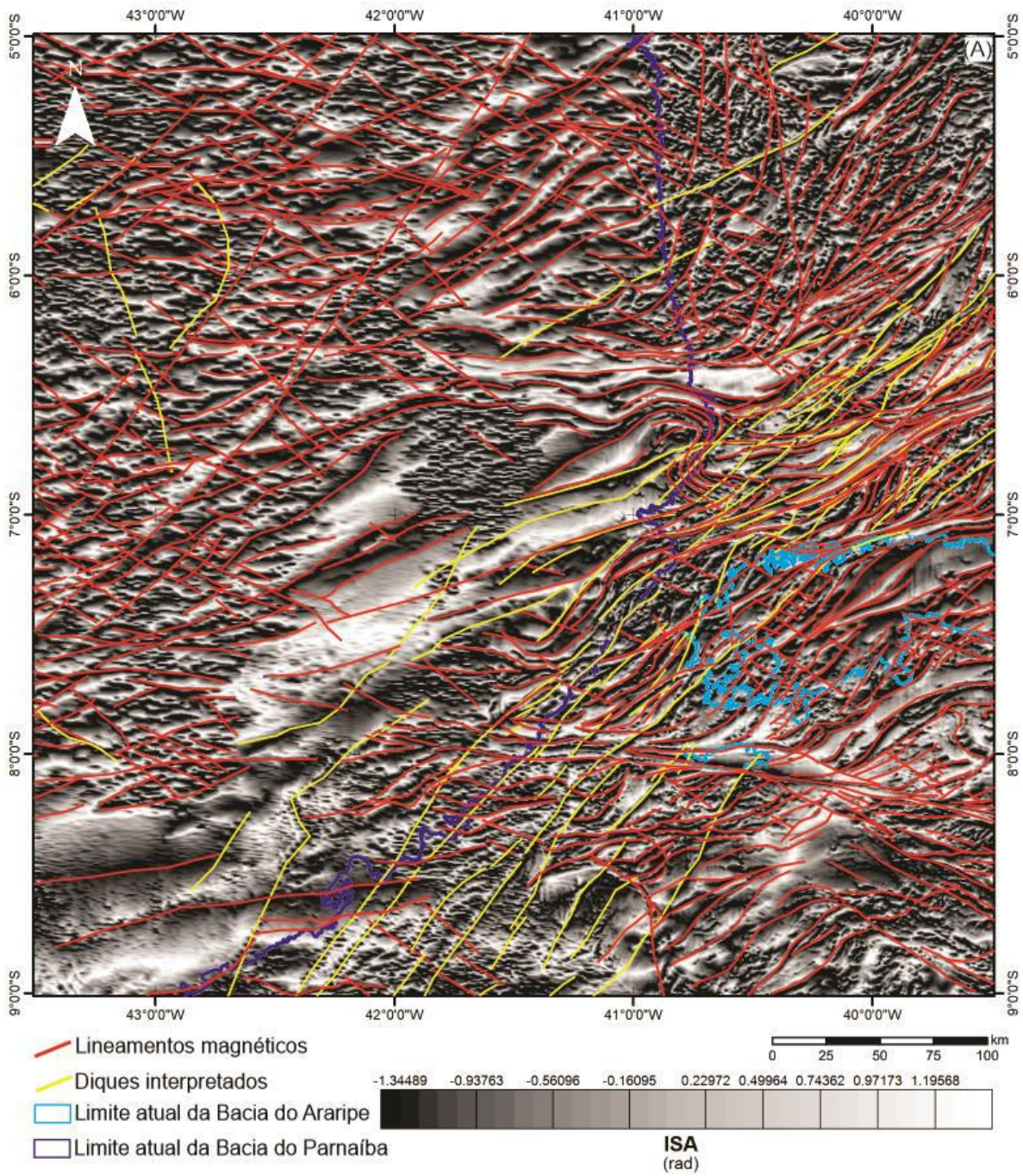


Figura 18: (A) Mapa da Inclinação do Sinal Analítico com lineamentos magnéticos traçados. Diagramas de roseta dos lineamentos magnéticos (B) todos os lineamentos menos (C) lineamentos interpretados como diques.

Foram também identificados lineamentos NE-SW diferentes daqueles que fazem parte da Província Borborema, que apresentam padrão magnético diferente dos demais, como linhas descontínuas ou “pontilhadas” sendo possível distingui-los de forma bastante eficiente com o filtro ASA (Figura 14). Esses lineamentos, apesar de apresentarem sinal magnético descontínuo, são longos, medindo 51 km em média. Além disso, são mais retilíneos e ocorrem cortando os lineamentos da Província Borborema tendo também orientação diferente dos demais lineamentos da Borborema, apresentando um *trend* N48E-S48W (Figura 18C).

Conforme avançamos para oeste na Bacia do Parnaíba as anomalias magnéticas passam a ficar mais atenuadas tanto pelo aumento da espessura sedimentar como também pela mudança nos parâmetros de aquisição dos dados, uma vez que as linhas de voo são mais distantes nos levantamentos da Bacia do Parnaíba. Além disso, a ocorrência de corpos ígneos do Cretáceo (Mocitaiba *et al.*, 2017) dificulta a identificação de lineamentos mais profundos relacionados ao embasamento. Todos esses fatores são complicadores para a interpretação das anomalias magnéticas abaixo da sucessão sedimentar da Bacia do Parnaíba, porém alguns filtros como o ISA permitiram a melhor identificação desses lineamentos e sua continuidade foi reconhecida principalmente pelo filtro ISA-GHT, mapeando os prolongamentos das principais zonas de cisalhamento da Província Borborema abaixo das bacias (Figura 19).

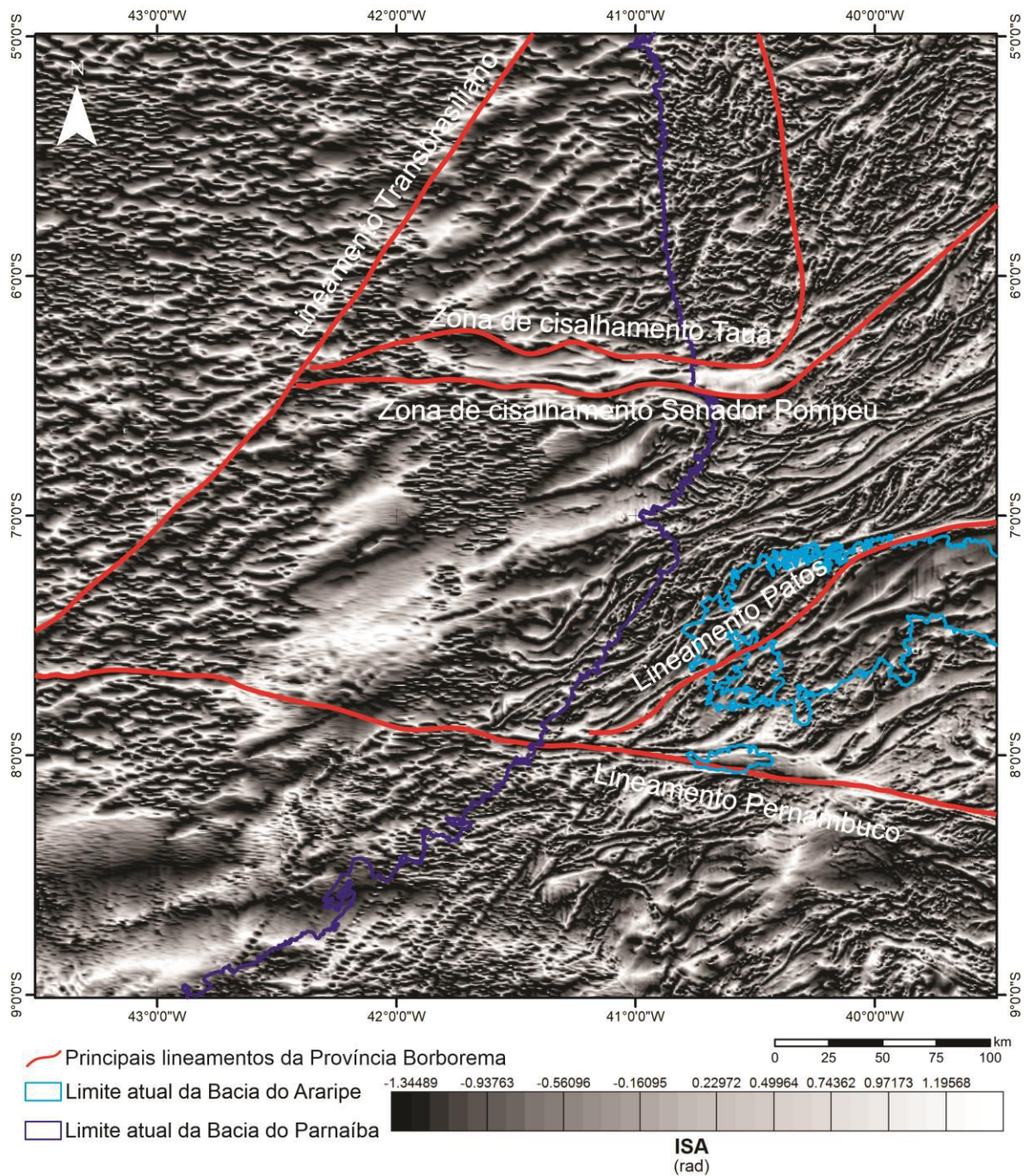


Figura 19: Mapa da Inclinação do Sinal Analítico com os principais lineamentos da Província Borborema e sua continuidade abaixo das bacias do Parnaíba e do Araripe.

## 5.2 Domínios magnéticos

Os domínios magnéticos foram diferenciados pela intensidade da anomalia magnética, ocorrência de lineamentos magnéticos, sua continuidade, e principalmente pelo relevo magnético. Anomalias de mais curto comprimento de onda dão um aspecto mais rugoso ao relevo magnético enquanto as anomalias de maior comprimento de onda produzem relevos magnéticos mais suaves. Foram

identificados 15 domínios magnéticos (Figura 20) cujas principais características técnicas são sintetizadas no quadro 3.

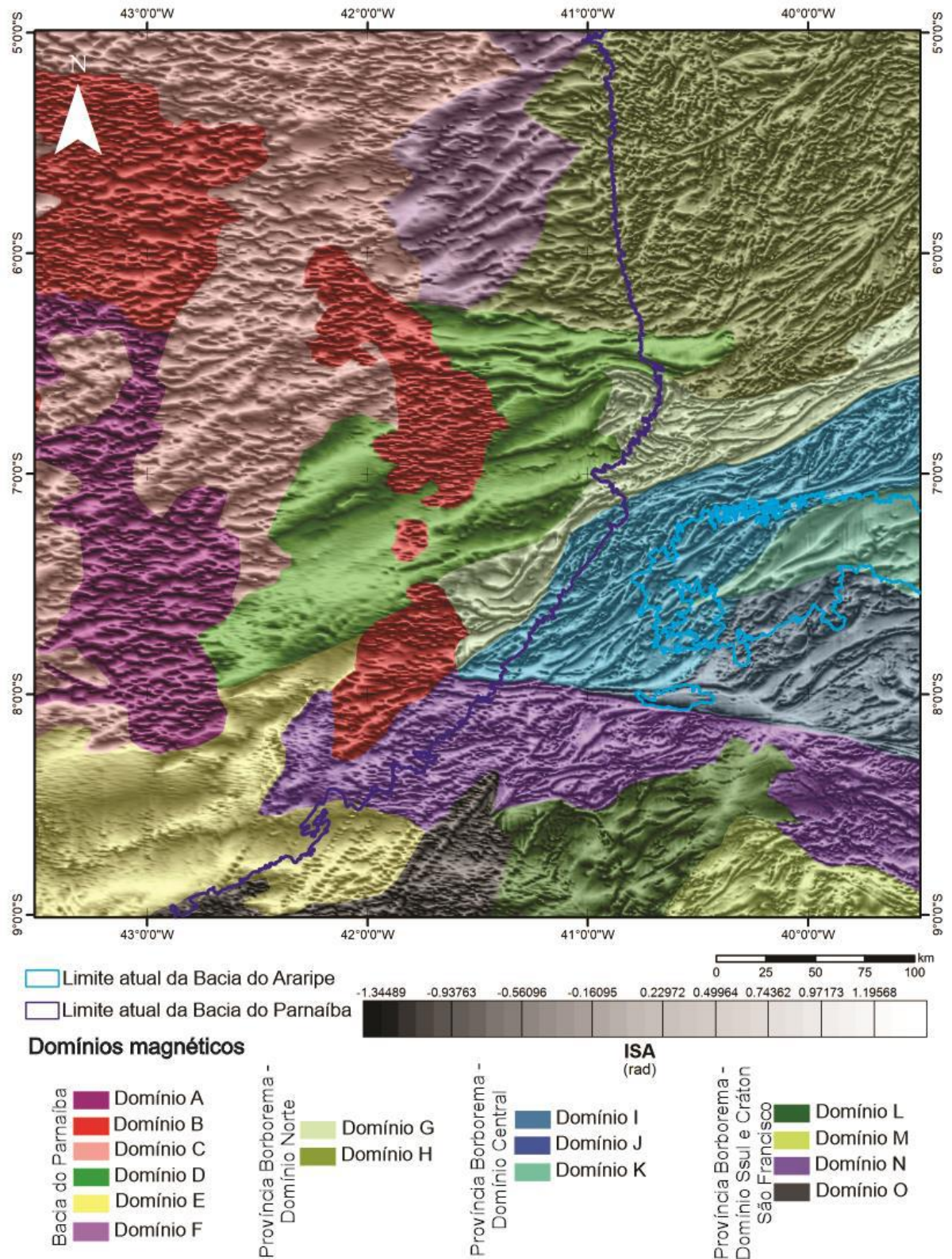


Figura 20: Mapa Inclinação do Sinal Analítico com domínios magnéticos.



Quadro 3 – Descrição simplificada dos domínios magnéticos.

Domínio	Área (km <sup>2</sup> )	Amplitude máxima (nT)	Amplitude mínima (nT)	Desvio padrão (nT)	Domínio geológico correspondente
<b>A</b>	12.684	143	-91	30	Encoberto pela Bacia do Parnaíba
<b>B</b>	19.520	309	-138	38	Magmatismo juro-cretáceo (Mocitaiba <i>et al.</i> , 2017)
<b>C</b>	30.296	161	-125	29	Encoberto pela Bacia do Parnaíba
<b>D</b>	17.077	192	-108	43	Porção aflorante – Bacia do Cococi
<b>E</b>	14.688	88	-122	31	Porção aflorante – Terrenos neoproterozóico (rochas metassedimentares)
<b>F</b>	8.025	156	-197	44	Encoberto pela Bacia do Parnaíba
<b>G</b>	8300	265	-292	44	Terrenos paleoproterozóicos
<b>H</b>	29.980	157	-244	30	Subprovíncia Norte
<b>I</b>	13.612	961	-777	54	Terrenos arqueanos, paleo-neoproterozóicos com grande ocorrência de diques
<b>J</b>	8.125	241	-207	50	Terrenos paleo-neoproterozóicos
<b>K</b>	3.351	235	-380	41	Encoberto pela Bacia do Araripe
<b>L</b>	7.457	144	-167	37	Terrenos neoproterozóico (rochas metassedimentares)
<b>M</b>	3.712	196	-294	59	Cráton São Francisco
<b>N</b>	15.318	248	-359	68	Terrenos mesoproterozóicos
<b>O</b>	3.608	308	-743	31	Cráton São Francisco

Os domínios A e B apresentam anomalias com menor comprimento de onda que dão à imagem um aspecto rugoso. Tais domínios podem ser associados aos mapeados por Mocitaiba *et al.* (2017) como rochas magmáticas.

Os domínios D, E e K apresentam um comprimento de onda longo o que pode indicar fontes magnéticas profundas, ou seja, aumento da espessura sedimentar para aqueles domínios que se encontram abaixo da bacia ou corpos pouco magnéticos como é o caso de terrenos metassedimentares. O domínio J também apresenta porções com alto comprimento de onda, mas é recortado por diversos lineamentos magnéticos NE-SW, possivelmente zonas de cisalhamento, que imprimem comprimentos de onda menores.

Os domínios com maiores desvios padrão (I, J, M e N) ocorrem associados principalmente a regiões que apresentam mais diques, com exceção do domínio M. Além desses domínios, o domínio G também exhibe lineamentos interpretados como diques e seu desvio padrão também é relativamente alto.

### **5.3 Lineamentos SRTM**

Os lineamentos traçados a partir da interpretação das imagens SRTM foram divididos de acordo com a unidade geológica, dessa forma separados em lineamentos da Bacia do Araripe, da Bacia do Parnaíba e do embasamento (Figura 21). Os lineamentos das bacias sedimentares foram classificados de acordo com a unidade litoestratigráfica em que ocorrem, logo cada formação sedimentar fornece uma idade máxima para a formação da estrutura.

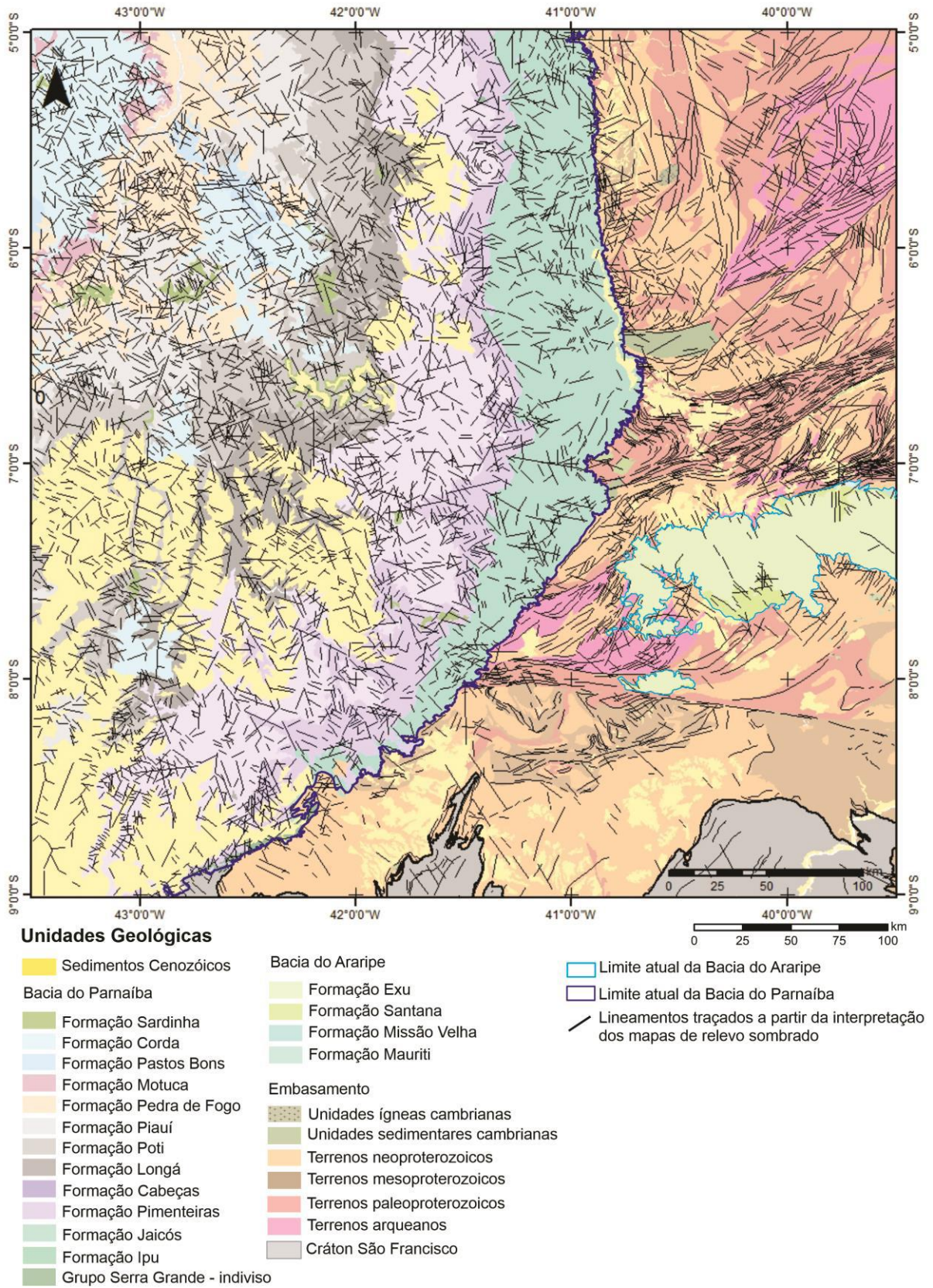


Figura 21: Mapa de geológico simplificado com os lineamentos traçados a partir dos mapas de relevo sombreado.

No embasamento foram observados dois padrões de lineamentos. O primeiro padrão é predominantemente NE-SW (N58E-S58W - Figura 22A), em que foram identificados 1720 lineamentos mais contínuos e curvos, correlacionados com a trama dúctil do embasamento. O segundo grupo de lineamentos é predominantemente NW-SE (N52W-S52E - Figura 22B) e corresponde a lineamentos curtos, segmentados e retilíneos, que são interpretados como estruturas de caráter rúptil.

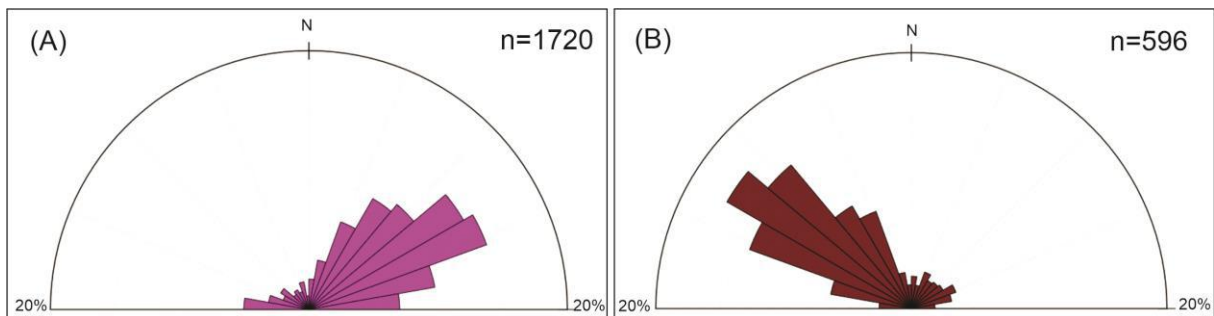


Figura 22: Diagramas de roseta dos lineamentos SRTM do embasamento. (A) Trama principal do embasamento e (B) trama secundária do embasamento.

Os lineamentos identificados nas unidades da Bacia do Parnaíba foram agrupados pela sequência deposicional na qual se encontram.

A Sequência Siluriana, representada pelo Grupo Serra Grande, apresenta ampla distribuição no *trend* dos lineamentos, com pelo menos 2 famílias NE-SW (N23E-S23W e N66E-S66W), 2 famílias NW-SE (N23W-S23E e N70W-S70E), além de lineamentos NNE-SSW e E-W (Figura 23A).

O Grupo Canindé corresponde à Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da bacia, apresentando lineamentos NW-SE em maior proporção entre os *trends* N68W-S68E e N22W-S22E e lineamentos N22E-S22W (Figura 23B).

O Grupo Balsas, que representa a Sequência Neocarbonífero-Eotriássica, possui lineamentos NW-SE mais evidentes principalmente com *trends* N25W-S25E além de duas famílias de lineamentos NE-SW, N25E-S25W e N68E-S68W (Figura 23C).

Na Sequência Jurássica, representada pelo Grupo Mearim, os lineamentos são principalmente NW-SE (entre N22W-S22E e N50W-S50E) além de *trends* N30E-S30W e N68E-S68W de forma subordinada (Figura 23D).

Na região estudada, a Formação Sardinha é a única unidade litoestratigráfica do Cretáceo, sendo representada por soleiras de basalto. Sua distribuição na área é

ampla, mas concentrada em pequenas áreas. Essa unidade apresenta lineamentos principais NW-SE e de forma subordinada lineamentos NE-SW (Figura 23E).

Os depósitos cenozoicos da Bacia do Parnaíba, por sua vez, apresentam orientação principal N65W-S65E com cerca de 26% dos lineamentos, apresentando também lineamentos N30W-S30E e em menor proporção lineamentos NE-SW e E-W (Figura 23F).

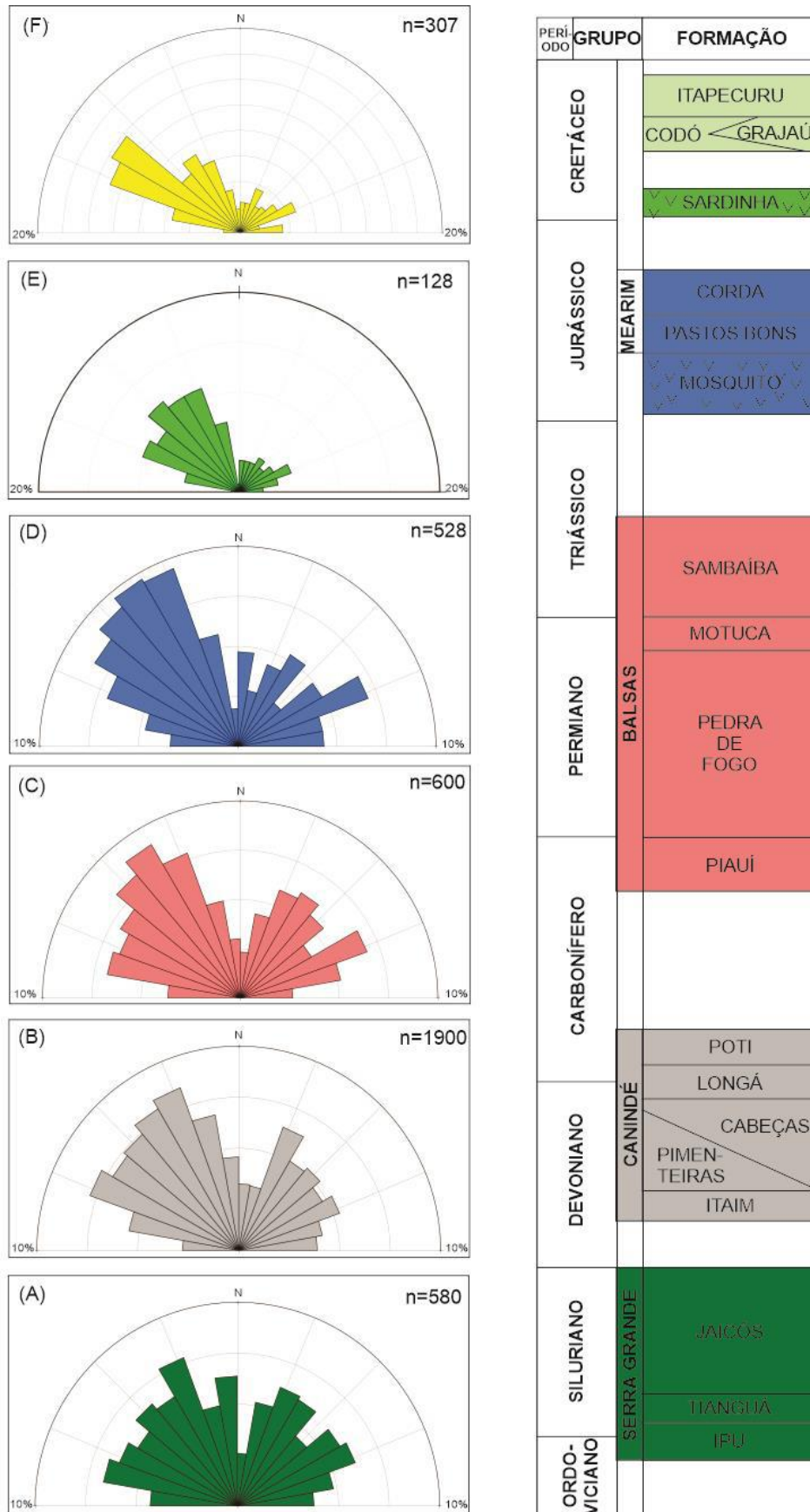


Figura 23: Diagramas de roseta dos lineamentos traçados a partir do SRTM na Bacia do Parnaíba. Lineamentos traçados nas sequências (A) Siluriana; (B) Mesodevoniana-Eocarbonífera; (C) Neocarbonífero-Eotriássica; (D) Jurássica; (E) Formação Sardinha; e (F) unidades do Cenozóico.

Já na Bacia do Araripe, a interpretação dos lineamentos contemplou apenas os depósitos do Cretáceo que afloram na borda oeste da bacia. Também ocorrem formações sedimentares do Jurássico, porém apenas três lineamentos foram traçados nessas unidades e foram descartados do estudo por falta de relevância estatística. As formações Santana Araripina e Exu apresentam principalmente lineamentos NW-SE (N50W-S50E e N23W-S23E) além de lineamentos NE-SW e E-W subordinados (Figura 24A). Por fim, nos depósitos do Cenozoico, próximos à Bacia do Araripe, foram traçados apenas 30 lineamentos, mas o *trend* N23W-S23E foi o mais expressivo com mais de 40% dos lineamentos (Figura 24B).

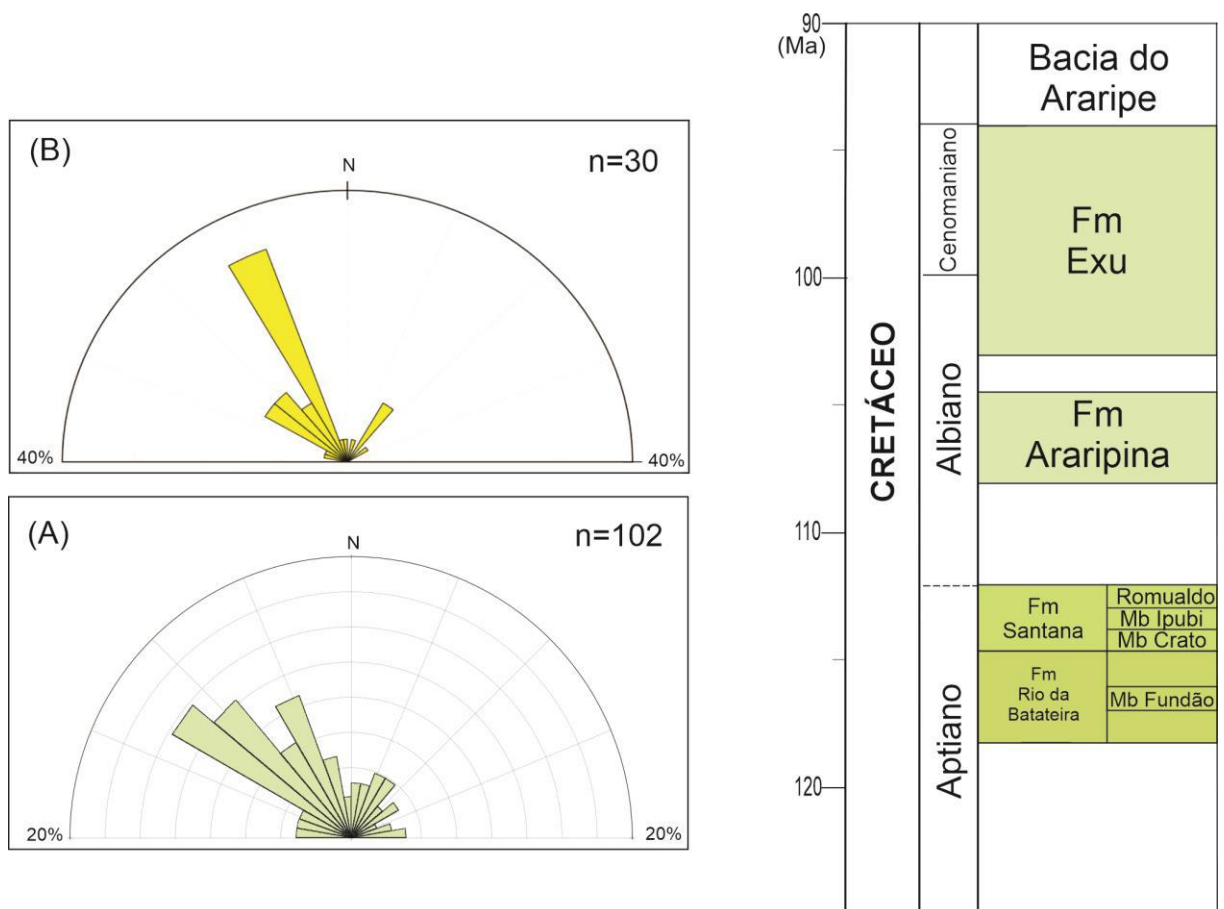


Figura 24: Diagrama de rosetas dos lineamentos da Bacia do Araripe (A) lineamentos nas formações Santana e Exu de idade cretácea e (B) lineamentos nos sedimentos cenozóicos próximos à Bacia do Araripe.

#### 5.4 Dados de campo – Reconhecimento regional de estruturas

Foram feitas quatro seções geológicas de campo ao longo da borda leste da Bacia do Parnaíba (Figuras 25A e 25B).

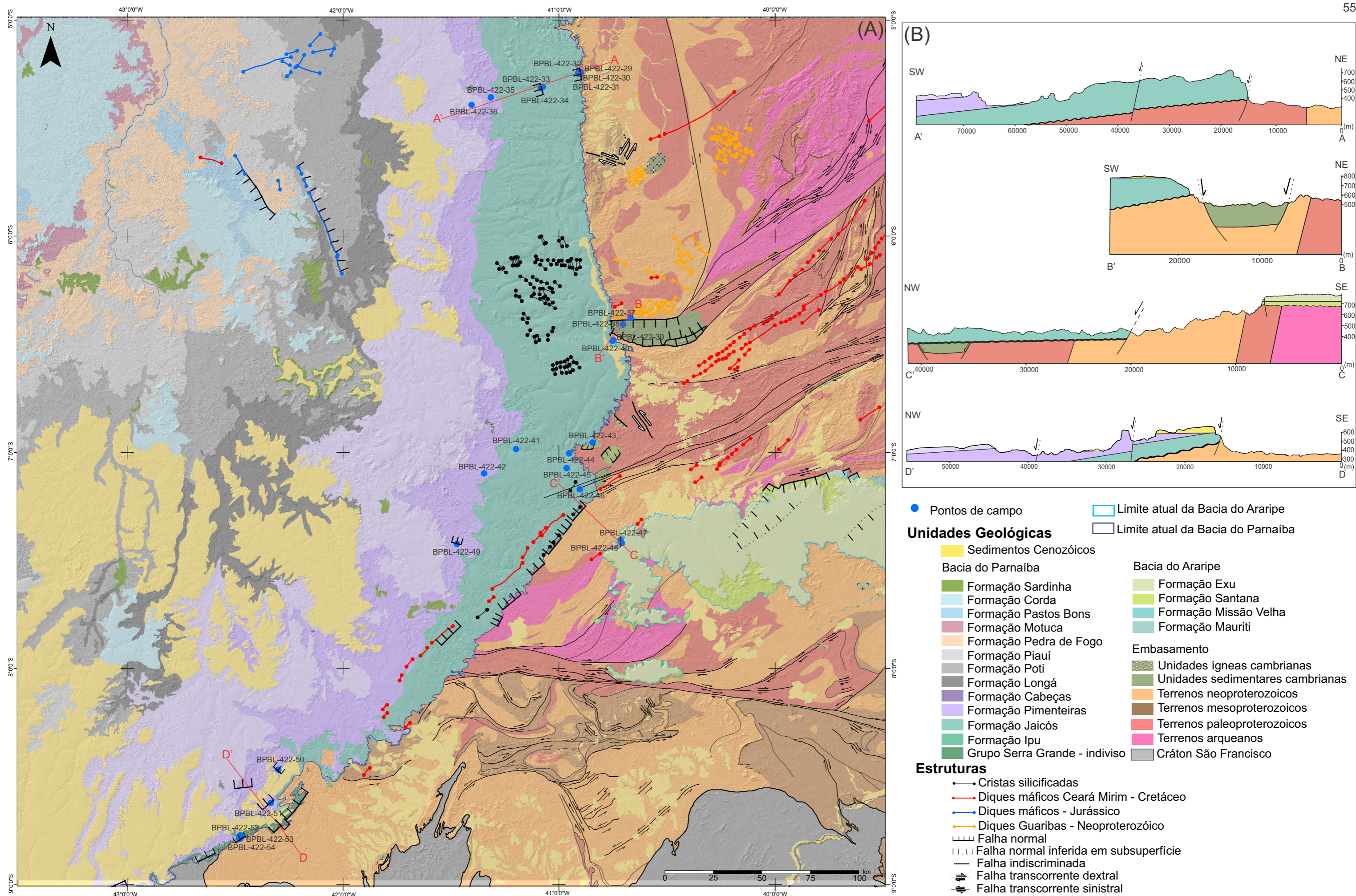


Figura 25: (A) Mapa geológico modificada de CPRM (2004), diques máficos e falhas normais na Bacia do Parnaíba segundo Lima e Jardim de Sá (2017) e Fernandes *et al.* (2020), diques máficos e ácidos da Província Borborema de Gomes & Vasconcelos (2000) e Pinéo *et al.* (2020), cristas silicificadas segundo Gomes e Vasconcelos (2000) e Lima e Jardim de Sá (2017) e falhas delimitadas a partir do trabalho de campo e mapa de relevo sombreado. Falhas normais em subsuperfície da Bacia do Araripe de acordo com Matos (1992). (B) Seções geológicas esquemáticas da estruturação da borda oeste da Bacia do Parnaíba e borda leste da Bacia do Araripe.



As seções compreendem o embasamento cristalino, as formações basais da Bacia do Parnaíba, depositadas até o Devoniano, e as formações Santana e Exu, representando o Cretáceo da Bacia do Araripe. O embasamento ocorre nas quatro seções mostrando diferentes litotipos, de acordo com o terreno pré-cambriano que a seção intercepta. Apresenta falhas e fraturas com *trends* variados (Figura 26A e 26B) e foliação com diferentes orientações e mergulho entre  $38^\circ$  e  $85^\circ$  (Figura 26C).

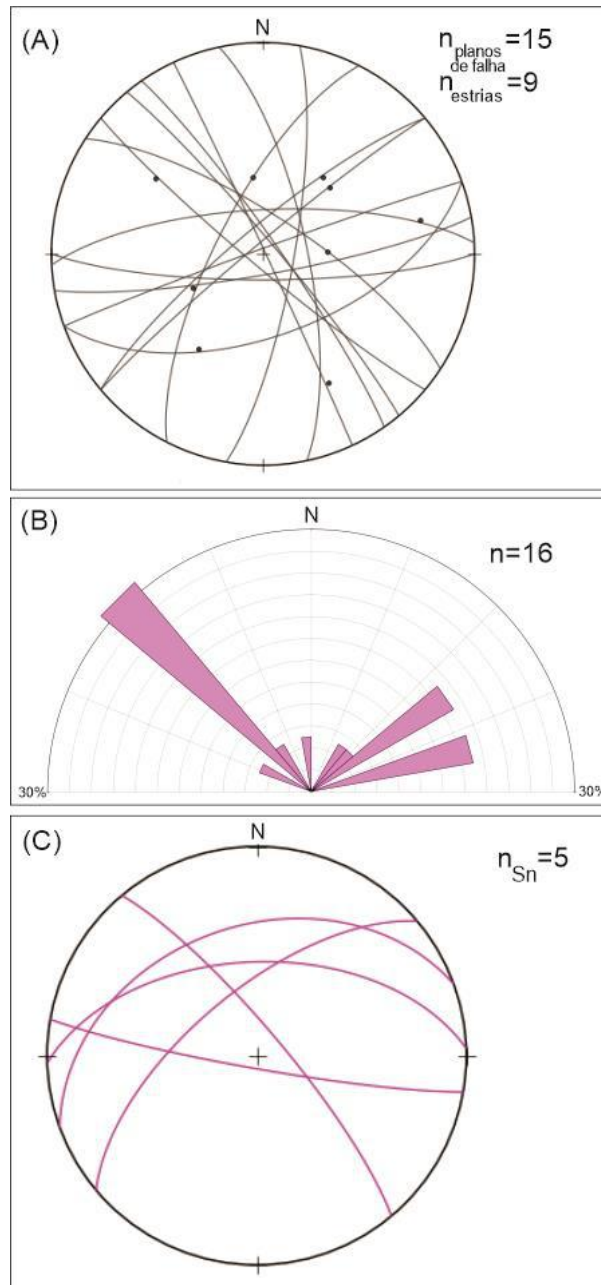


Figura 26: Projeção estereográfica das medidas de (A) falhas e estrias; (B) Diagrama de roseta das medidas de fraturas no embasamento; (C) rede com a foliação tectônica dúctil do embasamento cristalino.

No Grupo Serra Grande, em sua maioria afloramentos dos arenitos da Formação Jaicós, foram observadas fraturas principalmente de *trend* N-S e E-W (Figura 27A) e também falhas principalmente N-S (Figura 27B). As camadas dessa unidade apresentam baixo ângulo de mergulho, de até 25° para NW (Figura 27C). O contato entre o embasamento e a Formação Jaicós, no ponto BPBL-422-30 (seção A-A'), é marcado por uma inconformidade, deslocada por uma falha normal de atitude 270/84° (Figura 27D). Essa orientação é paralela à borda leste da Bacia do Parnaíba na parte norte da área de estudo, que coloca o embasamento e a Formação Jaicós em contato lateral. No ponto BPBL-422-54 (seção D-D'), o contato do embasamento com a Formação Ipu também é marcado por uma falha (Figura 27E), cujo atitude é 322/78°, paralela à Serra da Capivara, borda sudeste da Bacia do Parnaíba. Ainda nas unidades do Grupo Serra Grande, no ponto BPBL-422-34 (seção A-A'), ocorre uma zona de dano com *trend* N-S marcada por brechas tectônicas inconsolidadas sem percolação. As estrias indicam deslocamento transcorrente principal (Figura 27F).

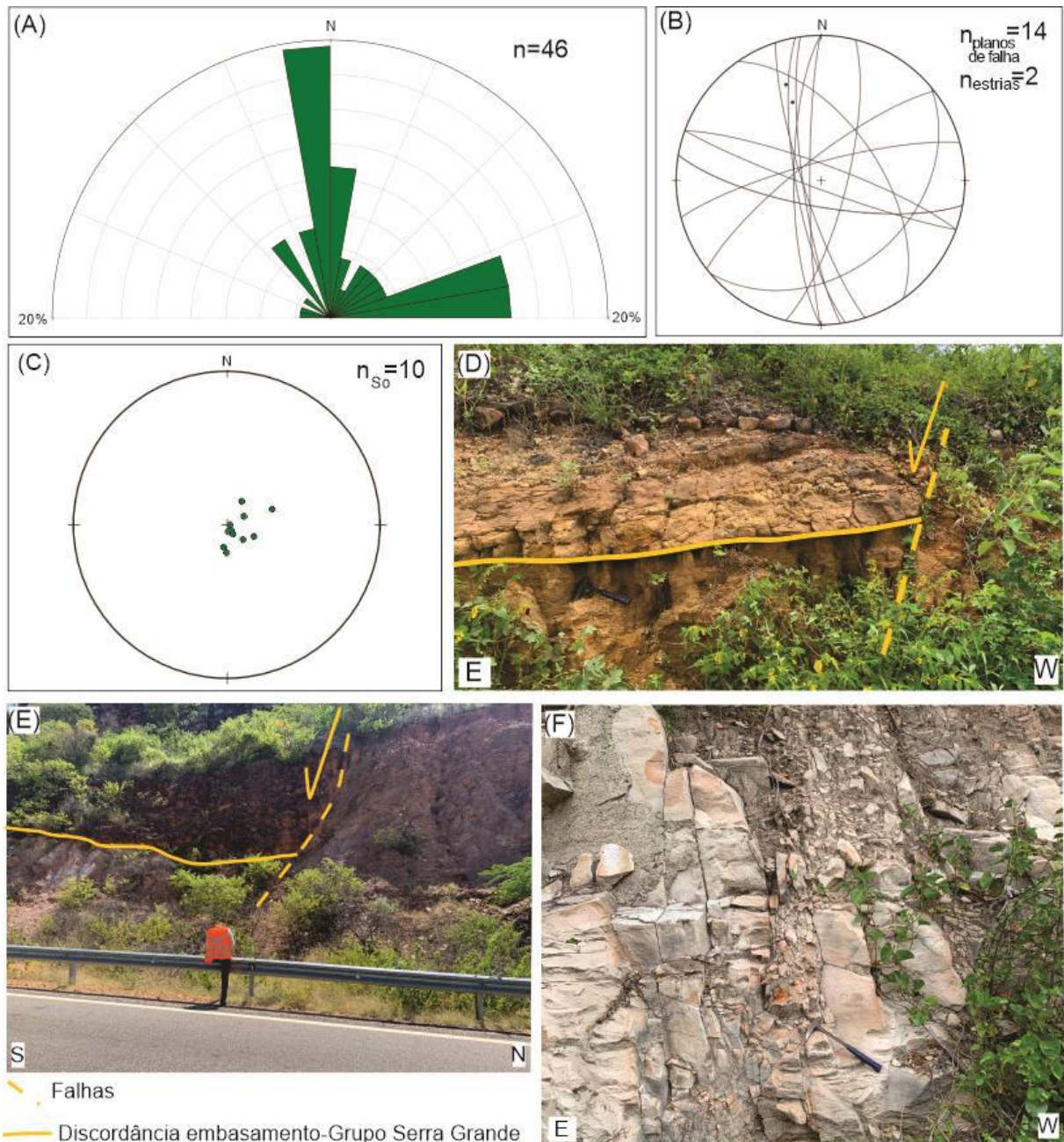


Figura 27: (A) Diagramas de roseta das fraturas medidas no Grupo Serra Grande. Estereogramas dos (B) planos de falha e estrias e (C) polos dos planos de acamamento dos estratos do Grupo Serra Grande; (D) BPBL-422-30 e (E) BPBL-422-54 – relação entre o embasamento e o Grupo Serra Grande e (F) BPBL-422-34 – zona de dano em arenitos da Formação Jaicós.

No Grupo Canindé, em sua maioria afloramentos da Formação Pimenteiras, foram observadas falhas e fraturas principalmente de orientação NW-SE, mas também estruturas NE-SW (Figura 28A e 28B). As camadas da Formação Pimenteiras encontram-se basculadas entre  $05^\circ$  e  $24^\circ$  para SSE e SSW (Figura 28C). A Formação Pimenteiras (Grupo Canindé) apresenta no ponto BPBL-422-51 (seção D-D') uma falha de orientação  $300/72^\circ$  com componente normal e rejeito de cinco metros com arrasto da camada (Figura 28D). No ponto BPBL-422-42, foram

observadas falhas de orientação NE-SW que condicionavam o espessamento de camadas de folhelho da Formação Pimenteiras, tal geometria é coerente com atividades tectônicas sin-sedimentares (Figura 28E).

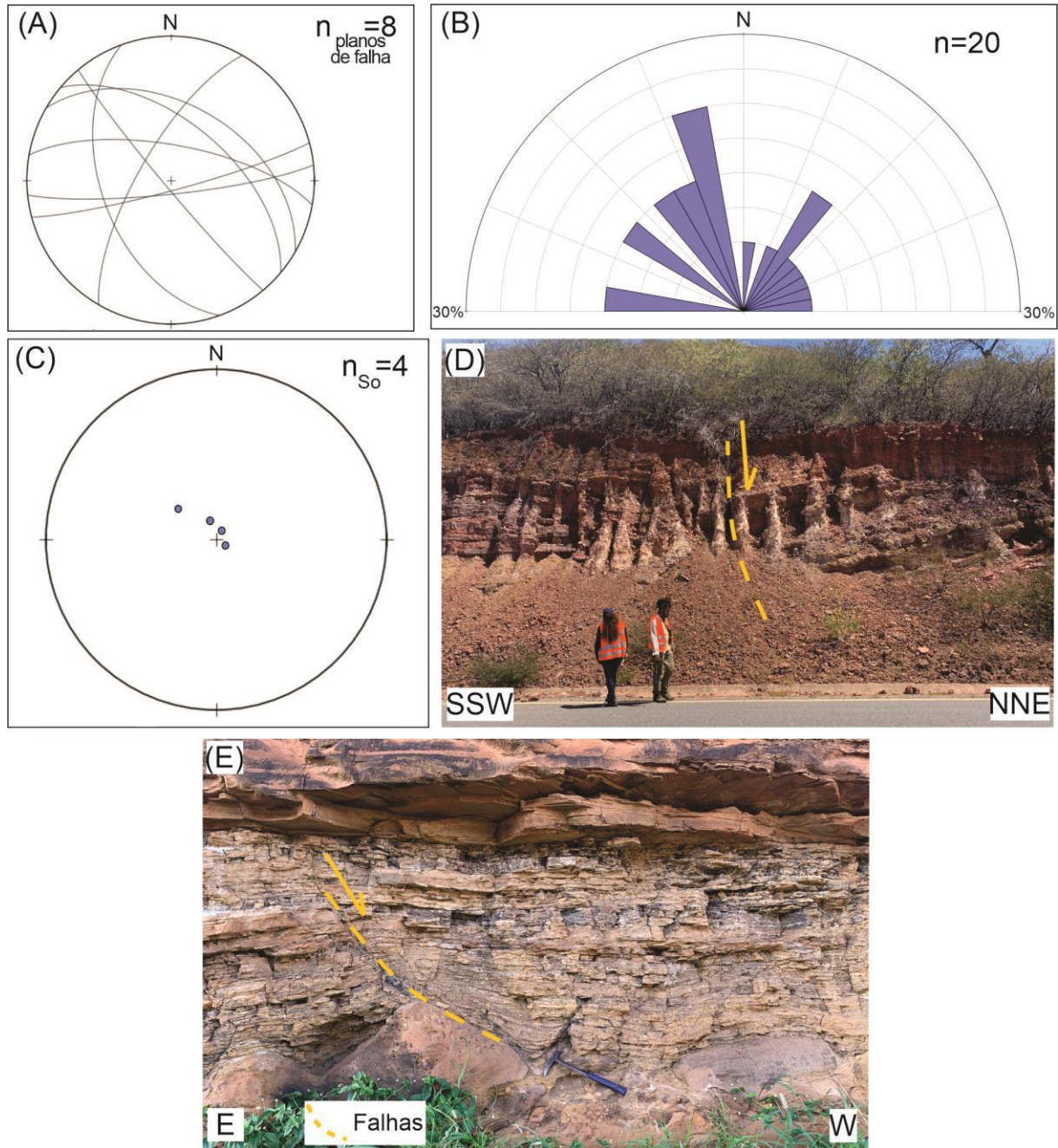


Figura 28: Estereogramas dos (A) planos de falha e estrias e (C) polos dos planos de acamamento dos estratos do Grupo Canindé; (B) Diagramas de roseta das fraturas medidas no Grupo Serra Grande. (D) BPBL-422-51 – falha normal afetando a Formação Pimenteiras; (E) BPBL-422-42 – falha sin-sedimentar na Formação Pimenteiras.

Das unidades da Bacia do Araripe, medidas estruturais foram obtidas apenas na Formação Araripina. Tal formação não é representativa em mapa, por conta da escala, mas foi reconhecida em campo por sua composição de arenitos finos e lamitos avermelhados intercalados.

No ponto visitado, a Formação Araripina apresenta uma ampla zona de dano, com pelo menos 30 metros, com fraturas e falhas nas direções N-S e E-W (Figura 29A). As camadas Formação Araripina encontram-se basculadas entre  $08^\circ$  e  $15^\circ$  para SE (Figura 29B). Na seção C-C', que atingiu a borda oeste da Bacia do Araripe, a Formação Araripina (BPBL-422-47) apresenta uma zona de deformação N-S com brechas de falha inconsolidadas (Figura 29C).

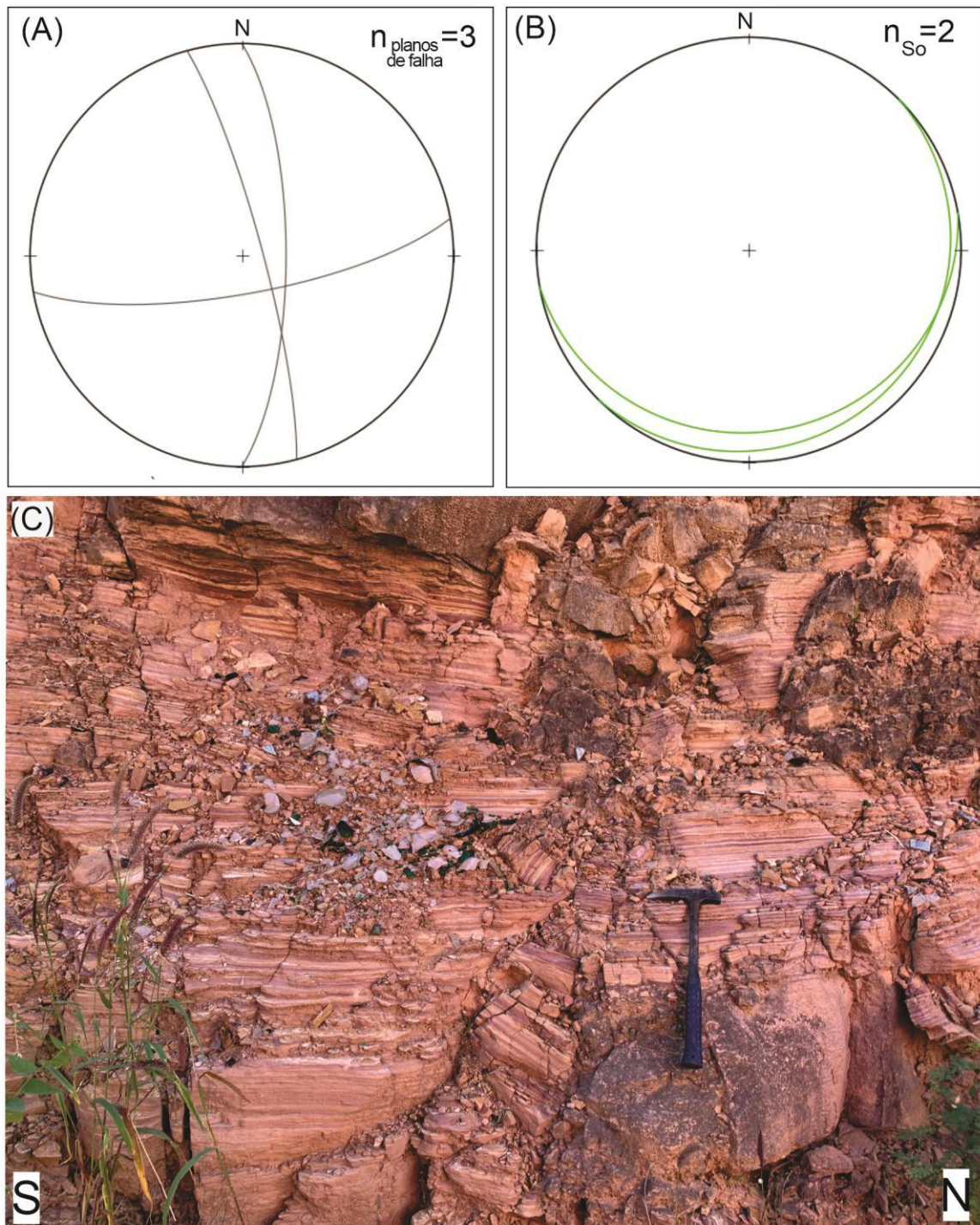


Figura 29: Estereogramas dos (A) planos de falha e estrias do Formação Araripina e (B) acamamento dos estratos da Formação Araripina. (C) BPBL-422-47 – zona de dano na Formação Araripina.

## 6. DISCUSSÕES

### 6.1 Prolongamento das estruturas e domínios do embasamento

As principais estruturas da Província Borborema, na porção aflorante, são predominantemente NE-SW e E-W. Essas estruturas se estendem sob a Bacia do Parnaíba seguindo o mesmo *trend* observado na porção descoberta e convergem no Lineamento Transbrasiliano (Figura 17). Tal configuração foi interpretada como estruturas de escape lateral por Ganade *et al.* (2014, 2021) e Archanjo *et al.* (2021). Nas estruturas NE-SW e E-W do embasamento, alojam-se grábens de idade cambriana que são observados no mapa geológico, mas também podem ser estendidos por baixo da Bacia do Parnaíba a partir da interpretação dos domínios magnéticos (domínio D – Figura 20). Esse domínio é marcado por lineamentos NE-SW e E-W que podem representar as falhas formadoras dos grábens cambrianos.

Nota-se a ausência de uma trama dúctil NW-SE no embasamento cristalino. Todavia, estruturas NW-SE ocorrem de forma expressiva nas camadas sedimentares do Fanerozoico, sendo caracterizada por lineamentos que interrompem as anomalias principais e mais contínuas da Província Borborema e por isso representariam estruturas rúpteis.

### 6.2 Magmatismo

O magmatismo pode ser representado por duas formas de ocorrência dos corpos ígneos: como soleiras na sucessão sedimentar da Bacia do Parnaíba, ou como diques na Bacia do Parnaíba e na Província Borborema.

Dois domínios magnéticos internos à Bacia do Parnaíba foram mapeados (A e B – Figura 20) com padrões magnéticos semelhantes aos descritos por Mocitaiba *et al.* (2017), que interpretaram como textura de intrusões ígneas. Esses domínios representam corpos ígneos máficos tabulares que ocorrem intercalados à sucessão sedimentar da bacia (Goés, 1995; Vaz *et al.*, 2007; de Castro *et al.*, 2018).

Os diques, de orientação NE-SW, interpretados através dos mapas magnéticos, são correlacionáveis com o enxame de diques Rio-Ceará Mirim (Arcanjo *et al.*, 2002; Costa de Melo *et al.*, 2022) que tem idade cretácea. Esses são

correlacionáveis com a Formação Sardinha, que antecede a abertura do Atlântico Sul. Diques de mesma orientação e relacionados ao mesmo evento também são observados na área (Figura 25). O evento magmático que gerou a Formação Sardinha e o enxame de diques Rio Ceará-Mirim é associado à ocorrência de uma *Large Igneous Province* durante o Cretáceo (EQUAMP - Hollanda *et al.*, 2019) que culminou na ruptura do paleocontinente Gondwana e a formação do Atlântico Sul.

Ocorrem ainda diques máficos de orientação NE-SW e NW-SE na porção central Bacia do Parnaíba (NW da área de estudo – Figura 25). Fernandes *et al.* (2020) obtiveram idade jurássica para esses corpos e correlacionam esse magmatismo com a Formação Mosquito, que, por sua vez, são associados à atividade da CAMP (Marzoli *et al.*, 1999), responsável pela abertura do Atlântico Central e quebra do Pangeia durante o Triássico-Jurássico (Nomade *et al.*, 2007).

Alguns dos lineamentos NW-SE, observados nos mapas magnéticos e interpretados como estruturas rúpteis, são mapeados como diques ácidos relacionados com o magmatismo da Província Borborema no final do Neoproterozoico (Diques Guaribas) na Subprovíncia Norte (Figura 25). Uma possível explicação para a falta de anomalia magnética desses corpos pode ser sua composição, mais rica em sílica e menos rica em ferro e magnésio, que dificultaria a formação de minerais magnéticos. Como esses corpos ácidos ocorrem de maneira localizada na Província Borborema, as estruturas NW-SE são interpretadas unicamente como diques ácidos.

### 6.3 Evolução tectônica

As falhas NE-SW da porção centro-sul da área podem estar relacionadas ao momento de sedimentação da Formação Ipu, relacionada à grábens ordovicianos-silurianos da base da Bacia do Parnaíba, proposto por Metelo (1999) e Assis *et al.* (2019). Porém, estruturas de mesma direção são encontradas na Formação Pimenteiras (Devoniano) como falhas sin-sedimentares (estruturas formadoras - Figura 25C) e também deformam estratos dessa formação (estruturas deformadoras). Dessa forma, tal tectônica pode ter se estendido desde o Siluriano até o Devoniano-Carbonífero.

A presença mais expressiva de lineamentos NNW-SSE, desde o Siluriano até a Sequência Jurássica (Figuras 21A, 21B, 21C e 21D), pode ser relacionada com as

estruturas formadas durante a abertura do Atlântico Central que controlaram a colocação de diques de orientação NNW-SSE (Fernandes *et al.*, 2020).

A borda da Bacia do Parnaíba, na porção centro sul da área, é controlada por falhas de orientação NE-SW. Seguindo o mesmo *trend*, ocorrem diques máficos de idade cretácea, assim como cristas silicificadas, marcando prováveis zonas de falha. Portanto é possível correlacionar as falhas NE-SW aos eventos distensivos do Cretáceo devido à abertura do Atlântico Sul (Lima e Jardim de Sá, 2017; Fernandes *et al.*, 2020). Esse evento também é registrado na fase rifte da Bacia do Araripe (Ponte e Ponte Filho, 1996; Assine, 2007; Fambrini *et al.*, 2019).

Na análise dos lineamentos SRTM, nota-se um decréscimo de lineamentos NE-SW nas porções superiores da estratigrafia da Bacia do Parnaíba, onde tomam lugar os lineamentos NW-SE. Esses lineamentos NW-SE também são registrados no embasamento e na Bacia do Araripe, de forma especial na Formação Exu o que indica que a idade máxima de formação desses lineamentos é cerca de 100 Ma. Além disso, esse *trend* também é bastante expressivo nos depósitos cenozoicos de ambas as bacias, portanto a tectônica formadora desses lineamentos pode ser ativa até o recente.

Santos *et al.* (2018), 250 km a oeste da seção D-D', reconhecem estruturas NW-SE em depósitos do Neocretáceo e de Arruda Passos *et al.* (2022) também identificam lineamentos NW-SE nos mapas magnéticos na borda leste da Bacia do Araripe. Correia Filho *et al.* (2021) identificaram estruturas NW-SE e NE-SW como possíveis responsáveis pelo soerguimento e inversão da Bacia de Fátima, localizada a 120 km a leste da Bacia do Araripe, durante o Cenozoico. Marques *et al.* (2014) relatam a existência de estruturas NNE-SSW a E-W com componente reverso como responsáveis pelo soerguimento e inversão da Bacia do Araripe e relatam que estruturas NW-SE que controlam a topografia da Chapada do Araripe são importantes na inversão da bacia.

Portanto, as estruturas NW-SE encontradas nesse trabalho podem ser relacionadas com o soerguimento da Bacia do Araripe, assim como a borda leste da Bacia do Parnaíba. O soerguimento da Província Borborema, combinado com a erosão diferencial da Bacia do Araripe, causou a topografia mais elevada da Chapada do Araripe que se destaca em relação ao restante da Província Borborema (Morais Neto *et al.*, 2009; Marques *et al.*, 2014; Peulvast e Bétard, 2015; Sacek *et al.*, 2019).



Além das estruturas NW-SE, ocorrem estruturas N-S. Em campo, estruturas com o mesmo *trend* foram encontradas na porção norte da área onde a Bacia do Parnaíba tem direção N-S e na borda oeste da Bacia do Araripe. Ocorrem ainda depósitos cenozoicos associados a essa escarpa da borda leste da Bacia do Parnaíba (Serra da Ibiapaba). Nos afloramentos, as falhas N-S apresentavam brechas com baixa coesão e onde foi possível observar estrias de falha com movimento principal transcorrente. Dessa forma, a mesma tectônica cenozoica do soerguimento regional da Província Borborema pode ser responsável pela formação das estruturas N-S.

#### **6.4 Canais de conexão estrutural**

A conexão entre as bacias do Parnaíba e do Araripe através da área de estudo implicaria na formação de áreas topograficamente baixas durante o Cretáceo. O Cretáceo no Nordeste do Brasil é marcado pela formação das bacias interiores do Nordeste de *trend* NE-SW e E-W, das quais a Bacia do Araripe é a principal, sob uma tectônica distensiva de orientação NW-SE.

Os lineamentos NW-SE são interpretados como os mais jovens no contexto da área de estudo, ocorrendo em todas as unidades e de forma especial na Formação Exu e nos sedimentos cenozóicos. Dessa forma, tais estruturas teriam se formado pelo menos após 100 Ma.

As estruturas NW-SE que afetam os estratos paleozoicos e mesozoicos da Bacia do Parnaíba são, portanto, pós-Cretáceo, de forma que não condicionariam a ligação das bacias do Araripe e do Parnaíba durante o Cretáceo. Godot Souza *et al.* (2022) mostram, através de estudo de paleocorrente e de datação U-Pb de zircões detríticos das formações sedimentares da Bacia do Araripe, que a principal fonte de sedimentos no Cretáceo vinha de N e NE da bacia, ou seja, do embasamento cristalino da Sub-província Norte da Província Borborema (Figuras 4 e 6). Esses autores também pontuam que as formações sedimentares paleozoicas da Bacia do Parnaíba ocorriam amplamente cobrindo a Província Borborema, ao norte da Bacia do Araripe, mas foram recuando para oeste por conta da erosão. Dessa forma, o trabalho corrobora essa hipótese de que não seria possível os sedimentos do Cretáceo da Bacia do Parnaíba estivessem conectados com os sedimentos contemporâneos da Bacia do Araripe por sobre as formações paleozoicas da

primeira. Godot Souza *et al.* (2022) propõem que a conexão do mar epicontinental que depositou os sedimentos as formações Codó e Santana (Parnaíba e Araripe respectivamente) somente poderiam estar conectados por lagos localizados onde hoje fica a margem atlântica equatorial, adentrando pela Bacia Potiguar.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As estruturas do embasamento E-W e NE-SW acomodam e controlam os grábens cambrianos, essa relação se estende abaixo das camadas sedimentares da Bacia do Parnaíba como demonstrado através dos mapas magnéticos. Durante o Siluriano até o Devoniano, as estruturas NE-SW foram importantes na formação e deformação da Bacia do Parnaíba, com a formação de depósitos sintectônicos na Formação Pimenteiras e falhas pós-sedimentares nos estratos silurianos e devonianos. Durante o Jurássico e Cretáceo, as estruturas NE-SW foram reativadas e exercem controle na sedimentação rifte da Bacia do Araripe, assim como deformam os estratos paleozoicos e jurássicos da Bacia do Parnaíba.

As estruturas NE-SW, apesar de presentes nas unidades do Cretáceo até o recente, são menos significativas na deformação dessas unidades. Nessas unidades, o *trend* principal é NW-SE. Uma vez que as estruturas ativas durante o Cretáceo são de direção NE-SW e as estruturas NW-SE encontradas na área são interpretadas como pós-cretáceas, dificilmente a conexão marinha entre a Bacia do Parnaíba e a Bacia do Araripe se estabeleceu por sobre as formações do Paleozoico da Bacia do Parnaíba.

Para trabalhos posteriores recomenda-se relacionar os lineamentos encontrados no embasamento das bacias do Parnaíba e do Araripe, traçados através dos mapas magnéticos, com os traçados em superfície a partir dos mapas de relevo sombreado visando verificar a influência das estruturas do embasamento nas estruturas de deformação que afetam as bacias.

## Referências bibliográficas

- ARCHANJO, Carlos J. Fabric of the Rio Ceará–Mirim mafic dike swarm (northeastern Brazil) determined by anisotropy of magnetic susceptibility and image analysis. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. B3, p. 2046, 2002.
- ARCHANJO, Carlos José; HOLLANDA, Maria Helena Bezerra Maia de; VIEGAS, Luis Gustavo Ferreira. Late Ediacaran lateral-escape tectonics as recorded by the Patos shear zone (Borborema Province, NE Brazil). **Brazilian Journal of Geology**, v. 51, n. 2, p. e20200132, 2021.
- ARAI, M.; LANA, C. Cunha; PEDRÃO, E. Ecozona *Subtilisphaera* spp.: Registro eocretáceo de um importante episódio ecológico do Oceano Atlântico primitivo. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 39, n. 2, p. 521-538, 1994.
- ARAI, Mitsuru. Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 2, p. 339–350, 2014.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, maio/nov. 2007.
- ASSINE, M.L., PERINOTTO, J.A.J., CUSTÓDIO, M.A., NEUMANN, V.H.M.L., VAREJAO, F.G., MESCOLOTTI, P.C. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 22, 3–28, 2014.
- ASSIS, A.P.; PORTO, A.L.; SCHMITT, R.S.; et al. The Ordovician-Silurian tectono-stratigraphic evolution and paleogeography of eastern Parnaíba Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 102241, 2019.
- BASTO, Camila Franco; CAXITO, Fabrício de Andrade; DO VALE, José Alberto Rodrigues; et al. An Ediacaran back-arc basin preserved in the Transversal Zone of the Borborema Province: Evidence from geochemistry, geochronology and isotope systematics of the Ipueirinha Group, NE Brazil. **Precambrian Research**, v. 320, p. 213–231, 2019.
- BAMLER, R. The SRTM mission: a world-wide 30m resolution DEM from SAR Interferometry in 11 Days. Stuttgart: Photogrammetrische Woche, 1999.
- BRITO NEVES, Benjamim Bley de e SANTOS, E J e VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema province, northeastern Brazil. Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2000.
- CAMACHO, Clyvikh Renna; SOUSA, Frederico Ricardo Ferreira Rodrigues de Oliveira e. O arcabouço estrutural da Bacia Sedimentar do Araripe, Província Borborema, baseado em dados aeromagnetométricos. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 3, p. 149, 2017.
- CAPUTO, M. V.; IANUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. (2005). **Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia do Parnaíba**. Fundação Paleontológica Phoenix, n. 81.
- CAXITO, Fabrício A.; UHLEIN, Alexandre; DANTAS, Elton Luiz; et al. A complete Wilson Cycle recorded within the Riacho do Pontal Orogen, NE Brazil: Implications for the Neoproterozoic evolution of the Borborema Province at the heart of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 282, p. 97–120, 2016.
- CAXITO, Fabrício de Andrade; SANTOS, Lauro César Montefalco de Lira; GANADE, Carlos Eduardo; et al. Toward an integrated model of geological evolution for NE Brazil-NW Africa: The Borborema Province and its connections to the

- Trans-Saharan (Benino-Nigerian and Tuareg shields) and Central African orogens. **Brazilian Journal of Geology**, v. 50, n. 2, p. e20190122, 2020.
- CAXITO, Fabrício de Andrade; UHLEIN, Alexandre; DANTAS, Elton Luiz. The Afeição augen-gneiss Suite and the record of the Cariris Velhos Orogeny (1000–960 Ma) within the Riacho do Pontal fold belt, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 51, p. 12–27, 2014.
- CELESTINO, Maria Alcione Lima; MIRANDA, Tiago Siqueira de; MARIANO, Gorki; *et al.* Fault damage zones width: Implications for the tectonic evolution of the northern border of the Araripe Basin, Brazil, NE Brazil. **Journal of Structural Geology**, v. 138, p. 104116, 2020.
- CELESTINO, Maria Alcione Lima; MIRANDA, Tiago Siqueira; MARIANO, Gorki; *et al.* Structural control and geochronology of Cretaceous carbonate breccia pipes, Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 132, p. 105190, 2021.
- CERRI, Rodrigo I.; WARREN, Lucas V.; VAREJÃO, Filipe G.; *et al.* Unraveling the origin of the Parnaíba Basin: Testing the rift to sag hypothesis using a multi-proxy provenance analysis. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 101, p. 102625, 2020.
- CORDANI, U. G.; BRITO-NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ-FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. **Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. Rio de Janeiro: Petrobras, 1984. 70 p. (Ciência Técnica Petróleo. Seção: Exploração de petróleo, 15).
- CORDANI, Umberto G.; BRITO NEVES, Benjamim Bley de; THOMAZ FILHO, Antonio. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (Atualização). **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 17, n. 1, p. 205-219, 2009.
- CORREIA FILHO, Osvaldo José; BARBOSA, José Antonio; SILVA RAMOS, Germano Mário; *et al.* Cenozoic uplift of the Fátima Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103599, 2021.
- COSTA DE MELO, Alanny Christiny; LOPES DE CASTRO, David; CUSTÓDIO DE OLIVEIRA, Diógenes; *et al.* Mesozoic dike swarms in Borborema Province (NE Brazil): A structural analysis based on airborne geophysical data and field work. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 113, p. 103650, 2022.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas – SIG [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 Scale: geographic information system - GIS]. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD ROM. Programa Geologia do Brasil.
- CRUZ, Kelly Aparecida Caldas da. **Proveniência sedimentar dos arenitos do Jurássico e do Cretáceo (formações Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru) da porção centro-oeste da Bacia do Parnaíba, região de Grajaú, Maranhão**. Rio de Janeiro, 2021. 172p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- CUSTÓDIO, Michele Andriolli; QUAGLIO, Fernanda; WARREN, Lucas Veríssimo; *et al.* The transgressive-regressive cycle of the Romualdo Formation (Araripe Basin): Sedimentary archive of the Early Cretaceous marine incursion in the interior of Northeast Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 359, p. 1–15, 2017.
- DALY, Michael C.; ANDRADE, Vander; BAROUSSE, Chuck A.; *et al.* Brasiliano crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil:

- Results of a deep seismic reflection profile. **Tectonics**, v. 33, n. 11, p. 2102–2120, 2014.
- DE ARRUDA PASSOS, Vivian Silvani; SIQUEIRA DE MIRANDA, Tiago; CRUZ OLIVEIRA, Jefferson Tavares; et al. Quantification of the spatial arrangement of structural lineaments and deformation bands: Implications for the tectonic evolution of the eastern border of the Araripe Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103934, 2022.
- DE CASTRO, David L.; FUCK, Reinhardt A.; PHILLIPS, Jeffrey D.; et al. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil. **Tectonophysics**, v. 614, p. 128–145, 2014.
- DE CASTRO, David Lopes; BEZERRA, Francisco Hilário; FUCK, Reinhardt Adolfo; et al. Geophysical evidence of pre-sag rifting and post-rifting fault reactivation in the Parnaíba basin, Brazil. **Solid Earth**, v. 7, n. 2, p. 529–548, 2016.
- DE CASTRO, David L.; OLIVEIRA, Diógenes C.; HOLLANDA, Maria Helena B. M. Geostatistical Interplay Between Geophysical and Geochemical Data: Mapping Litho-Structural Assemblages of Mesozoic Igneous Activities in the Parnaíba Basin (NE Brazil). **Surveys in Geophysics**, v. 39, n. 4, p. 683–713, 2018.
- DELGADO, I. D. M., SOUZA, J. D., SILVA, L. D., SILVEIRA FILHO, N. D., SANTOS, R. A. D., Pedreira, A. J., ... & Heineck, C. A. (2003). Geotectônica do escudo atlântico. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*, 5, 227-334.
- D´SOUZA, L. S., 2020. **Evolução tectônica e estratigráfica pós Paleozoica da porção noroeste da bacia do Parnaíba e da Bacia de São Luís**, 130 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2020.
- FAMBRINI, Gelson Luís; SILVA-FILHO, Wellington Ferreira da; LEMOS, Diógenes Ribeiro de; et al. Análise tectonossedimentar das fases início de rifte e clímax de rifte da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 19, n. 3, p. 205–236, 2019.
- FERNANDES, Luanny Bárbara de Medeiros; FERRAZ JARDIM DE SÁ, Emanuel; MARCOS DE PAULA VASCONCELOS, Paulo; et al. Structural controls and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronological data of basic dike swarms in the eastern domain of the Parnaíba Basin, northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 101, p. 102601, 2020.
- FERREIRA, Francisco José Fonseca; SOUZA, Jeferson de; DE BARROS, Alessandra; et al. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I - Aplicação a dados sintéticos. In: **Proceedings of the 4 Simpósio Brasileiro de Geofísica**. [s.l.]: Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 1–6, 2010.
- GANADE, Carlos E.; WEINBERG, Roberto F.; CAXITO, Fabricio A.; et al. Decratonization by rifting enables orogenic reworking and transcurrent dispersal of old terranes in NE Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5719, 2021.
- GANADE, Carlos E.; CIOFFI, Caue R.; MACHADO, João Pacífico; et al. Recurrent tectonic activity in northeastern Brazil during Pangea breakup: Constraints from U-Pb carbonate dating. **Geology**, v. 50, n. 8, p. 969–974, 2022.
- GANADE DE ARAUJO, Carlos E.; WEINBERG, Roberto F.; CORDANI, Umberto G. Extruding the Borborema Province (NE-Brazil): a two-stage Neoproterozoic collision process. **Terra Nova**, v. 26, n. 2, p. 157–168, 2014.
- GODOT SOUZA, Juliana Ferreira; ISOZAKI, Yukio; TSUTSUMI, Yukiyasu; et al. Provenance analysis of the Araripe intracontinental basin, northeast Brazil –

- Routes for proto-Atlantic marine incursions in northwest Gondwana. **Sedimentary Geology**, v. 440, p. 106243, 2022.
- GÓES, Ana Maria. **Formação Poti (Carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba**. Doutorado em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-11022014-105309/>>.
- GÓES, A. M. O. & FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 57 – 67, 1994.
- GOMES, José Roberto de Carvalho; VASCONCELOS, Antonio Maurílio (Orgs.). Jaguaribe SW: folha SB.24-Y: estados do Ceará, Pernambuco e do Piauí. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.
- HEINE, C.; ZOETHOUT, J.; MÜLLER, R. D. Kinematics of the South Atlantic rift. **Solid Earth**, v. 4, n. 2, p. 215–253, 2013.
- HOLLANDA, M. H. B. M.; ARCHANJO, C. J.; MACEDO FILHO, A. A.; *et al.* The Mesozoic Equatorial Atlantic Magmatic Province (EQUAMP): A New Large Igneous Province in South America. *In*: SRIVASTAVA, Rajesh K.; ERNST, Richard E.; PENG, Peng (Orgs.). **Dyke Swarms of the World: A Modern Perspective**. Singapore: Springer Singapore, 2019, p. 87–110.
- KEMP, L.D., BONHAM-CARTER, G.F., RAINES, G.L. e LOONEY, C.G., 2001, ArcSDM: Arcview extension for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis. <http://www.ige.unicamp.br/sdm/>.
- KOCH, A.; Heipke, C.; LOHMANN, P. Analysis of SRTM DTM – methodology and practical results. *In*: **Joint International Symposium and Exhibition on Geospatial Theory, Processing, and Applications**, 2002, Ottawa. Proceedings... Ottawa: ISPRS Commission IV, 2002. WG IV/6.
- KROTH, Mateus; BORGHI, Leonardo; BOBCO, Fabia E.R.; *et al.* Aptian shell beds from the Romualdo Formation (Araripe Basin): Implications for paleoenvironment and paleogeographical reconstruction of the Northeast of Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 426, p. 106025, 2021.
- LIMA, Murilo Rodolfo de. **Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)**. Doutorado em Paleontologia e Estratigrafia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44132/tde-16112015-153709/>>. Acesso em: 18 out. 2022.
- LIMA, Francisco Gabriel Ferreira de. **Interpretação de lineamentos estruturais na borda sudeste da Bacia do Parnaíba**. 2016. 100f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- LIMA, Francisco Gabriel Ferreira de; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. Controle estrutural da borda sudeste da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil: relação com eventos geodinâmicos no Gondwana. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 3, p. 3, 2017.
- MAISEY, John G. Continental break up and the distribution of fishes of Western Gondwana during the Early Cretaceous. **Cretaceous Research**, v. 21, n. 2–3, p. 281–314, 2000.
- MARQUES, F.O.; NOGUEIRA, F.C.C.; BEZERRA, F.H.R.; *et al.* The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics**, v. 630, p. 251–264, 2014.

- MARZOLI, Andrea; RENNE, Paul R.; PICCIRILLO, Enzo M.; *et al.* Extensive 200-Million-Year-Old Continental Flood Basalts of the Central Atlantic Magmatic Province. **Science**, v. 284, n. 5414, p. 616–618, 1999.
- MATOS, Renato M. Darros de. The Northeast Brazilian Rift System. **Tectonics**, v. 11, n. 4, p. 766–791, 1992.
- MILLER, H. G.; SINGH, V. Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources. **Journal of Applied Geophysics**, 32, n. 2-3, p. 213-217, 1994.
- METELO, C.M.S., 1999. **Caracterização estratigráfica do Grupo Serra Grande (Siluriano) na borda sudeste da Bacia do Parnaíba**. Dissertação de Mestrado, UFRJ – Rio de Janeiro 102p.
- MOCITAIBA, Leonardo Silva Ribeiro; CASTRO, David Lopes de; OLIVEIRA, Diógenes Custódio de. Cartografia geofísica regional do magmatismo mesozoico na Bacia do Parnaíba. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 2, p. 169, 2017.
- MORAIS NETO, J.M.; HEGARTY, K.A.; KARNER, G.D.; *et al.* Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 26, n. 7, p. 1070–1086, 2009.
- NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 507-517, 1972.
- NEVES, Sérgio P.; BRUGUIER, Olivier; DA SILVA, José Maurício Rangel; *et al.* The age distributions of detrital zircons in metasedimentary sequences in eastern Borborema Province (NE Brazil): Evidence for intracontinental sedimentation and orogenesis? **Precambrian Research**, v. 175, n. 1–4, p. 187–205, 2009.
- NEVES, Sérgio P.; BRUGUIER, Olivier; VAUCHEZ, Alain; *et al.* Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, NE Brazil): Implications for western Gondwana assembly. **Precambrian Research**, v. 149, n. 3–4, p. 197–216, 2006.
- NOMADE, S.; KNIGHT, K.B.; BEUTEL, E.; *et al.* Chronology of the Central Atlantic Magmatic Province: Implications for the Central Atlantic rifting processes and the Triassic–Jurassic biotic crisis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 244, n. 1–4, p. 326–344, 2007.
- OLIVEIRA D.C.; 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)3-4:351-383.
- PEULVAST, Jean-Pierre; BÉTARD, François. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 20–40, 2015.
- PINÉO, T. R. G. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2020, 1:500.000, 1 mapa 2020.
- PONTE, F.C., APPI, C.J., 1990. **Proposta de Revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe**. Proceedings of the 36th Brazilian Congress of Geology. Natal, Rio Grande do Norte, Brazil, v. 1, pp. 211 – 226 (in Portuguese).
- PONTE, F. C., PONTE-FILHO, F. C. (1996). Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. Recife: Departamento Nacional da Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do Ministério das Minas e Energia em Pernambuco e Ceará, 68 p.



- PORTO, Amanda; CARVALHO, Ciro; LIMA, Claudio; *et al.* The Neoproterozoic basement of the Parnaíba Basin (NE Brazil) from combined geophysical-geological analysis: A missing piece of the western Gondwana puzzle. **Precambrian Research**, v. 379, p. 106784, 2022.
- PORTO, Amanda; DALY, Michael C.; LA TERRA, Emanuele; *et al.* The pre-Silurian Riachão basin: a new perspective on the basement of the Parnaíba basin, NE Brazil. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 472, n. 1, p. 127–145, 2018.
- RABELO, C.E.N., **Paleoambiente da Formação Mosquito e a implantação do sistema desértico úmido da Formação Corda, Jurássico Superior, Centro-Oeste da Bacia do Parnaíba**. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 81p 2013.
- RABUS, Bernhard; EINEDER, Michael; ROTH, Achim; *et al.* The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241–262, 2003.
- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; SANTOS JUNIOR, A. E. Clima do cretáceo no meio-norte brasileiro. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). **O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.
- SANTOS, Carla Hemillay de Oliveira; SÁ, Emanuel Ferraz Jardim de; SILVA, Fernando César Alves da; *et al.* Reativações pós-silurianas do Lineamento Transbrasiliano na porção sul da Bacia do Parnaíba. **Geologia USP. Série Científica**, v. 18, n. 2, p. 71–86, 2018.
- SANTOS, L. C. M. de L.; DANTAS, E. L.; CAWOOD, P. A.; *et al.* Accretion Tectonics in Western Gondwana Deduced From Sm-Nd Isotope Mapping of Terranes in the Borborema Province, NE Brazil. **Tectonics**, v. 37, n. 8, p. 2727–2743, 2018.
- SACEK, Victor; MORAIS NETO, João Marinho; VASCONCELOS, Paulo Marcos; *et al.* Numerical Modeling of Weathering, Erosion, Sedimentation, and Uplift in a Triple Junction Divergent Margin. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, p. 2018GC008124, 2019.
- VAZ, P.T., REZENDE, N.G.A.M., WANDERLEY FILHO, J.R., SILVA TRAVASSOS, W.A. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15: 253-263.
- VERDUZCO, B.; FAIRHEAD, J. D.; GREEN, C. M.; MACKENZIE, C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. **The leading edge**, 23, n. 2, p. 116-119, 2004.

## **Apêndice A – Tabela de pontos de campo**

PONTO	COORDENADAS		ELEVAÇÃO	UNIDADE	ACAMAMENTO		FOLIACAO		FRATURA		PLANO DE FALHA		ESTRIA		MOVIMENTO	Obs
	LAT	LONG			(m)	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho	Direção	Mergulho	Direção		
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento			340	38	230	70	033	75	088	65	Normal dextral	
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento			050	80	230	81	050	85				Rejeito normal de 5 cm
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento			320	65	047	85	065	89	153	32	Normal dextral	
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					150	77	357	73	045	53	Normal dextral	
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					165	65	320	86	038	52	Normal dextral	
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					320	88	340	88	078	25	Normal dextral	Epidoto no plano de falha
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					165	75						
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					230	88						
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					330	80						
BPBL-422-29	-5,24	-40,90	461 m	Embasamento					230	82						

BPBL-422-30	-5,25	-40,90	587 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	312	11	230	45	265	80	270	84				Embasamento lado a lado com o Grupo Serra Grande
BPBL-422-30	-5,25	-40,90	587 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					280	80						
BPBL-422-30	-5,25	-40,90	587 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					272	75						
BPBL-422-30	-5,25	-40,90	587 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					075	81						
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	210	15			130	89						
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					352	81	020	81				
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					348	78	200	85				Sistema de falhas de rejeito normal centimétrico
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					280	85						
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					270	80						
BPBL-422-31	-5,25	-40,91	618 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					020	86						
BPBL-422-32	-5,25	-40,91	632 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	010	12			160	65	345	80				Falha com percolação de óxido de ferro
BPBL-422-32	-5,25	-40,91	632 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					220	65	190	75				Falha com rejeito normal de 1 m

BPBL-422-32	-5,25	-40,91	632 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					350	19						
BPBL-422-33	-5,31	-41,07	591 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					170	76	190	75				Rejeito normal de cerca de 1 m
BPBL-422-33	-5,31	-41,07	591 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					164	75						
BPBL-422-33	-5,31	-41,07	591 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					060	85						
BPBL-422-33	-5,31	-41,07	591 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					253	79						
BPBL-422-34	-5,31	-41,08	555 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande							270	75				Zona de dano com cerca de 10 metros
BPBL-422-34	-5,31	-41,08	555 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande							262	80				Zona de dano com cerca de 10 metros
BPBL-422-34	-5,31	-41,08	555 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					352	84	252	80	340	30	Normal dextral	Zona de dano com cerca de 10 metros
BPBL-422-34	-5,31	-41,08	555 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					262	80	260	76	340	42	Normal dextral	Zona de dano com cerca de 10 metros
BPBL-422-35	-5,36	-41,32	371 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					190	84						
BPBL-422-35	-5,36	-41,32	371 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé	297	05			190	80						
BPBL-422-36	-5,39	-41,40		Formação Cabeças - Grupo Canindé					170	60						

BPBL-422-36	-5,39	-41,40		Formação Cabeças - Grupo Canindé					075	75						
BPBL-422-37	-6,38	-40,67	577 m	Complexo Santa Quitélia			160	80	150	75	170	82	244	60	Normal dextral	Com cataclasito
BPBL-422-37	-6,38	-40,67	577 m	Complexo Santa Quitélia					060	75	160	58	214	45	Normal dextral	Com cataclasito
BPBL-422-37	-6,38	-40,67	577 m	Complexo Santa Quitélia							297	72				
BPBL-422-37	-6,38	-40,67	577 m	Complexo Santa Quitélia							320	80				
BPBL-422-37	-6,38	-40,67	577 m	Complexo Santa Quitélia							180	80				
BPBL-422-38	-6,41	-40,70		Formação Melancia - Bacia Cococi	189	17			125	80						
BPBL-422-38	-6,41	-40,70		Formação Melancia - Bacia Cococi					170	89						
BPBL-422-38	-6,41	-40,70		Formação Melancia - Bacia Cococi					022	86						
BPBL-422-39	-6,48	-40,75		Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	254	01			300	58						
BPBL-422-39	-6,48	-40,75		Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					058	77						
BPBL-422-39	-6,48	-40,75		Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					090	85						

BPBL-422-39	-6,48	-40,75		Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					087	87						
BPBL-422-40	-6,48	-40,75	612 m	Embasamento			190	85	270	86						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	330	05			290	85						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					085	82						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					350	89						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					172	81						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					100	71						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					080	80						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					168	80						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					172	81						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					138	88						
BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					090	82						

BPBL-422-41	-6,99	-41,20	288 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					093	85						
BPBL-422-42	-7,10	-41,35	307 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					075	80	340	67				Falha sinsedimentar
BPBL-422-42	-7,10	-41,35	307 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					245	80	330	70				Falha sinsedimentar
BPBL-422-42	-7,10	-41,35	307 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					060	75						
BPBL-422-42	-7,10	-41,35	307 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					180	68						
BPBL-422-42	-7,10	-41,35	307 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					250	81						
BPBL-422-43	-6,96	-40,84	406 m	Formação Cococi - Grupo Rio Jucá							220	85	305	38	Normal dextral	Cataclasito
BPBL-422-43	-6,96	-40,84	406 m	Formação Cococi - Grupo Rio Jucá							100	78				Cataclasito
BPBL-422-43	-6,96	-40,84	406 m	Formação Cococi - Grupo Rio Jucá							055	84				Cataclasito
BPBL-422-43	-6,96	-40,84	406 m	Formação Cococi - Grupo Rio Jucá							078	73	352	60	Normal sinistral	
BPBL-422-44	-7,01	-40,95	296 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	250	25										
BPBL-422-45	-7,07	-40,96	442 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	348	03			130	80						



BPBL-422-45	-7,07	-40,96	442 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					110	70						
BPBL-422-46	-7,17	-40,90	451 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					133	82						
BPBL-422-46	-7,17	-40,90	451 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					002	75						
BPBL-422-46	-7,17	-40,90	451 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	330	03			338	65						
BPBL-422-47	-7,41	-40,72		Formação Araripina	135	08					170	75				Zona de dano com falhas N-S e E-W
BPBL-422-47	-7,41	-40,72		Formação Araripina	170	15					090	73				Cunha de deformação ruptil com brecha tectônica
BPBL-422-47	-7,41	-40,72		Formação Araripina							075	82				Cunha de deformação ruptil com brecha tectônica
BPBL-422-48	-7,42	-40,71	760 m	Formação Exu												
BPBL-422-49	-7,43	-41,47	235 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé	160	10			130	87	010	70				Rejeito normal métrico
BPBL-422-49	-7,43	-41,47	235 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					310	75						
BPBL-422-49	-7,43	-41,47	235 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					040	80						
BPBL-422-49	-7,43	-41,47	235 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					052	85						

BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé	210	05			120	80						
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					320	80						
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					035	85						
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					165	68						
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					080	77						
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé							230	86				Brecha inconsolidada
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé							250	50				Brecha inconsolidada
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé							040	57				Brecha inconsolidada
BPBL-422-50	-8,47	-42,30	333 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé							030	46				Brecha inconsolidada
BPBL-422-51	-8,63	-42,34	452 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé	130	24			275	72	300	72				Deslocamento de cerca de 2 metros - arrasto de camada na capa
BPBL-422-51	-8,63	-42,34	452 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé					080	84	165	84				
BPBL-422-51	-8,63	-42,34	452 m	Formação Pimenteiras - Grupo Canindé							174	82				

BPBL-422-52	-8,77	-42,48	574 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	240	10			090	85						
BPBL-422-52	-8,77	-42,48	574 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					060	83						
BPBL-422-52	-8,77	-42,48	574 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande					330	60						
BPBL-422-53	-8,79	-42,48	569 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	293	15			090	64						
BPBL-422-54	-8,79	-42,48	522 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande	003	14			150	75	140	36				Depósitos brechados no "vale" formado por essas falhas
BPBL-422-54	-8,79	-42,48	522 m	Embasamento			358	53			322	78				
BPBL-422-54	-8,79	-42,48	522 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande							055	57				
BPBL-422-54	-8,79	-42,48	522 m	Formação Jaicós - Grupo Serra Grande							104	75				