



**ANÁLISE TECTÔNICA DOS RELICTOS DA BACIA DO PARANÁ SOBRE O
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Porto Alegre, 2015

Matheus Lourenci Ferreira

**ANÁLISE TECTÔNICA DOS RELICTOS DA BACIA DO PARANÁ SOBRE O
ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador (a): Prof. (a) Dr. (a) Ana Maria Pimentel Mizusaki

Porto Alegre, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Ferreira, Matheus Lourenci

Análise tectônica dos relictos da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. / Matheus Lourenci Ferreira. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[94 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Ana Maria Pimentel Mizusaki

1. Permo-Triássico 2. Depósitos gonduânicos 3. Graben Arroio Moirão 4. Graben Amaral Ferrador I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de curso **"ANÁLISE TECTÔNICA DOS RELICTOS DA BACIA DO PARANÁ SOBRE O ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE"**, elaborado por **MATHEUS LOURENCI FERREIRA**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. (a) Dr. (a) Karin Goldberg

Dr. André Weissheimer de Borba

Dr. Anderson José Maraschin

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu querido “Vô Ademar”, grande exemplo de caráter e honestidade, um mestre em tudo que fazia. Obrigado por todos os momentos juntos e pelos ensinamentos que irei carregar comigo por toda vida. E mesmo sem saber muito bem o que era a tal “Geologia”, se orgulhava de mim, pois se era algo que me fazia feliz, era importante e digno de orgulho para ele. Tenho certeza que onde quer que esteja, está feliz e com aquele sorriso inconfundível. Espero te encontrar de novo, para rirmos das velhas piadas e fazermos aquela grande pescaria! Saudades...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Geociências por terem me proporcionado um curso de graduação de alta qualidade.

Aos professores que nos acompanham por todo o trajeto, sempre ensinando e auxiliando da melhor maneira possível, seja no conforto da sala de aula ou no sol escaldante do campo.

À minha orientadora Ana Maria Pimentel Mizusaki, que me acompanhou nesta importante etapa, dividindo seus conhecimentos e sempre mostrando os melhores caminhos.

Ao ilustre Prof^o Nelson Amoretti Lisboa, por ter se disponibilizado a me ajudar, contribuindo com sua grande experiência geológica e carisma sem igual.

À minha amada Kamila, namorada, amiga, companheira, colega e conselheira, sem dúvidas, o melhor presente que ganhei através da Geologia. Parceira de todos os momentos, exemplo e inspiração para mim. Obrigado por estar aqui comigo, que possamos viver muitos e muitos grandes momentos juntos. Te amo daqui até a eternidade!

À família que ganhei junto com a namorada, humanos sensacionais e grandes amigos de quatro patas. Em especial Jamón, que traz grandes ensinamentos a cada dia, levando a vida do jeito que ela deve ser vivida, com intensidade e alegria (tu é demais cara).

Aos poucos e bons amigos que a Geologia me trouxe, pessoas que sem dúvidas estarão comigo para a posteridade.

Aos meus pais, que sempre me deram todo o apoio, me incentivando e auxiliando em todos os momentos da minha vida. Não caberiam palavras para agradecê-los pela educação e pelos bons ensinamentos. Obrigado por todo o carinho e dedicação, amo demais vocês.

À minha dinda Ivana, pois se hoje estou concluindo minha graduação, grande parte devo a ela. Obrigado por ter sido a grande incentivadora do meu ingresso no ensino superior.

Aos meus familiares e amigos que me acompanharam durante toda a caminhada, participando e vibrando com cada passo dado. Muito obrigado a todos vocês!

RESUMO

As unidades sedimentares permo-triássicas preservadas isoladamente sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, através de um regime tectônico extensional, em decorrência da reativação de estruturas do embasamento e, possivelmente, do evento erosivo de regressão da escarpa da Bacia do Paraná, são citadas de maneira restrita e possuem pouca clareza na bibliografia. Alguns depósitos sedimentares discordantes do embasamento, como por exemplo, o *Graben* Arroio Moirão e o Cerro Partido, apresentam problemas quanto ao seu caráter evolutivo e sua correlação estratigráfica com as unidades descritas na porção contígua da bacia. O presente estudo visou a integração das interpretações já realizadas com os novos dados obtidos, sendo esses baseados em dados de aerofotogrametria (fotos aéreas e imagens de satélite), mapeamento lito-estrutural de campo e descrições petrográficas, que possibilitaram um melhor entendimento do arcabouço estrutural e do contexto evolutivo em escala regional dos “relictos” sedimentares aflorantes sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. Como resultados, são observados no mínimo dois episódios de reativação tectônica de escala regional, sendo um de idade 137 Ma, responsável pelo vulcanismo da Formação Passo das Carretas e outro com idade de 89 Ma, responsável pelo posicionamento dos *necks* da Suíte Piratini. O padrão estrutural observado em ambas escalas revelou dois padrões principais, sendo eles o NE e o NW, e ainda, um padrão N subordinado, correlacionáveis com eventos de reativações de zonas de falha do embasamento. O intervalo registrado nos relictos envolve além das unidades do intervalo permo-triássico (Formação Rio Bonito, Formação Sanga do Cabral e Formação Santa Maria), a Formação Passo das Carretas (correlata à Formação Serra Geral) de idade cretácea da Bacia do Paraná. São observadas duas formas de preservação, sendo elas em zonas de falha ou em *grabens*, as duas explicadas pelos eventos de reativações de estruturas do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Palavras-Chave: Permo-Triássico, depósitos gonduânicos, *Graben* Arroio Moirão, *Graben* Amaral Ferrador.

ABSTRACT

The permo-triassic sedimentary units singly preserved on the Rio Grande do Sul Shield, through an extensional tectonic regime, in result of the reactivation of basement structures and possibly the erosive event of regression of the Paraná Basin scarp, was narrowly and have not clarity in the bibliography. Some discordant sedimentary deposits of the basement, for example, the Graben Arroio Moirão posts and Cerro Partido, have problems as to evolutionary character and stratigraphic correlation with the units described in the contiguous portion of the basin. This study aimed at the integration of interpretations already made with the new data, these being based on aerial photography data (aerial photographs and satellite images), litho-structural mapping field and petrographic descriptions, which enabled a better understanding of the structural framework and the evolutionary context of regional scale "relicts" outcropping sedimentary on Rio Grande do Sul Shield. As a result, was observed at least two episodes of tectonic reactivation of regional scale, one age 137 Ma, responsible for the volcanism of the Passo das Carretas Formation and another age 89 Ma, responsible for the position of the necks to Suíte Piratini. The structural pattern observed in both *scales* revealed two major patterns, and they are NE and NW, and also a standard N subordinate, correlated with reactivation event of the basement fault zones. The record range in relicts involves addition of Permo-Triassic units interval (Rio Bonito Formation, Sanga Cabral Formation, Santa Maria Formation), the Passo das Carretas Formation (related to the Serra Geral Formation) Cretaceous of the Paraná Basin. Two forms of preservation was observed, fault zones or graben, both explained by the reactivation event Rio Grande do Sul Shield structures.

Keywords: Permo-Triassic, gondwanic deposits, Graben Arroio Moirão, Graben Amaral Ferrador.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição espacial da área de estudo, no contexto de cartas topográficas. Adaptado de Ketzer (1997).	15
Figura 2 – Localização da área de estudo. Modificado de Ketzer (1997).	16
Figura 3 - Mapa de localização da Bacia do Paraná. Adaptado de Milani (1997).	17
Figura 4 – Correlação da Bacia do Paraná com a porção do Chaco-Paraná no intervalo deposicional tocante ao estudo. Modificado de Milani & Thomaz Filho (2000).	18
Figura 5 – Carta estratigráfica da Bacia do Paraná. Adaptado de Milani (2007).	20
Figura 6 - Domínios geotectônicos do Estado do Rio Grande do Sul. Modificado de CPRM (2006); Travassos (2014).	26
Figura 7 – Exemplos das diferentes escalas de análise tectônica. A) Afloramento (Ex: Fraturamento em rochas basálticas); B) Sensoriamento Remoto (Ex: Lineamentos em rochas da depressão central do estado do RS; C) Petrografia (Ex: Microfraturamento em grão de quartzo).	33
Figura 8 – Diferentes comportamentos apresentados por um bloco de rocha condicionado à deformação. Modificado de http://www.ebah.com.br/content/ABAAABLPwAA/fund-geologia-elementos-estruturais-das-rochas?part=2	34
Figura 9 – Gráfico entre os mecanismos de deformação em relação à quantidade de tensão x deformação. Modificado de https://www.studyblue.com/notes/n/materials-chapter-8/deck/4483094	34
Figura 10 – Os três tipos de fraturamento. Extraído de Fossen (2012).	35
Figura 11 – Atributos de uma falha normal.	36
Figura 12 – Estruturas típicas geradas em ambientes controlados por falhas.	37
Figura 13 – Processo evolutivo e diferenças entre escarpas. Modificado de http://www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/geologia/geologia_geral/unid2_cap0.html	41
Figura 14 – Formas de relevo presentes na região do <i>Graben</i> Arroio Moirão. a) Relevo cuestasiforme; b) Relevo em mesa. Extraído de Lima (2014).	42
Figura 15 – Malha de poços no estado do Rio Grande do Sul, cadastrados no SIAGAS. Extraído de http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php	44

Figura 16 – Distribuição dos poços cadastrados no SIAGAS, dentro da área de interesse. Modificado de http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php	44
Figura 17 – Propriedades de uma onda eletromagnética. Extraído de http://www.guia.heu.nom.br/images/ondaEletroMagnetica.jpg	46
Figura 18 - Espectro eletromagnético com destaque para a região do visível. Extraído de http://luztecnologiaearte.weebly.com/uploads/1/3/5/6/13567015/8309513_orig.jpg?1	46
Figura 19 – Curva de comportamento espectral de alguns alvos na superfície terrestre e suas respectivas variações para diferentes comprimentos de onda. Extraído de http://mundogeo.com/blog/2004/08/23/sensoriamento-remoto-hiperespectral/	47
Figura 20 – Fotointerpretação realizada em anaglifo, referente à porção noroeste do <i>Graben</i> Arroio Moirão.	48
Figura 21 – Interpretação de lineamentos da ocorrência do <i>Graben</i> Amaral Ferrador.	50
Figura 22 – Disposição das áreas selecionadas na imagem 222-81 do <i>LANDSAT 7</i>	51
Figura 23 – Poço tubular locado na região do <i>Graben</i> Arroio Moirão, disponível na base de dados do SIAGAS. Extraído de http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/	56
Figura 24 – Diagramas de roseta das ocorrências Boa Vista / Tabuleiro.	58
Figura 25 – Mapa de lineamentos: Boa Vista / Tabuleiro.	59
Figura 26 – Diagramas de roseta da ocorrência Cerro Partido.	60
Figura 27 – Mapa de lineamentos: Cerro Partido.	61
Figura 28- Diagramas de roseta da ocorrência Delfino.	63
Figura 29 – Mapa de lineamentos: Delfino.	64
Figura 30 – Diagramas de roseta da ocorrência do <i>Graben</i> Amaral Ferrador.	66
Figura 31 - Mapa de lineamentos: <i>Graben</i> Amaral Ferrador.	68
Figura 32 – Diagramas de roseta da ocorrência do <i>Graben</i> Arroio Moirão.	70
Figura 33 - Mapa de lineamentos: <i>Graben</i> Arroio Moirão.	71
Figura 34 – Mapa geológico de detalhe do <i>Graben</i> Arroio Moirão.	72
Figura 35 – Unidades descritas na etapa de campo. A) Fm. Sanga do Cabral; B) Fm. Santa Maria; C) Fm. Passo das Carretas; D) Suíte Piratini; E) Depósitos terciários; F) Depósitos quaternários.	75

Figura 36 – A) Diques de areia intrudindo o derrame vulcânico; B) Alteração esferoidal em <i>pillow</i> lavas.	76
Figura 37 – Estruturas rúpteis medidas em afloramento.	77
Figura 38 - Estereograma apresentando os planos de fratura, através de traços ciclográficos e os seus respectivos polos de planos.	78
Figura 39 – Gráfico que apresenta a distribuição entre os diferentes padrões de direção. ..	78
Figura 40 – A) Aspecto geral da lâmina PTMA-10 (Luz Natural); B) Aspecto geral da lâmina PTMA-10 (Luz Polarizada); C) Detalhamento da ocorrência de silcrete envolvendo pequenos litoclastos (Luz Polarizada).	80
Figura 41 – A) Aspecto geral da lâmina PTMM-05 (Luz Natural); B) Aspecto geral da lâmina PTMM-05 (Luz Polarizada); C) Detalhamento da ocorrência de agregados de plagioclásio (textura glomeroporfírica) (Luz Polarizada).	81
Figura 42 – A) Detalhamento dos fenocristais e da textura de fluxo na matriz (Luz Natural); B) Detalhamento da característica isótropa da melanita (Luz Polarizada); C) Aspecto geral da lâmina PTMM- 18 (Luz Natural).	82
Figura 43 – Plano de falha causando abatimento de blocos na região do <i>Graben</i> Arroio Moirão.	83
Figura 44 – Afloramento (PTMM–16) que exemplifica o estado de preservação das rochas que foram afetadas por falhas.	84
Figura 45 – Padrão de preenchimento de depósitos associado a sistemas de <i>Meio-Graben</i> e <i>Full- Graben</i> . Extraído de Kuchle (2010).	85
Figura 46 – Lineamentos regionais na região das ocorrências dos <i>Grabens</i> Amaral Ferrador e Arroio Moirão.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do Satélite <i>LANDSAT 7</i> . Adaptado de Arcanjo (2011).	49
Tabela 2 – Bandas espectrais do <i>LANDSAT (TM)</i> . Extraído de Arcanjo (2011).	51
Tabela 3 – Compilação dos dados de campo.	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de lineamentos segundo o seu comprimento. Modificado de Nagal (2014).	40
Quadro 2 - Exemplos de depósitos associados à <i>grabens</i>	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO.....	13
1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	14
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3. GEOLOGIA DA ÁREA DO PROJETO	16
3.1. Bacia do Paraná: contexto geral.....	16
3.2. Unidades gonduânicas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense.....	21
3.2.1. Formação Rio Bonito.....	22
3.2.2. Formação Sanga do Cabral.....	23
3.2.3. Formação Santa Maria.....	24
3.3. Escudo Sul-Rio-Grandense:.....	25
3.3.1. Cinturão Dom Feliciano: Batólito Pelotas e Terreno Tijucas.....	26
4. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	27
4.1. A Formação Caneleiras e a evolução dos conhecimentos sobre os depósitos sedimentares isolados sobre o ESRG.....	27
4.2. Análise estrutural	32
4.3. Tectônica rúptil: Falhas, fraturas e juntas.....	35
4.4. Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu.....	37
4.5. Tectônica triássica.....	38
4.6. Lineamentos.....	39
4.7. Morfoestruturas e características do relevo.....	40
5. METODOLOGIA	42
5.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	42
5.1.2. SIAGAS.....	44
5.2. PRÉ-CAMPO.....	45
5.2.1. Sensoriamento Remoto.....	45
5.2.2. Fotografias aéreas.....	47
5.2.3. Imagens de satélite.....	49
5.3. CAMPO.....	52
5.4. PÓS-CAMPO.....	55
5.4.1. Petrografia Qualitativa.....	55

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
6.1. SIAGAS: Dados de poços.....	56
6.2. Mapas de lineamentos das principais ocorrências.....	57
6.2.2. Mapa de lineamentos: Boa Vista / Tabuleiro.....	57
6.2.3. Mapa de lineamentos: Cerro Partido.....	60
6.2.4. Mapa de lineamentos: Delfino.....	62
6.2.5. Mapa de lineamentos: Graben Amaral Ferrador.....	65
6.2.6. Mapa de lineamentos: Graben Arroio Moirão.....	69
6.3. Geologia de campo.....	72
6.3.1. Geologia das unidades.....	74
6.3.3. Análise estrutural de campo	77
6.4. Petrografia qualitativa.....	79
6.5. Preservação das unidades gonduânicas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense...82	
6.6. <i>Grabens</i>	84
7. CONCLUSÕES	87
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMA, PREMISSAS, HIPÓTESES E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

Os estudos envolvendo a Bacia do Paraná têm sido desenvolvidos exaustivamente nas últimas décadas (Almeida, 1980; Zalán *et al.*, 1990; Milani, 1997). Sendo assim, ela é tida como a bacia sedimentar brasileira mais estudada e mais conhecida. No entanto, o entendimento sobre os fragmentos da bacia aflorantes sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) não avançaram na mesma intensidade, de modo que ainda existem diversas incógnitas em relação a esse assunto, dificultando seu posicionamento no registro da bacia.

Do ponto de vista conceitual, relicto é um registro remanescente de processos geológicos diversos que atuaram numa área resultando num testemunho de rocha original. Geralmente apresenta maior resistência ao intemperismo ou é condicionado a uma menor exposição aos agentes intempéricos. Estas rochas sedimentares são afetadas pela reativação de estruturas presentes no embasamento pré-gonduânico, em zonas de falhas rúpteis, preenchendo pequenos *grabens* (Ketzer, 1997). Logo, as condicionantes tectônicas responsáveis pela sedimentação da bacia, também teriam papel fundamental na dinâmica e preservação desses depósitos sobre o ESRG. O registro exclusivo de depósitos permo-triássicos seria propiciado por eventos de erosão e não-deposição, juntamente com a regressão da bacia aos seus domínios atuais, viabilizado pelo arcabouço estrutural imposto pelas zonas de falha presentes no escudo.

Com o objetivo de visualizar em grande escala o estruturamento que condiciona a preservação dos depósitos, foram analisadas imagens de satélite (*LANDSAT-7*) e fotos aéreas 1:50.000 (DNPM-CPRM, 1977), para identificação dos principais lineamentos e estruturas tectônicas. Da mesma forma, foi realizado o trabalho de campo onde foram obtidos os dados estruturais de afloramentos (estruturas rúpteis) e coletadas amostras de interesse para a pesquisa, descritas através de petrografia qualitativa. Por fim, a exaustiva pesquisa bibliográfica que deu suporte ao projeto em todo o seu desenvolvimento, contribuindo através de modelos e teorias aplicáveis para a área de estudo.

1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é a caracterização em escala regional dos processos tectônicos que propiciam o registro dos relictos da Bacia do Paraná, sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, e o seu significado no registro geológico.

Os objetivos específicos incluem:

- (i) Correlação das unidades permo-triássicas similares presentes na Bacia do Paraná;
- (ii) Interpretação da tectônica rúptil atuante no registro das ocorrências gonduânicas, através das reativação de estruturas do embasamento;
- (iii) Confecção de mapas de lineamentos das principais ocorrências dos relictos da bacia, avaliando os principais padrões estruturais
- (iv) Mapeamento de estruturas rúpteis em escala de afloramento, a fim de correlacioná-las com os eventos de caráter regional;

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do presente estudo abrange as principais ocorrências de unidades gonduânicas isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, segundo o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006) e estão contidas nas seguintes cartas topográficas do exército (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, 1979) (Fig. 1).

- escala 1:250.000 – Folhas Cachoeira do Sul, Pedro Osório, Pelotas e Porto Alegre.
- escala 1:50.000 – Folhas Amaral Ferrador, Arroio Barracão, Arroio da Bica, Arroio das Pedras , Cerro da Árvore, Delfino, Encruzilhada do Sul, Figueiras, Passo das Canas, Santana da Boa Vista e Vau dos Prestes.

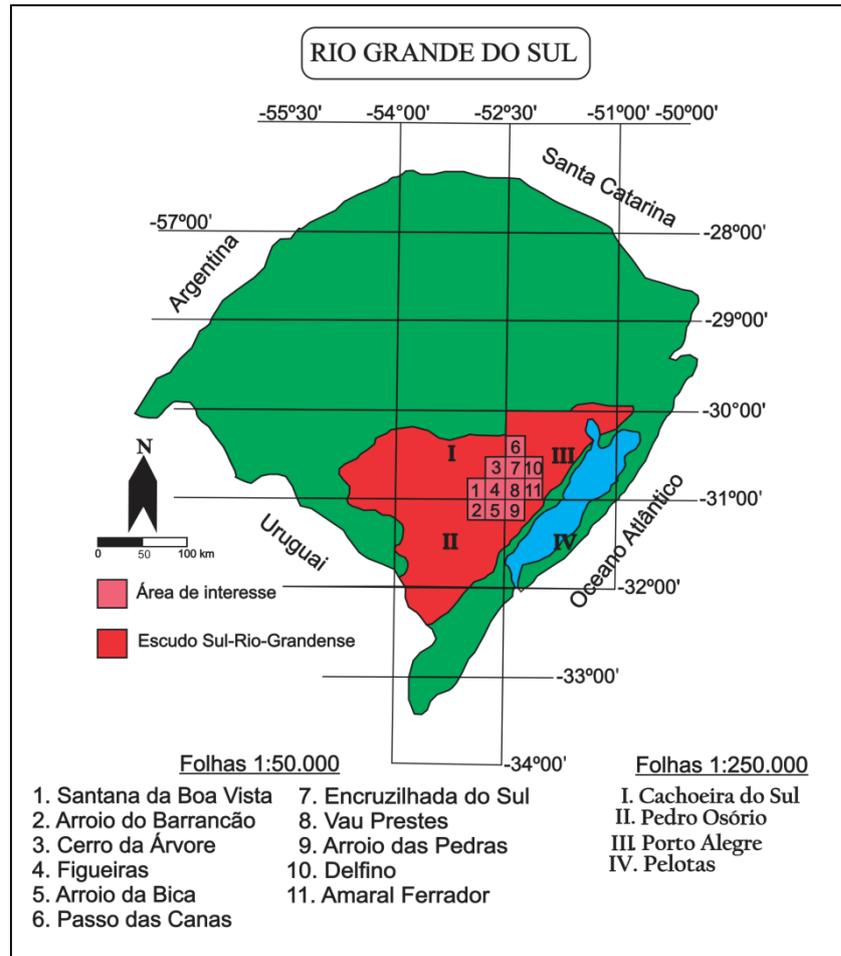


Figura 1 – Distribuição espacial da área de estudo, no contexto de cartas topográficas. Adaptado de Ketzer (1997).

São definidos seis depósitos que estão dispostos segundo uma direção preferencial nordeste-sudoeste, situados na porção leste do ESRG (Fig. 2), entre as latitudes $30^{\circ}15' S$ / $31^{\circ}15' S$ e as longitudes $52^{\circ}15' W$ / $53^{\circ}15' W$, no sistema de coordenadas geográficas. Os nomes das unidades foram atribuídos a partir das localidades próximas correspondentes, sendo eles: Boa Vista, Cerro Partido, Delfino, *Graben* Amaral Ferrador, *Graben* Arroio Moirão e Tabuleiro (Ketzer, 1997).

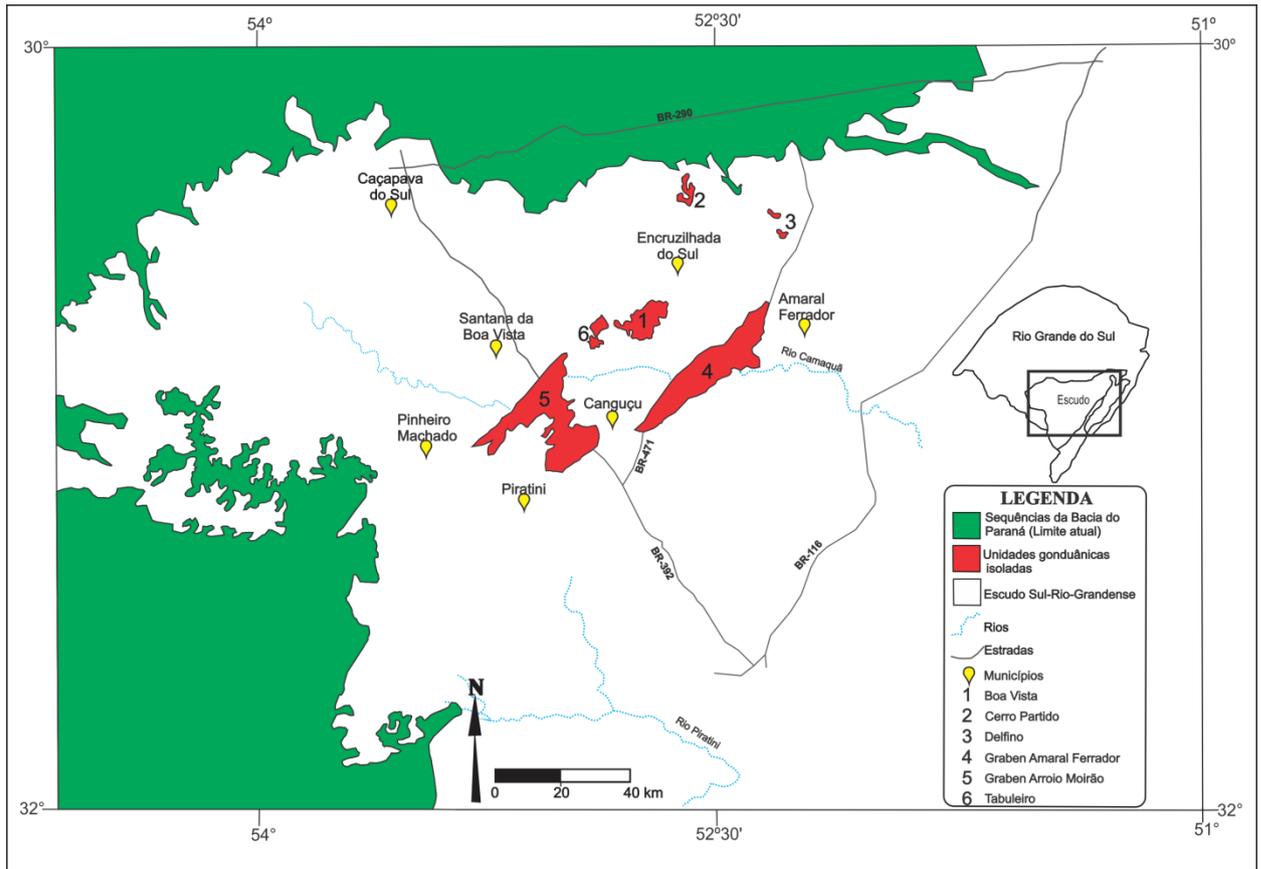


Figura 2 – Localização da área de estudo. Modificado de Ketzer (1997).

3. GEOLOGIA DA ÁREA DO PROJETO

3.1. Bacia do Paraná: contexto geral

A origem do nome Bacia do Paraná se deve ao rio Paraná (Maack, 1952), que corre paralelo ao seu eixo maior (aproximadamente N-S), por cerca de 1500 km até alterar para a direção E-W, cruzando o Arco de Assunção e formando a fronteira entre o Paraguai e a Argentina (Fig. 3).

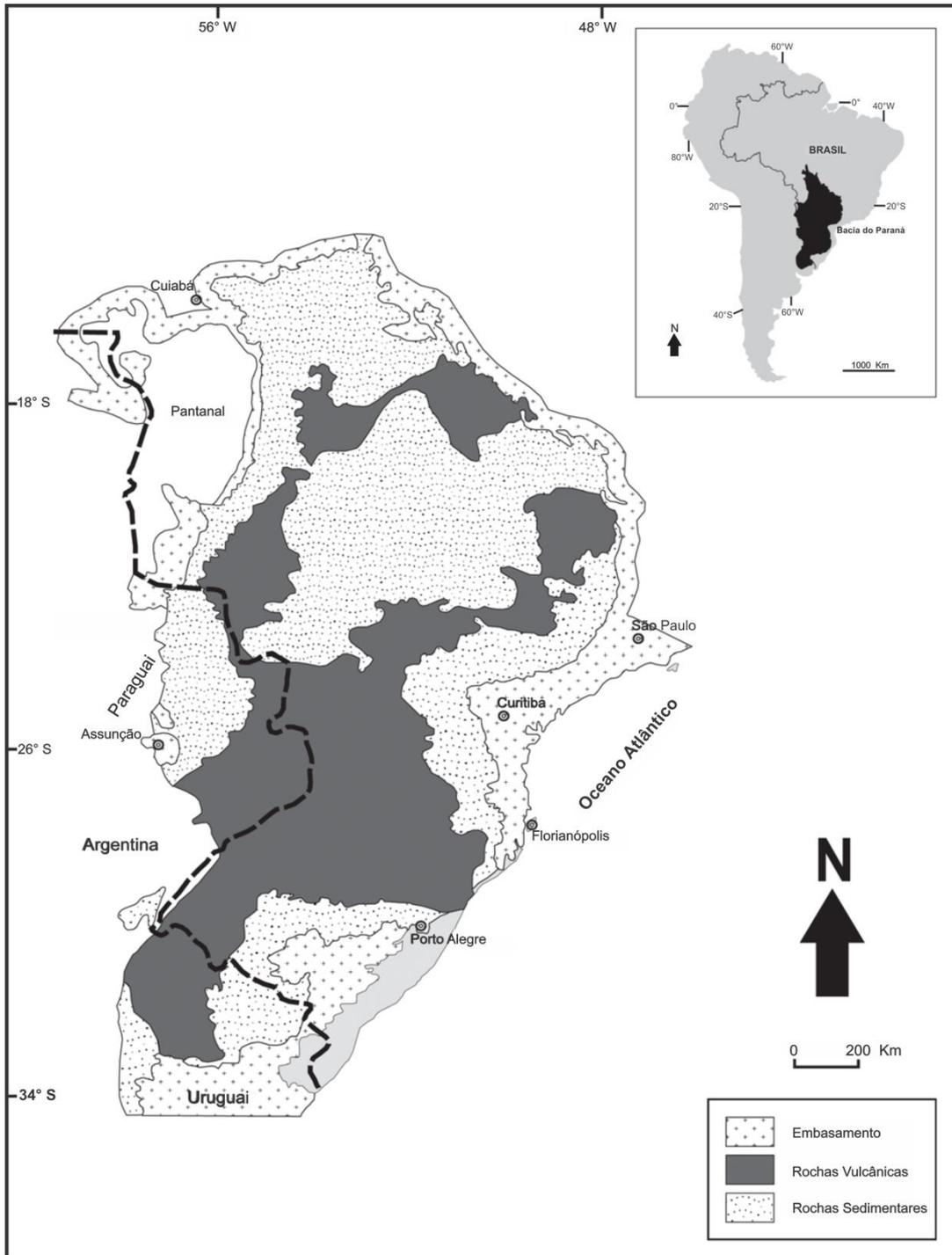


Figura 3 - Mapa de localização da Bacia do Paraná. Adaptado de Milani (1997).

A bacia abrange uma área de aproximadamente 1.500.000 km², na porção centro-leste da América do Sul, estando distribuída em sua maior parte sobre o Brasil, mas também registrada no Uruguai, Paraguai e Argentina, onde é conhecida como Bacia Chaco-Paraná (Fig. 4). Seu formato é alongado na direção NE-SW com aproximadamente 1.700 km de comprimento e largura média de 900 km (Milani,

1997). Na porção brasileira, dois terços da área da bacia estão cobertos por derrames basálticos, que podem atingir aproximadamente 1300 m de espessura, chegando até 2000 m quando somados às rochas intrusivas rasas. Logo, quando considerados os pacotes de rochas sedimentares sotopostos, os valores máximos de espessura da bacia como um todo chegam a ultrapassar 7000 m (Zalán *et al.* 1987, 1990).

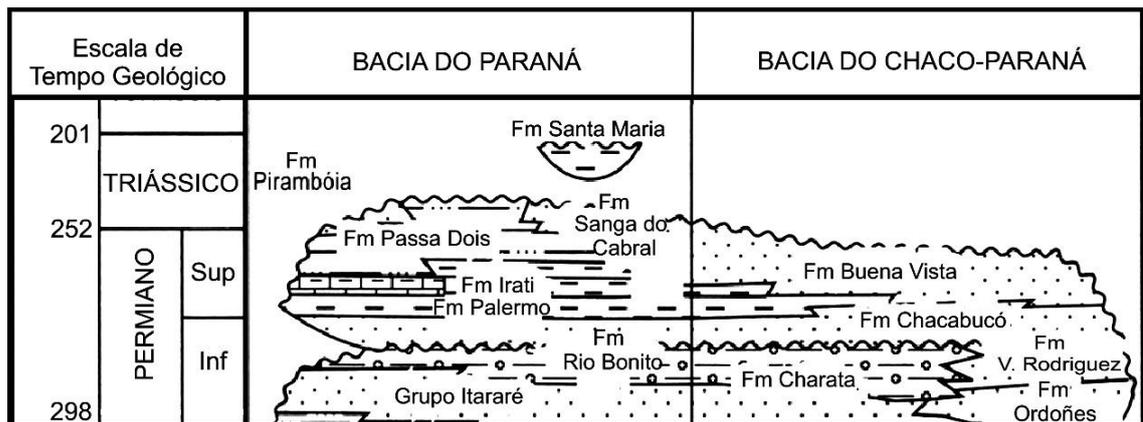


Figura 4 – Correlação da Bacia do Paraná com a porção do Chaco-Paraná no intervalo deposicional tocante ao estudo. Modificado de Milani & Thomaz Filho (2000).

Seus limites atuais são de natureza erosiva, controlados pelo soerguimento dos arcos tectônicos associados, como por exemplo, os de Rio Grande, Ponta Grossa, Alto Xingu, Alto Parnaíba e de Assunção. Segundo Zalán *et al.* (1987) o evento de soerguimento da Serra do Mar foi de grande importância na geração dos limites orientais da bacia, tendo iniciado durante o Turoniano, prosseguindo até épocas recentes, afetando toda a região sudeste do Brasil. É caracterizada por três ciclos sucessivos de subsidência, sedimentação e magmatismo, que ocorreram entre o Ordoviciano e o Cretáceo, sendo interrompidos pela "Reativação Wealdeniana" e a abertura da porção sul do continente Gondwana (Almeida, 1967).

Quintas *et al.*, (1999) a descrevem como uma bacia do tipo intracratônica, preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, com idades entre o Ordoviciano e o Cretáceo, sobrepondo um embasamento composto por rochas ígneas e metamórficas. Segundo dados obtidos através de datações radiométricas, situam esse embasamento entre 700 e 450 Ma, colocando no contexto tectônico do Ciclo Brasileiro (Cordani *et al.*, 1984).

A primeira proposta de coluna estratigráfica da Bacia do Paraná foi introduzida por White (1908), e desde então, outros diversos trabalhos vêm sendo

feitos para denominar e descrever os diversos grupos, formações e membros que a constituem (Barberena *et al.*, 1991; Assine *et al.*, 1994; Fernandes & Coimbra, 1996; Milani, 1997, 2007).

Os trabalhos de Almeida (1980) e Zalán *et al.* (1987,1990) concluem que a pilha de rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a Bacia do Paraná representa a superposição de, no mínimo, três bacias diferentes, cujas geometrias e limites variam de uma para outra, sendo associadas ao movimento das placas, que conduziu a evolução do Gondwana no tempo geológico. A primeira bacia corresponde às sequências siluriana e devoniana (Zalán *et al.*, 1990), e teria sido depositada em um golfo aberto para o Paleo-Oceano Pacífico. Já a segunda, que corresponde à sequência permo-carbonífera, típica de sinéclise intracontinental, desenvolveu-se em uma situação de mar epicontinental. Por fim, a terceira bacia corresponde aos eventos de vulcanismo que deram origem as rochas vulcânicas e hipoabissais associadas.

O reconhecimento de Supersequências (Vail *et al.*, 1977) no registro estratigráfico da bacia, a partir da descrição de superfícies de discordância e correlações estratigráficas em escala regional, onde foram determinados os ciclos transgressivo-regressivos, acabou possibilitando sua subdivisão em seis unidades de ampla escala, também denominadas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo) (Milani *et al.*, 1997) (Fig. 5).

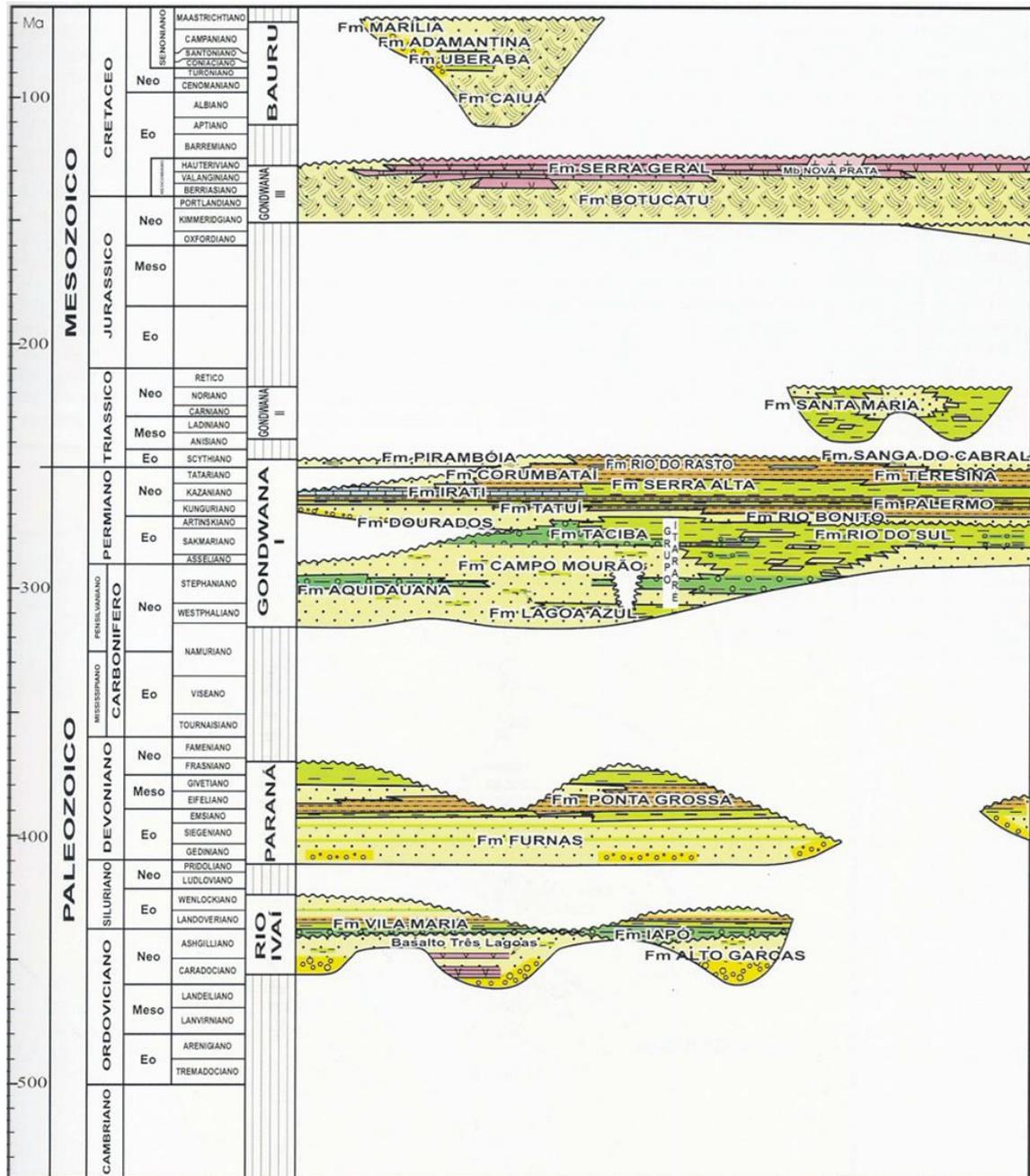


Figura 5 – Carta estratigráfica da Bacia do Paraná. Adaptado de Milani (2007).

A evolução tectônica da bacia está intimamente ligada à reativação de falhas presentes no seu embasamento (Northfleet *et al.*, 1969), associadas a flexuras e arqueamentos gerados durante o Ciclo Brasileiro (Almeida, 1986, 2000; Zalán *et al.*, 1987, 1990), predominantemente a partir do Mesozóico, afetando a borda leste da bacia e causando, no Cretáceo Inferior, a ruptura do continente Gondwana.

O reconhecimento do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná teve início através de trabalhos de campo (Andrade & Soares, 1970, 1971; Soares, 1974) e do

reconhecimento morfoestrutural, a partir da interpretação de fotos aéreas, imagens de radar e de satélite (Soares *et al.*, 1982).

Segundo Loczy (1968), a tectônica da Bacia do Paraná é do tipo extensional, com movimentos verticais de falhas normais, não relacionados à compressão, onde as principais direções dessas falhas são NE, coincidentes com as registradas no embasamento, e ainda as NW, preenchidas por diques de diabásio.

Zalán *et al.*, (1987, 1990) caracterizaram o arcabouço tectônico da bacia, propondo três orientações principais para os seus lineamentos, sendo as dominantes NW-SE e NE-SW, e subordinadamente, E-W.

3.2. Unidades gonduânicas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense

Ao longo de todo o trabalho será recorrente o uso da expressão “unidades gonduânicas” que possui caráter genérico, pois engloba todo e qualquer depósito na Bacia do Paraná, pertencente ao período de estabilidade do continente Gondwana - Sequências Gondwana I e II (Milani, 1997) -, ou seja, de idades deposicionais anteriores à sua fragmentação. De igual maneira, a denominação “Escudo Sul-Rio-Grandense” é descritiva, assim como Carvalho (1932) que a define apenas como uma região geográfica do Rio Grande do Sul onde ocorrem rochas do embasamento (pré-gonduânicas), não estando este conceito vinculado às características de gênese e estabilidade tectônica. Alguns aspectos relevantes do ESRG serão descritos a seguir com a finalidade de facilitar o entendimento e o posicionamento dos depósitos gonduânicos.

A definição das unidades que ocorrem isoladas sobre o Escudo foi baseada em dados de afloramento e sensoriamento remoto, representados no Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006), que descreve as ocorrências como pertencentes à: 1) Formação Rio Bonito: Cerro Partido e Delfino; 2) Formação Sanga do Cabral: Boa Vista, *Graben* Amaral Ferrador, *Graben* Arroio Moirão e Tabuleiro. No entanto, a ocorrência da Formação Santa Maria é descrita através de mapeamento e descrição faciológica no Cerro Partido, Boa Vista, Delfino e *Graben* Arroio Moirão (Ketzner, 1997), e mais recentemente nos trabalhos de Lima (2014) e Machado (2014) que a reconhecem no *Graben* Arroio Moirão e Vieira (2012), no Cerro Partido.

3.2.1. Formação Rio Bonito

O nome Rio Bonito era utilizado apenas para designar as camadas com *Flora Glossopteris* e leitos de carvão existentes no topo da série Tubarão (White, 1908). A Formação Rio Bonito se estende ao longo de toda borda leste da bacia, do Rio Grande do Sul ao sul de São Paulo, e está inserida no Grupo Guatá da Bacia do Paraná (Gordon Jr., 1947). É contextualizada deposicionalmente e interpretada como sendo composta pela atuação de ambientes deltaicos, marinhos, ilhas-barreira e lagunares (Medeiros *et al.*, 1970; Medeiros & Thomaz Filho, 1973). Por meio da correlação e arranjo das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, formalizou os intervalos como membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis, através de uma descrição faciológica bem detalhada (Schneider *et al.*, 1974).

A integração de dados sobre sedimentação, icnologia e geoquímica permitiu a elaboração de um modelo de arcabouço estratigráfico, com a individualização de sequências de terceira e quarta ordens (Tognoli *et al.*, 2003).

A Formação Rio Bonito compreende uma das maiores áreas de importância em relação ao carvão mineral, sendo esses inseridos em um complexo lagunar estuarino com duas importantes superfícies estratigráficas: a primeira, uma superfície transgressiva erosiva marcada pelo icnofóssil *Glossifungites*, evidenciando o retrabalhamento erosivo da linha de costa; e a segunda, uma sequência transgressiva de limite modificado, marcada por camadas centimétricas, compostas por areia com granulação grossa e seixos de laminações do tipo *hummocky* embutidos na porção distal do paleoestúário (Holz, 2003). Foram identificados importantes leitos de carvão entre a passagem do trato de sistema de mar baixo para o trato de sistema transgressivo. Este último foi dividido em quatro parassequências: a primeira correspondente ao sistema de mar baixo sob arenitos *onlap*; a segunda composta por tempestitos e carvões nas camadas inferiores, num sistema de ilha barreira-laguna; a terceira com ciclos tempestíticos e a quarta depositada num ambiente estuarino (Holz *et al.*, 2004).

Com o estudo da porção superior do o Membro Triunfo no norte de Santa Catarina, foram identificados nove ciclos de fácies, sendo, quatro desses na porção inferior, ocorrendo num contexto de sistema de mar baixo, enquanto os outros cinco superiores, em um trato de sistema de mar alto. Os depósitos são de origem fluvial,

flúvio-estuarina e flúvio-deltaica na parte inferior, enquanto na parte superior, tem origem marinha (Martinelli & Castro, 2007).

3.2.2. Formação Sanga do Cabral

Ocorre na porção gaúcha da Bacia do Paraná, em uma espessa sucessão flúvio-eólica com até 500 metros, sendo prolongada ao Uruguai nos depósitos da Formação Buena Vista. O pacote Sanga do Cabral foi interpretado por Lavina (1988) como um equivalente lateral da Formação Rio do Rasto, que representaria o avanço para norte de sistemas continentais sobre os remanescentes lacustres da “Bacia Passa Dois”. Trata-se de depósitos fluviais e eólicos compondo uma cunha que se adelgaça para sudoeste no sentido da porção paranaense da bacia.

São descritos como arenitos avermelhados, quartzosos, de granulação bimodal fina a média, com grãos foscos e arredondados. Esses arenitos apresentam estratificação cruzada tangencial de médio porte, indicando paleocorrentes predominante para sudeste. Intercalam-se com fácies de arenito avermelhados, granulometria fina a média, matriz argilosa e estratificação subhorizontal. Constituem, respectivamente, depósitos de dunas e interdunas úmidas, os quais foram inicialmente interpretados, por Gamermann (1973), como fluviais e incluídos na seção tipo da Formação Rosário do Sul, sendo correlacionados, por similaridade litológica, com a Formação Pirambóia (Gamermann, 1973; Soares, 1975, Lavina, 1989; Lavina *et al.*, 1993).

Atualmente, esta unidade eólica é considerada Eo-Scitiana por situar-se acima dos depósitos de planície de inundação da Formação Rio do Rasto (Permiano) e abaixo dos depósitos fluviais da Formação Sanga do Cabral (Barberena *et al.*, 1985). Posteriormente estes arenitos eólicos descritos acima foram incluídos, como unidade inferior, na Formação Sanga do Cabral por alguns autores (Lavina, 1992; Faccini, 2000).

Os arenitos superiores da Formação Sanga do Cabral (Andreis *et al.*, 1980; 1982) são avermelhados, de granulometria predominantemente fina e lentes conglomeráticas com estratificação cruzada acanalada. Apresentam intercalações de siltitos laminados e arenitos com estratificações plano-paralelas incipientes. A característica marcante desta unidade é a presença de concreções carbonáticas. São depósitos associados a um sistema fluvial entrelaçado, com canais rasos e

largos. Estes depósitos são mais espessos para oeste, assim como a unidade de arenitos eólicos.

3.2.3. Formação Santa Maria

É representada por uma sucessão de 100 m de arenitos e pelitos depositados em condições continentais, provenientes de sistema deposicional flúvio-lacustre. A mesma é portadora de fósseis de vertebrados (tecodônctios, esfenodontídeos, rincossauros, cinodontes, dicinodontes, dinossauros e peixes), invertebrados (conchostráceos e insetos) e vegetais (coníferas) de idade ladiniana-eonoriana (Faccini, 1989).

Limitada por discordâncias, é composta por três unidades verticalmente empilhadas e com relações de interdigitação, permitindo a seguinte divisão litoestratigráfica da base para o topo: Unidade Passo das Tropas (psamítica), Unidade Alemoa (pelítica) e Unidade Caturrita (psamítica). Tem ocorrência restrita em termos de bacia, porém seu conteúdo fóssilífero é notável. As três unidades são consideradas membros, embora para a superior tenha sido proposta a categoria de Formação (Bortoluzzi, 1974).

A unidade Passo das Tropas é formada por corpos espessos de até 5m de arenitos acinzentados de granulação grossa, conglomeráticos, feldspáticos, micáceos, intercalados com finas camadas de pelitos. Possuem estratificação cruzada e *climbing ripples* com direção de transporte para norte, nordeste e oeste. Alcança aproximadamente 40m de espessura, apresentando, com frequência, fósseis vegetais meso-triássicos da flora *Dicroidium*. Esta unidade é constituída por depósitos de canais de baixa sinuosidade e planícies aluviais, com menor contribuição de fácies finas, representando o estabelecimento de um sistema fluvial proximal, estilo de canal *multistorie* (Faccini *et al.*, 2000), implantado sobre o paleorelevo da Formação Sanga do Cabral.

O contato basal desta unidade é marcado por uma superfície erosional, uma desconformidade regional com hiato deposicional e paleontológico definido entre o Triássico Inferior e Médio (Faccini, 1989; Schultz, 1995). Exceto em pontos isolados, os limites do contato não são diretamente observáveis (Faccini, 2000). O contato superior é representado por interdigitação com os pelitos vermelhos lacustres do

Membro Alemoa, caracterizando uma progressiva ampliação do ambiente lacustre, atestado por uma deposição essencialmente pelítica, de até 50 m de espessura.

São comuns zonas de concrecionamento tipo caliche em paleossolos, indicando clima semi-árido. A unidade é representativa do Triássico na bacia devido ao volumoso conteúdo de vertebrados fósseis (Barberena *et al.*, 1985; Holz & Scherer, 1998; Schultz *et al.*, 2000).

A unidade Caturrita (Formação *sensu* Bortoluzzi, 1974) compreende corpos lenticulares de arenitos de granulação grossa a fina, frequentemente com clastos de argila, intercalados e sobrepostos ao pacote pelítico do Membro Alemoa da Formação Santa Maria. Predominam estratificações cruzadas exibindo paleocorrentes para nordeste. A presença de fósseis nesta unidade indica idade neo-triássica, podendo se estender ao início do Jurássico.

3.3. Escudo Sul-Rio-Grandense

O ESRG, localizado na porção meridional da faixa móvel Província Mantiqueira (Hasui *et al.*, 1975; Almeida *et al.*, 1981), é a área do Estado do Rio Grande do Sul onde predominam rochas ígneas, metamórficas e sedimentares pré-paleozoicas, cuja gênese está associada aos ciclos Transamazônico (principalmente em fragmentos paleoproterozoicos geralmente associados ao Cráton Rio de La Plata) e Brasiliano/Pan-Africano (unidades mais jovens neoproterozoicas). Ao longo do Neoproterozoico (900-500 Ma), esta área configurou-se como importante zona de acreção e retrabalhamento crustal (Fragoso-César, 1991; Soliani Jr., 1986; Borba, 2006).

Em cada ciclo orogênico é registrada a construção de crosta oceânica com a presença de micro-continentes migrando nestes oceanos e a formação de arcos de ilhas e margens ativas. Assim, o anteparo arqueano contra o qual foi estabelecido a colisão continental paleoproterozoica não está registrado no estado, porém para os processos vinculados à colisão neoproterozoica do Brasiliano temos como referência o Cráton Rio De La Plata (Hartmann *et al.*, 2007; Travassos, 2014).

O ESRG está subdividido em domínios tectônicos principais sendo eles, o Terreno Taquarembó, o Terreno São Gabriel, o Terreno Tijucas e o Batólito Pelotas, e ainda, a bacia pós-colisional do Camaquã. Estes domínios estão dispostos em faixas alongadas de direção NE-SW, limitados por zonas de cisalhamento dúcteis de

escala continental (Fig. 6). A subdivisão desses terrenos foi feita a partir da análise de características estruturais, petrotectônicas e isotópicas.

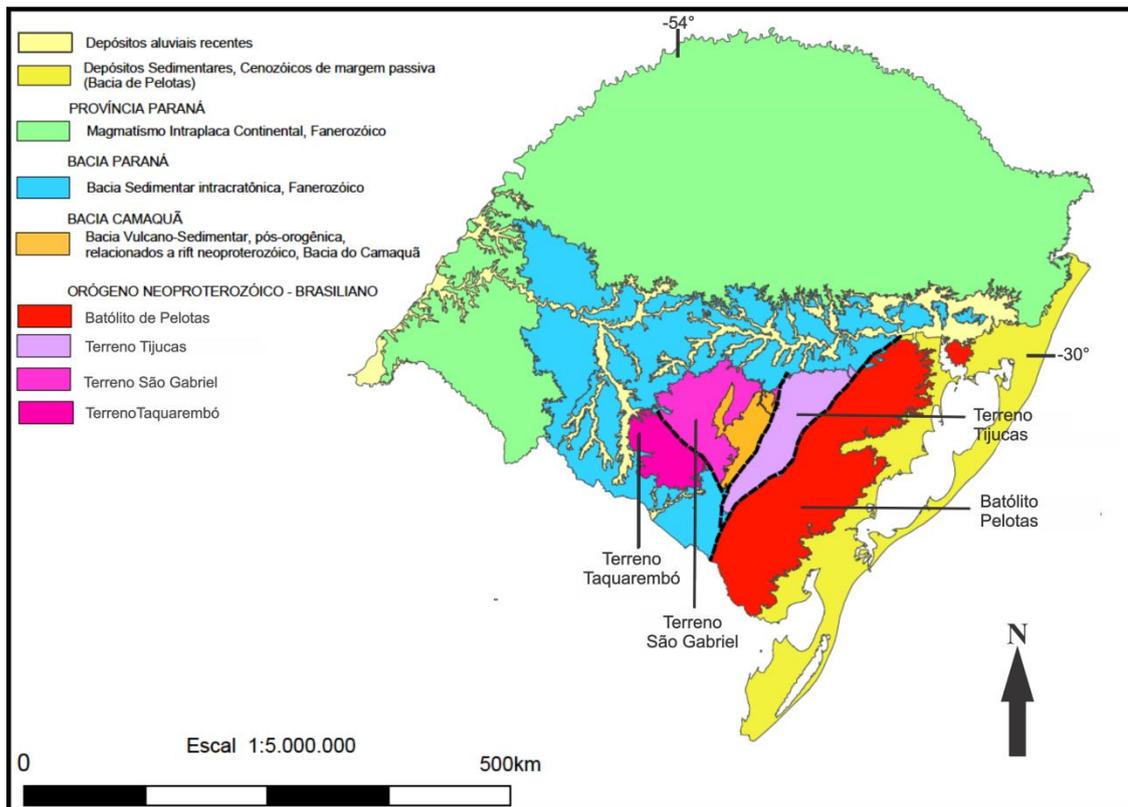


Figura 6 - Domínios geotectônicos do Estado do Rio Grande do Sul. Modificado de CPRM (2006); Travassos (2014).

3.3.1. Cinturão Dom Feliciano: Batólito Pelotas e Terreno Tijucas

O arcabouço tectônico do Escudo Sul-Rio-Grandense é constituído predominantemente pelos três domínios geotectônicos neoproterozoicos de maior expressão, sendo eles o Terreno São Gabriel, o Terreno Tijucas e o Batólito Pelotas, que juntos constituem o Cinturão Dom Feliciano. No entanto, a ocorrência das unidades gonduânicas isoladas sobre o ESRG, estão restritas às porções que incluem neste caso, o Batólito de Pelotas e o Terreno Tijucas.

O Terreno Tijucas está localizado na porção centro-sul do estado, sendo limitado pelo Batólito de Pelotas e pela Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu (ZCTDC) a leste e pelas rochas da Bacia do Camaquã a oeste. É representado em grande parte pelo Complexo Porongos e pelos gnaisses paleoproterozoicos do Complexo Encantadas, embasamento do Complexo Porongos. O Complexo Encantadas é constituído por gnaisses tonalíticos, trondhjemíticos e dioríticos, com presença subordinada de anfibolitos e rochas meta-

ultramáficas ricas em hornblenda (Lusa *et al.*, 2010). Já o Complexo Metamórfico Porongos, é constituído por pacotes de metassedimentos e meta-vulcânicas neoproterozoicas (Hartmann *et al.*, 2007).

O Batólito Pelotas, localizado na porção SE do estado do Rio Grande do Sul, é constituído de forma predominante por rochas graníticas de idades entre 650 e 550 Ma. São reconhecidos seis suítes graníticas e um complexo granítico (Philipp *et al.* 2003) que compõem o Batólito Pelotas: o Complexo Pinheiro Machado e as suítes intrusivas Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Cordilheira, Dom Feliciano e Piquiri. São reconhecidos no batólito três eventos tectônicos deformacionais, sendo dois eventos dúcteis (D1 e D2) e um rúptil (D3) (Fernandes *et al.*, 1995).

4. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

4.1. A Formação Caneleiras e a evolução dos conhecimentos sobre os depósitos sedimentares isolados sobre o ESRG

As rochas sedimentares que afloram de maneira isolada sobre o ESRG tiveram sua primeira notoriedade no município de Encruzilhada do Sul, sendo analisadas primeiramente por Franco (1944) e Leinz (1945), que as denominaram de “Arenitos da Série Camaquã” sendo assim correlacionadas com rochas sedimentares eopaleozoicas do Grupo Camaquã (Formação Santa Bárbara e Guaritas) da Bacia do Camaquã.

Os trabalhos de campo realizados na região dos municípios de Encruzilhada do Sul, Canguçu e Santana da Boa Vista, por Tessari & Picada (1963, 1966) atribuíram o nome de Formação Caneleiras para estas rochas e as desvincularam do Grupo Camaquã. A nova concepção de idade para a unidade se fundamentou na presença de impressões de folhas e lenhos fósseis em algumas amostras. A descoberta do conteúdo fóssilífero, apoiado nas observações de campo, foram cruciais na denominação de uma idade devoniana para estes litotipos, colocando-os no contexto deposicional da Bacia do Paraná.

A formalização e divulgação da Formação Caneleiras foram realizadas em conferência do Núcleo do Rio Grande do Sul da Sociedade Brasileira de Geologia, onde a nova designação da unidade foi aberta para a comunidade científica, permitindo assim, que a partir do ano de 1964 a então nova unidade litoestratigráfica fosse referida em trabalhos de graduação da UFRGS (1964, 1973).

Logo no início dos anos 80, surgiram questionamentos sobre a idade devoniana atribuída para a Formação Caneleiras. O trabalho de cunho palinológico realizado por Daemon *et al.* (1980) na região do Cerro Partido, indicou uma assembleia de palinomorfos correspondente ao Permiano Superior, mais precisamente Kazaniano. Portanto, as rochas seriam correlacionáveis com a Formação Palermo, pertencente à seção gonduânica da Bacia do Paraná. Os autores descrevem ainda, a presença de sedimentos avermelhados compatíveis com os presentes no Grupo Passa Dois (Formação Rio do Rasto).

No entanto, o abandono definitivo da idade devoniana veio através da descoberta de répteis fósseis característicos do Triássico (*Scaphonyx fisheri*) por Jost (1981), que considerou que a deposição do conjunto de rochas da Formação Caneleiras nos arredores de Santana da Boa Vista ocorreu de fato no período Triássico. Esta descoberta se tornou um marco para a evolução dos conhecimentos desta formação, pois acabou por despertar interesse da comunidade científica, estimulando a realização de trabalhos que pudessem elucidar a real idade deposicional da Formação Caneleiras.

O trabalho de Garcia (1983) deu ênfase ao mapeamento do Grupo Itararé e da Formação Rio Bonito na região de Encruzilhada do Sul, reforçando a ideia de incompatibilidade da Formação Caneleiras com a idade devoniana. Sua análise possibilitou ainda, a divisão da Formação Caneleiras em duas unidades, uma basal, provavelmente correspondente à Formação Palermo, e uma superior, acomodada na Formação Rio do Rasto ou Rosário do Sul.

A atribuição de uma idade neotriássica para os afloramentos da Formação Caneleiras na região de Encruzilhada do Sul, após várias etapas de mapeamento geológico realizadas por Frantz *et al.* (1984), propuseram que as rochas sedimentares de cor avermelhada e com fósseis de *Cynodontia* são correlacionadas às formações gonduânicas da Bacia do Paraná, e que seriam representantes de bacias residuais sobre o ESRG.

O trabalho de análise da evolução estrutural das rochas cristalinas localizadas a sul do Rio Camaquã realizado por Remus *et al.* (1987), denominam a ocorrência da Formação Caneleiras como "Cobertura Gonduânica", e reiteram a concepção de idade triássica para as rochas sedimentares ali registradas.

A primeira abordagem cronoestratigráfica aplicada nos conceitos da então emergente estratigrafia de sequências foi apresentada por Faccini (1989), onde são

descritos vários perfis geológicos, acompanhados de perfis sedimentológicos, nos afloramentos triássicos da Bacia do Paraná, na região entre Canguçu e Santana da Boa Vista. O autor reconhece duas sequências, I e II, correspondentes às Formações Rio do Rasto/Sanga do Cabral (indiviso) do Permo-Triássico, e Santa Maria, do Triássico Médio/Superior, respectivamente.

A partir dos anos 90, a idade triássica já não era mais discutida para a Formação Caneleiras, porém, a heterogeneidade das fácies apontava para existência de várias unidades litoestratigráficas para esta formação.

A análise paleontológica e faciológica realizada por Faccini *et al.* (1990) nas rochas aflorantes da Formação Caneleiras na região de Santana da Boa Vista, relatam a ocorrência de fósseis de rincossauros e cinodontes na localidade de Passo da Campina, propondo uma correlação direta destas com as rochas dos membros Passo das Tropas e Alemoa da Formação Santa Maria. Também é apontada a possível correlação faciológica destas rochas com a Formação Rio do Rasto, salientando que a Formação Caneleiras representa, na região, uma porção preservada da sedimentação triássica sobre o ESRG. Por fim, os autores sugerem o abandono do termo "Formação Caneleiras" e sua substituição pelas unidades correlatas da Bacia do Paraná, já descritas anteriormente na literatura.

Os estudos realizados no município de Piratini por Pimentel *et al.* (1990), embora apontem nítida correlação com a Formação Santa Maria e Rio do Rasto, acabam por manter o uso do termo "Caneleiras" (sequência vulcano-sedimentar Caneleiras), fundamentado na ocorrência de rochas vulcânicas associadas, assim como procedido por Jost (1981).

Baseado em descrições faciológicas e no conteúdo palinológico encontrado nas rochas sedimentares eopermianas sobre o ESRG, Weschenfelder *et al.* (1993) as caracterizam como unidades pertencentes ao Grupo Itararé e a Formação Rio Bonito, em afloramentos anteriormente mapeados como Formação Caneleiras na localidade de Delfino. O abandono do termo "Formação Caneleiras" é reafirmado pelos autores, onde são questionados os argumentos usados por Tessari & Picada (1966) para a não correlação desta com o Grupo Itararé.

O posicionamento estratigráfico no Permo-Triássico é proposto por Menegat & Scherer (1993), baseados em análise faciológica de rochas da região de Encruzilhada do Sul, sugerindo a correlação destas com as unidades permo-triássicas do tipo red beds da Bacia Paraná. Os autores destacam ainda, a

sedimentação em um ambiente tectônico não compatível com as unidades pré-gonduânicas (Grupo Camaquã), corroborando o fato de que Formação Caneleiras não possa pertencer a uma bacia sedimentar que não a Bacia do Paraná.

O trabalho realizado por Festenseifer *et al.* (1994), nas rochas sedimentares do Cerro Partido no município de Encruzilhada do Sul, evidenciou a correlação da Formação Caneleiras com o Grupo Tubarão, através da presença de impressões de folhas. Foram correlacionadas ainda as camadas superiores do Cerro Partido com o Grupo Rosário do Sul, sugerindo novamente, o abandono do termo "Caneleiras" e sua substituição pelas unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná.

Com o objetivo de integrar parte das unidades isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense através de uma abordagem tectono-estratigráfica, Menegat *et al.* (1995) caracterizaram duas sequências deposicionais que puderam ser correlacionadas com a Formação Rio Bonito e com a sequência deposicional I (formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral) definida por Faccini (1989) para o Permo-Triássico da Bacia do Paraná. Segundo os autores, a discordância gerada entre as duas sequências teria sido gerada por reativações tectônicas do embasamento durante o Permiano Superior.

A proposição de uma nova unidade litoestratigráfica para as rochas vulcânicas da região sudeste de Santana da Boa Vista apresentada por Figueiró *et al.* (1996), no qual foram identificados dois derrames que possuem idade do Cretáceo, sendo um básico e um intermediário. Por não serem compatíveis em termos de idade com as rochas vulcânicas eopaleozoicas (Membros Hilário e Rodeio Velho da Bacia do Camaquã) e por possuírem características petrológicas e geoquímicas diferentes das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), estes autores a nomearam como Formação Passo das Carretas.

O abandono do termo "Formação Caneleiras" foi amplamente difundido a partir da metade da década de 90, sendo substituído pelas respectivas formações gonduânicas da Bacia do Paraná, tal como sugerido anteriormente por diversos autores (Faccini *et al.* 1990; Menegat & Scherer, 1993; Festenseifer *et al.* 1994).

Apesar do termo "Formação Caneleiras" estar em evidente desuso, Ketzer (1997) tem o cuidado de colocá-lo no título de seu trabalho, objetivado em dar ênfase às rochas sedimentares preservadas de maneira isolada sobre o ESRG, apresentando um ponto de vista cronoestratigráfico para estas. Em suas conclusões, a Formação Caneleiras representa a sedimentação da Bacia do Paraná, durante o

intervalo Permiano ao Eocretáceo, preservada sobre a porção leste do ESRG, através de reativações de falhas rúpteis, formando *cuestas*, registrada em estruturas do tipo *graben*. O autor percorre as seis ocorrências isoladas, apresentando um panorama integrador entre estas, através de descrições de campo, correlações estratigráficas regionais e aplicação de métodos geofísicos.

Os trabalhos de mapeamento das folhas Pedro Osório e Cachoeira do Sul, ambos realizados pela CPRM (1999, 2000) destacam a preservação das unidades na forma de morros-testemunhos, e as cita como remanescentes de uma bacia do tipo *graben*, onde é destacada a ocorrência do *Graben Arroio Moirão*. O reconhecimento das formações gonduânicas correlatas, aflorantes sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Formações Sanga do Cabral e Santa Maria), formaliza de maneira definitiva estas unidades como pertencentes à Bacia do Paraná.

O entendimento de uma bacia *rift* com pequenas dimensões, onde se deposita a Supersequência Santa Maria sobre o ESRG, é apresentada por Zeffass (2003). O autor a retrata como uma bacia de pequena extensão e baixa subsidência, com curto intervalo deposicional, evidenciando depósitos com pequena espessura e que cobrem área restritas.

No mais recente mapa geológico do Rio Grande do Sul, elaborado pela CPRM (2006) as unidades gonduânicas aflorantes sobre o ESRG são definidas formalmente como pertencentes à Bacia do Paraná, sendo elas majoritariamente descritas como Formação Sanga do Cabral e Formação Rio Bonito.

A abordagem tectono-estratigráfica apresentada por Vieira (2012) em seu estudo no Cerro Partido, aponta um modelo deposicional dividido em quatro estágios controlados por falhas, onde estão registradas rochas no intervalo Permo-Triássico da Bacia do Paraná. O autor reconhece três discordâncias, que dividem as sequências deposicionais da base para topo em: Sequência Permiana, Sequência Triássica I e Sequência Triássica II, correspondentes às formações Rio Bonito, Sanga do Cabral e Santa Maria, respectivamente.

A fim de compreender a estruturação do *Graben Arroio Moirão* e a idade do posicionamento dos corpos fonolíticos presentes na região de Santana da Boa Vista, Machado (2014) se valeu dos métodos de traços de fissão em apatitas e datações U/Pb em zircões. Segundo o autor, a preservação do *graben* está intimamente ligada aos eventos de reativação de estruturas dúcteis do embasamento, sendo

reconhecidas duas idades principais para estas, 147 Ma nas apatitas dos granitos e 86 Ma nas apatitas dos fonolitos.

A análise faciológica e o modelamento deposicional do setor sudoeste do Gráben Arroio Moirão apresentado por Lima (2014), está fundamentado na estratigrafia de detalhe e foi feita através de levantamentos de perfis colunares, correlação de superfícies-chave e petrografia. O autor utilizou também técnicas analíticas como a difração de raios X (DRX) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV), e acabou por identificar 39 fácies que foram agrupadas em sucessões de fácies e 5 superfícies-chave correlacionáveis, possibilitando assim, a geração do arcabouço estratigráfico para esta região do *graben*.

Por fim, cabe ressaltar que o entendimento acerca destas ocorrências geológicas que vem avançando ao longo dos últimos 70 anos, ainda irá render muitas pesquisas e discussões dentro da comunidade científica, sempre visando a evolução do conhecimento e contribuindo para o entendimento da geologia do Rio Grande do Sul.

4.2. Análise estrutural

Muitos processos e estruturas tectônicas abrangem milhares ou milhões de anos, e a maioria das estruturas descreve apenas o produto final de longas histórias de deformação. Portanto, a análise estrutural tem por objetivo principal reconstituir a evolução tectônica de uma área, através do entendimento da história deformacional registrada nas rochas. Ela pode ser observada em diversas escalas, seja macro (sensoriamento remoto), meso (afloramento) ou até mesmo micro (petrografia) (Fig. 7).

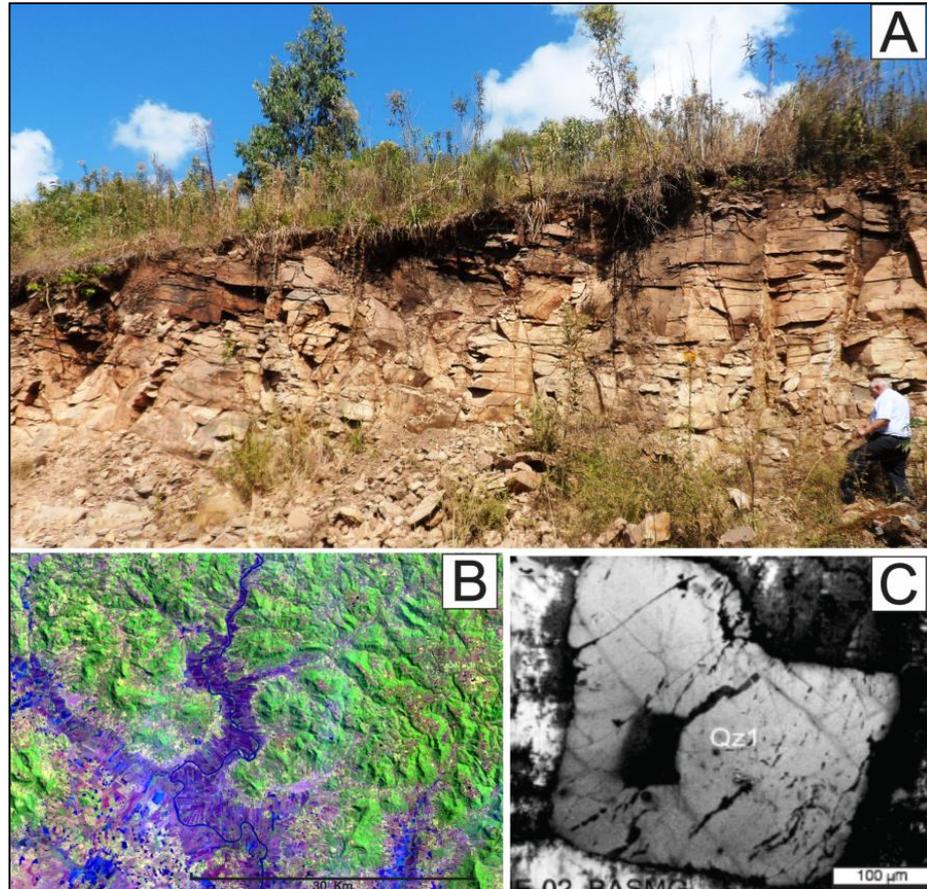


Figura 7 –Exemplos das diferentes escalas de análise tectônica.

- A) Afloramento (Ex: Fraturamento em rochas basálticas); B) Sensoriamento Remoto (Ex: Lineamentos em rochas da depressão central do estado do RS; C) Petrografia (Ex: Microfraturamento em grão de quartzo).

Independente da escala de análise, as estruturas a serem observadas são geradas por dois mecanismos de deformação principal: a deformação rúptil e a deformação dúctil (Fig. 8). Em linhas gerais, a deformação rúptil acontece quando há ruptura do material, sendo ultrapassado seu o limite de elasticidade (mais comum em porções rasas da crosta), gerando feições como falhas e fraturas. Já a deformação dúctil não implica em ruptura do material, e sim em um comportamento plástico (mais comum em porções profundas da crosta), gerando feições como bandamentos e dobras.

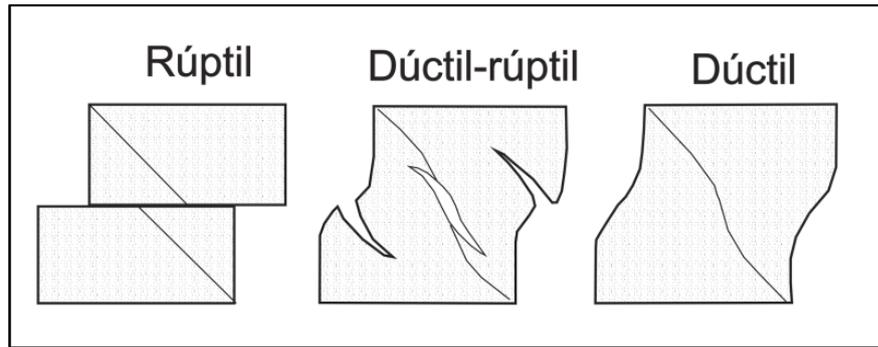


Figura 8 – Diferentes comportamentos apresentados por um bloco de rocha condicionado à deformação. Modificado de <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABLPwAA/fund-geologia-elementos-estruturais-das-rochas?part=2>.

As diversas respostas deformacionais dadas por um material dentro do campo da mecânica de rochas são intrínsecas às condições impostas pela tensão exercida sobre o mesmo (Fig. 9). Para isso, deve-se entender a diferença entre os dois conceitos, tão fundamentais na geologia estrutural.

De maneira resumida, a deformação é a variação na forma, posição e/ou orientação, produzida por forças externas e reconhecíveis por comparação aos estados e posições originais (indeformados). Já a tensão, que é dada sempre sobre uma superfície, consiste na força dividida pela área na qual ela é aplicada. Ela pode ser decomposta em uma componente normal e uma componente de cisalhamento.

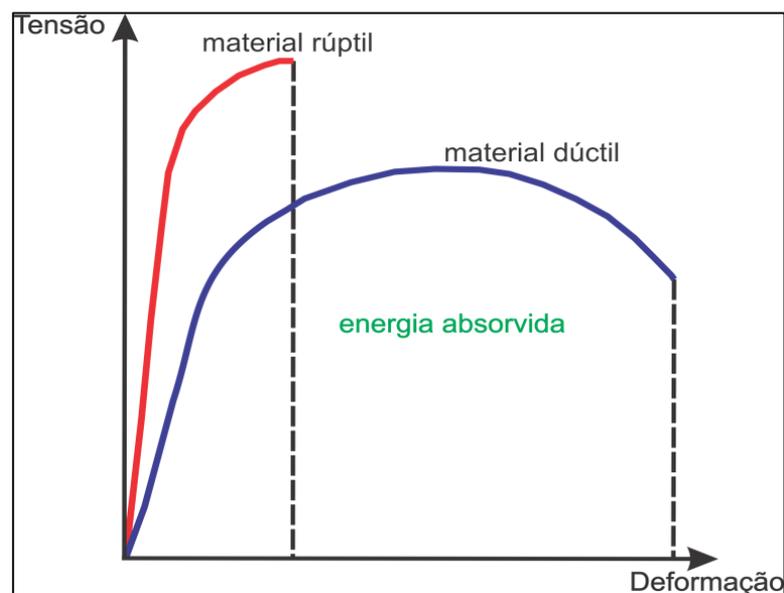


Figura 9 – Gráfico entre os mecanismos de deformação em relação à quantidade de tensão x deformação. Modificado de <https://www.studyblue.com/notes/n/materials-chapter-8/deck/4483094>.

Como o presente estudo busca interpretar a reativação de estruturas e a influência da tectônica rúptil, a seguir, serão discriminadas as principais

características desta deformação, bem como as principais feições geradas pela sua atuação.

4.3. Tectônica rúptil: Fraturas, juntas e falhas

Por definição, uma fratura é qualquer descontinuidade plana ou subplana, delgada em uma direção em comparação as duas, sendo formada por esforço externo (p. ex. tectônico) ou interno (térmico ou residual). As fraturas representam descontinuidades nas propriedades mecânicas e deslocamentos físicos nos locais onde as rochas são rompidas, e a redução ou a perda de coesão caracterizam a maioria das fraturas. Elas podem ser divididas em fraturas abertas ou extensionais (juntas, fissuras e veios) e em fraturas de cisalhamento (superfícies de deslizamento) (Fig. 10).

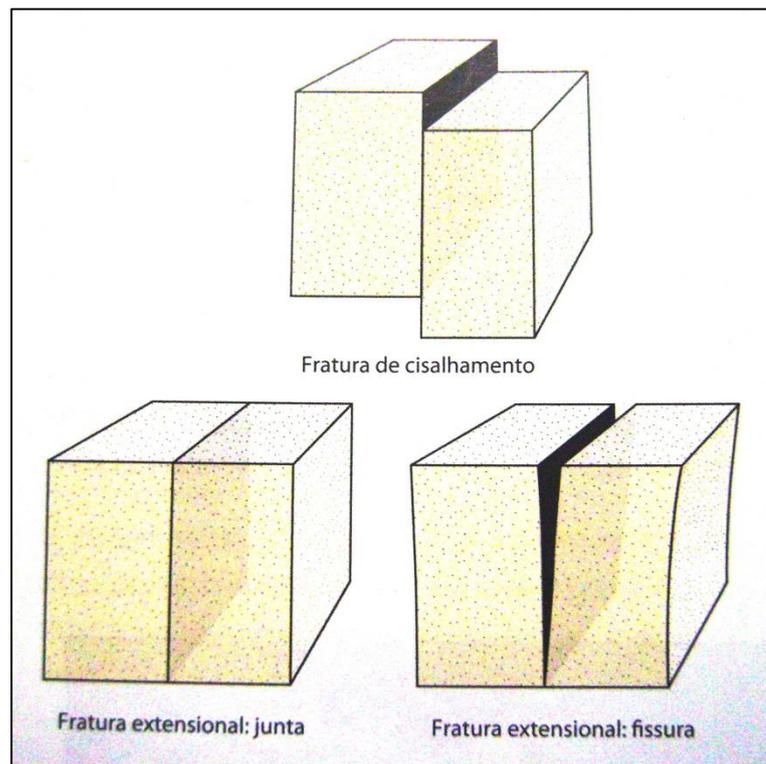


Figura 10 – Os três tipos de fraturamento. Extraído de Fossen (2012).

As fraturas abertas ou extensionais são aquelas que apresentam extensão perpendicular às paredes, Dentro deste contexto estão as juntas, que são fraturas extensionais que apresentam pouco ou nenhum deslocamento visível a olho nu.

As fraturas de cisalhamento (superfícies de deslizamento) são fraturas ao longo do qual há um movimento relativo, paralelo à fratura. O termo fratura de

cisalhamento é, em geral, usado para fraturas com deslocamento pequeno (escala de mm a dm), ao passo que o termo falha pode ser aplicado a descontinuidades com rejeito maior.

Enquanto que as fraturas e as juntas são estruturas relativamente simples, as falhas são muito mais complexas e podem acomodar grande quantidade de deformação na crosta superior. O termo falha é usado de diferentes modos, dependendo do contexto, entretanto, há uma tendência de restringir o uso do termo para estruturas que apresentem rejeitos de ordem superior a 1m.

As falhas não verticais separam o bloco superior, denominado capa ou teto, do bloco inferior, chamado de lapa ou muro (Fig. 11). Quando a capa é rebaixada em relação à lapa, há uma falha normal. No caso oposto, onde a capa é soerguida em relação à lapa, há uma falha reversa ou inversa. Se o movimento for lateral, ou seja, no sentido do plano horizontal, temos uma falha transcorrente. No entanto, cabe ressaltar que dentro do estudo em questão dominam a ocorrência de falhas normais, sendo as outras tipologias descritas apenas a caráter de complementação.

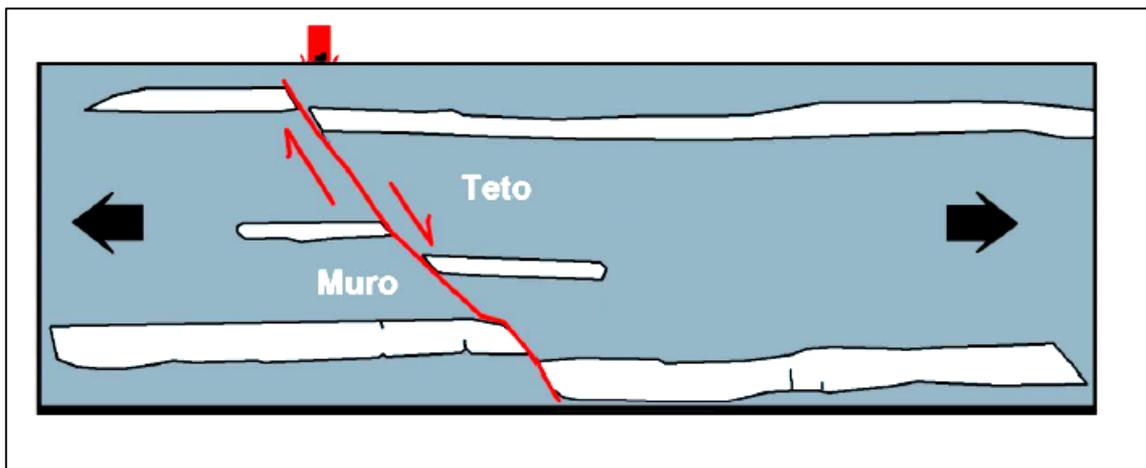


Figura 11 – Atributos de uma falha normal.

Ainda dentro do contexto de falhas normais são descritos os *grabens*, que consistem em duas falhas normais separadas que mergulham uma em direção à outra, criando um bloco rebaixado. Em contrapartida, as falhas normais com mergulho em direções opostas que criam um bloco soerguido são chamadas de *horsts*.

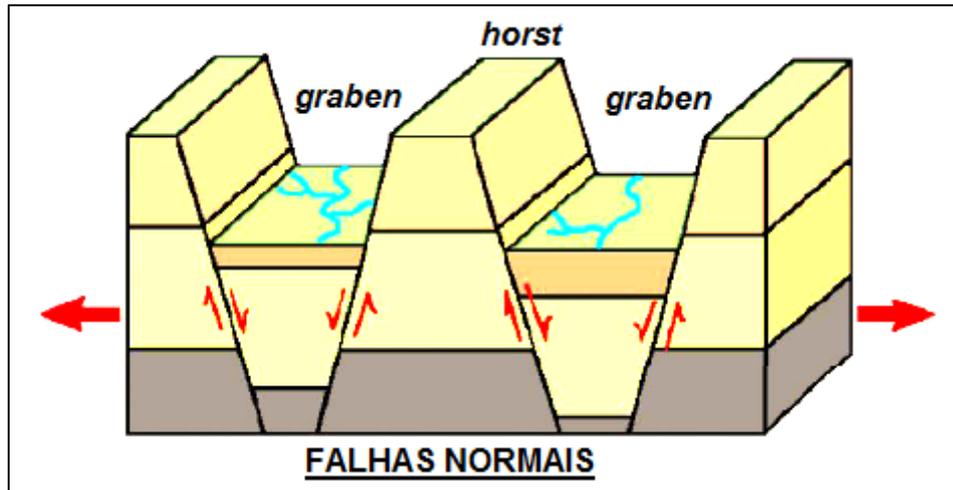


Figura 12 – Estruturas típicas geradas em ambientes controlados por falhas.

Em regiões com intensa atividade tectônica é comum a existência também de zonas de falha. Elas correspondem a uma série de falhas ou superfícies de deslizamento subparalelas, suficientemente próximas umas das outras para definir uma zona. A largura da zona depende da escala de observação.

Como aspecto final, deve-se destacar a geração de rochas através da atuação de deformação dúctil em zonas de falha. São descritas como brechas sedimentares ou brechas de falha, pois apresentam sedimentos arenosos mal-selecionados e grossos, unidos por cimentos que compõem a matriz.

4.4. Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu

O termo zona de cisalhamento é definido com uma zona de deformação tabular com predomínio de deformação dúctil, tipicamente dominada por cisalhamento simples (deformação plana e não-coaxial).

As zonas de cisalhamentos transcorrentes das porções internas do Cinturão Dom Feliciano, denominadas de “Cinturão Granítico Central e Falhas Transcorrentes”, no território do Uruguai, correspondem, no ESRG, ao originalmente denominado de “Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu”, por Picada (1971). Segundo o autor se tratava de uma zona de falhas profundas (abissais), de direção N35E e N75E, possuindo cerca de 10 km de largura e 150 km de extensão, ao longo do qual estão alinhados corpos graníticos e migmatíticos, recortados por brechas de milonitos e cataclasitos de grandes dimensões.

Essa zona de alta deformação foi interpretada inicialmente de duas formas, sendo descrita como uma sutura entre duas placas litosféricas (Issler, 1982; Figueiredo *et al.*, 1990; Fragoso-César *et al.*, 1990), e também, como uma zona de cisalhamento intraplaca relacionada a uma colisão oblíqua durante o Ciclo Brasileiro (Fragoso-César *et al.*, 1986).

Segundo Fernandes *et al.*, (1992), a fase de movimentação precoce da ZCTDC, é registrada por zonas de cisalhamento transcorrente de escala litosférica, que acomodaram a principal movimentação tectônica longitudinal do cinturão. A observação tanto das características microestruturais desenvolvidas, quanto a presença de granitóides sintectônicos à movimentação precoce dessas zonas de alta deformação permitem o reconhecimento de diversos episódios de reativação dessas estruturas. São reconhecidas também pelo autor inúmeras reativações sob condições de temperaturas baixas, formando rochas da série cataclástica, durante o final do Pré-Cambriano e Fanerozoico.

Além das falhas associadas à ZCTDC, também descrito como Lineamento Vigia-Roque (Picada, 1971), o ESRG apresenta outros 3 sistemas de falhas principais, segundo o autor, sendo elas o Lineamento Passo do Marinheiro (N-S), o Lineamento Açotéia-Piquiri (N30E) e o Lineamento Ibaré (N70W). Os dois primeiros sistemas são de falhas de rejeito direcional e o terceiro é relacionado a uma estrutura do tipo *graben* contendo rochas sedimentares eo-paleozoicas, através de reativações mais tardias.

4.5. Tectônica triássica

Através da implantação do arco magmático ensialico Choiyoi durante o Permiano, ocorreu um fenômeno de ampla escala no Gondwana sul-ocidental, que teve importante influência para que houvesse mudança no regime tectônico da região da Bacia do Paraná (Milani, 1997).

Com a obtenção de dados nos perfis de raios gama Milani (1997), observou uma rápida transgressão lacustre em resposta ao episódio de afundamento acelerado do substrato e o desenvolvimento de uma “bacia faminta”. Tal fato, associado com o padrão regional de paleocorrentes para norte nos estratos fluviais basais (Faccini, 1989), sugere o modelo de meio-*graben* com substrato caindo para norte, contra uma falha normal de rejeito acentuado.

O Triássico é considerado como uma época de distensão generalizada, sendo observada a história tectono-sedimentar da Argentina e da Bolívia, que registra o intenso desenvolvimento de bacias *rift* (do tipo *graben* e *meio-graben*), vinculadas a um mecanismo de subsidência controlado por falhas normais relacionadas às estruturas pré-existentes (López-Gamundí & Rosselo, 1993), tendo igual correspondência e ação na Bacia do Paraná, que caracteriza a subsidência meso-neotriássica que propiciou a sedimentação fluvio-lacustre da Formação Santa Maria, o clássico registro ladiniano-noriano da região central do Rio Grande do Sul (Milani *et al.*, 1998). No entanto, enquanto as bacias triássicas argentinas abrigam pacotes sedimentares com até 2000 metros de espessura, as que ocorrem nos *grabens* na Bacia do Paraná atingem poucas centenas de metros. Isso se deve ao fato de, no interior cratônico, a manifestação tectônica distensiva ter menor intensidade.

No entanto, o modelo de bacia *rift* apresentado para as Sequências Gondwana I e II, carece de elementos que a caracterizem (Milani, 1997). A ausência de uma cunha clástica (conglomerados), seja em poços ou em afloramentos, associados a uma falha de borda, bem como a ausência de falhas sin-deposicionais, de uma discordância angular entre a seção *rift* e *pré-rift* (unidades do Permiano) e ainda, a elevada largura da bacia (mais de 200 km) em relação aos modelos dos *riffts* do leste africano (geralmente, algumas dezenas de quilômetros, cf. Lambiase & Bosworth, 1992).

A partir dos problemas encontrados para a caracterização das ocorrências como controladas por *riffts*, são passíveis as discussões e sugestões de modelos de bacias alternativos para as Sequências Gondwana I e II.

4.6. Lineamentos

O termo “lineamento” foi introduzido por Hobbs (1904), através do reconhecimento da existência de feições geomorfológicas lineares, interpretadas como expressões superficiais de zonas de fraqueza ou deslocamento estrutural da crosta terrestre.

Segundo O’leary *et al.* (1976), lineamento é uma feição linear mapeável simples ou composta de uma superfície, que está alinhada em um segmento retilíneo ou suavemente curvilíneo, que difere distintamente dos padrões de outras porções adjacentes. Podem ser morfologicamente positivos ou negativos, refletindo as características geológicas e a resistência erosiva de uma determinada litologia.

Pode ser distinguível de modo fisiográfico (distinção morfológica por relevo) ou tonal (expressando contraste). As características fisiográficas consistem em relevos isolados ou contínuos, limites morfológicamente distintos, ou quebras de relevo em terrenos uniformes. As expressões tonais incluem descontinuidades, mudanças nas linhas de contorno (incluindo mudanças na vegetação), podendo estas variações serem deduzidas na superfície do solo ou até mesmo sobre uma imagem térmica

Os lineamentos podem apresentar e ser identificáveis em diferentes dimensões, sendo o comprimento real relativo à escala de observação, sendo assim, as características que constituem um lineamento em uma escala não pode constituir um em outra. São sugeridas como passíveis de serem mapeadas como um lineamento feições em escala a partir da ordem de 1:25 000.

São feições de grande importância em sensoriamento remoto (aplicáveis em imagens de satélite, fotografias aéreas, dados geofísicos, entre outros), pois refletem diferentes características estruturais e tectônicas de uma área, auxiliando em estudos hidrogeológicos, na prospecção de depósitos minerais e na exploração de hidrocarbonetos.

Quadro 1 – Classificação de lineamentos segundo o seu comprimento. Modificado de Nagal (2014).

Tipo de Lineamento	Dimensão
Microlineamentos	< 2 km
Lineamentos Menores	2 a 10 km
Lineamentos Médios	10 a 20 km
Lineamentos Maiores	> 20 km

4.7. Morfoestruturas e características do relevo

O reconhecimento e a interpretação das formas de relevo são baseados na interação dos processos que as formaram, sejam eles pela atuação das forças endógenas (processos tectônicos) e/ou exógenas (mecanismos climáticos).

Segundo Ab' Sáber (1969), o estudo da geomorfologia pode ser subdividido em três principais níveis de abordagem:

1- *Compartimentação morfológica*: concentra-se nas observações relativas aos diferentes níveis topográficos e características morfológicas intrínsecas aos terrenos analisados.

2- *Caracterização da estrutura superficial*: entendimento histórico da evolução do relevo, por exemplo, pela observação dos depósitos correlativos ou formações superficiais (tipo de material acumulado em correlação com determinada condição climática, ou seja, gerado por meio de processo morfogenético qualquer).

3- *Fisiologia da paisagem*: compreensão da ação dos processos morfodinâmicos atuais, mesmo com a ação antrópica direta ou indireta provocando ou atenuando desequilíbrios naturais.

A construção do relevo nas regiões do *Graben* Amaral Ferrador e *Graben* Arroio Moirão é controlada basicamente pela presença de falhas normais, onde são comuns os mecanismos de abatimento e erosão diferencial de blocos. O intenso falhamento resultante da reativação de estruturas do embasamento evolui de um escarpamento de falha para um escarpamento do tipo linha de falha, gerando escarpas desenvolvidas pela retomada da erosão ao longo de uma região de falha, ocorrendo maior desgaste e separação entre blocos com menor resistência, não sendo preservado o rejeito (Fig. 13).

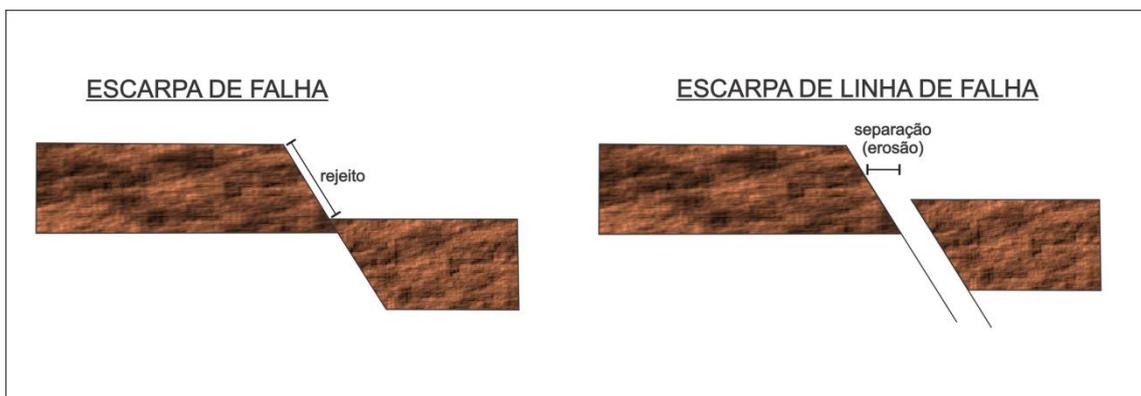


Figura 13 – Processo evolutivo e diferenças entre escarpas. Modificado de http://www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/geologia/geologia_geral/unid2_cap0.html.

O relevo gerado a partir de tais mecanismos é predominantemente o de *cuesta* e *mesa* (Fig. 14), que consistem em pacotes de rochas sedimentares fracamente basculados, ou seja, horizontais a sub-horizontais com mergulhos variando entre 1 e 10°.

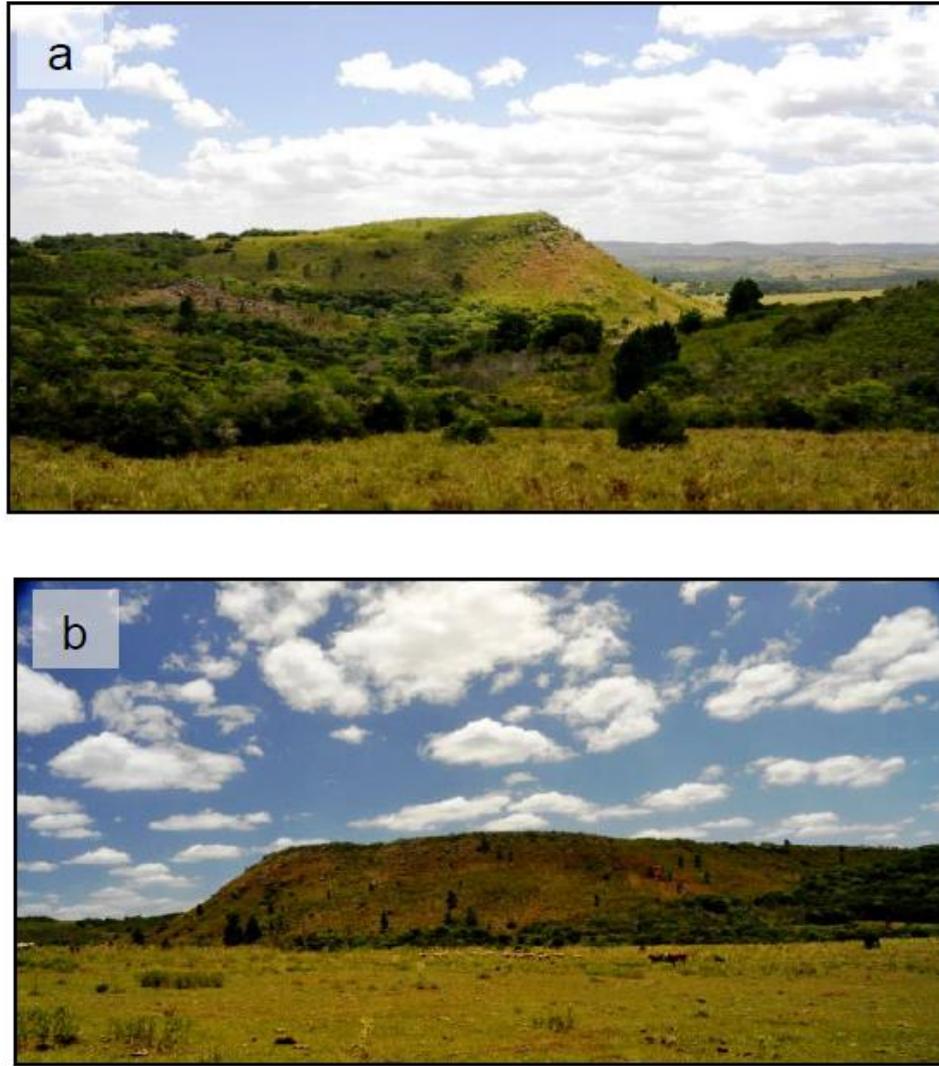


Figura 14 – Formas de relevo presentes na região do *Graben* Arroio Moirão. a) Relevo cuestasiforme; b) Relevo em mesa. Extraído de Lima (2014).

5. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho está dividida em quatro principais tópicos que incluem a REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, a etapa PRÉ-CAMPO, o CAMPO e a etapa PÓS-CAMPO, sendo que cada uma delas é descrita de maneira mais detalhada a seguir.

5.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada em todas as etapas do projeto e foi um dos grandes pilares do trabalho. Nela foram buscados os principais elementos

norteadores, tais como, artigos, mapas, livros, tabelas e modelos, que servirão de arcabouço para todo o desenvolvimento da investigação. Ainda dentro da revisão bibliográfica, foram usadas as informações disponíveis sobre poços pelo SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas).

5.1.2. SIAGAS

As águas subterrâneas compreendem cerca de 97% do reservatório de água doce do nosso planeta. Considerando seu caráter de reserva estratégica, seus aspectos qualitativos, ainda em grande parte não afetados pelas atividades antrópicas, o crescente percentual de abastecimento doméstico a partir de poços tubulares, a necessidade de identificar-se seus usuários, compreender sua dinâmica e gerenciar os seus usos, foram o combustível para a criação de um sistema que fosse capaz de armazenar e disponibilizar as informações a respeito dos recursos hídricos subterrâneos de maneira rápida e integrada.

Portanto, com o objetivo de subsidiar e apoiar a gestão dos recursos hídricos no Brasil e aglutinar os dados e informações de captações de águas subterrâneas dispersas em bancos regionais e particulares, foi desenvolvido no ano de 1995 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) o SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas.

O SIAGAS compreende um cadastro nacional de pontos d'água, desenvolvido para ser um sistema público e com acesso gratuito, que tem como finalidade reunir os dados e informações dispersas em bancos regionais e particulares, anteriormente de difícil acesso aos usuários.

A alimentação do banco de dados é realizada pelas 11 unidades regionais da CPRM e, no caso do Rio Grande do Sul, a Superintendência Regional de Porto Alegre - SUREG/PA é responsável pelas informações referentes aos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Atualmente, estão cadastrados cerca de 16000 poços distribuídos nos 497 municípios do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 15), sendo que na área de estudo que envolve os municípios de Encruzilhada do Sul, Santana da Boa Vista e Piratini estão presentes respectivamente 39, 12 e 19 poços. Porém, dentro das ocorrências das unidades gonduânicas isoladas sobre o ESRG (*Graben* Amaral Ferrador e *Graben* Arroio Moirão), estão locados apenas 12 poços (Fig. 16).

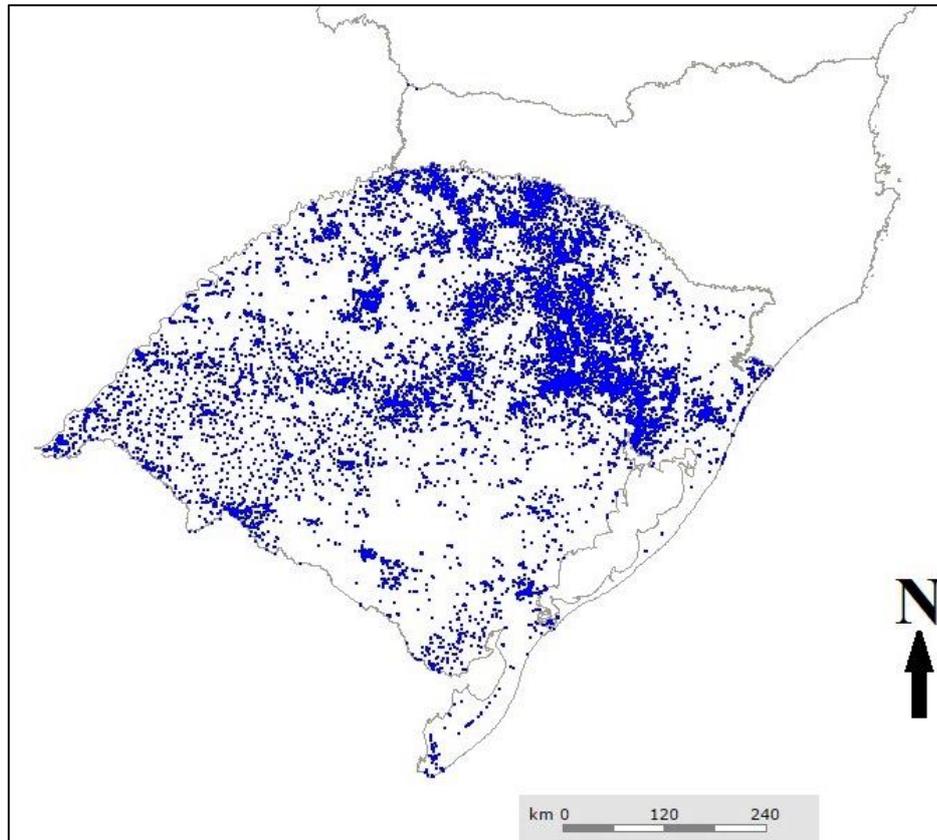


Figura 15 – Malha de poços no estado do Rio Grande do Sul, cadastrados no SIAGAS.
 Extraído de http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php

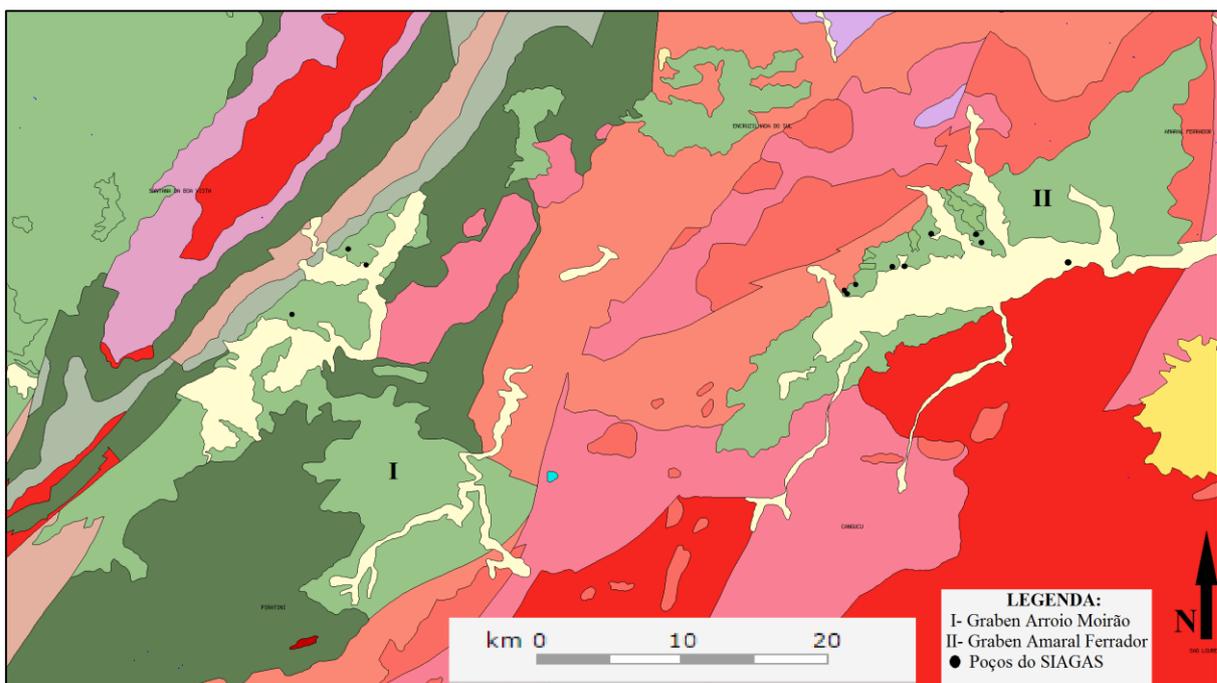


Figura 16 – Distribuição dos poços cadastrados no SIAGAS, dentro da área de interesse.
 Modificado de http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php

A utilização dos dados disponibilizados pelo SIAGAS teve como finalidade a investigação das características em subsuperfície dos depósitos, tais como profundidades alcançadas e litologias descritas. Estas informações possibilitaram a comparação das características observadas em afloramento com as descritas em poços.

5.2. PRÉ-CAMPO

Nesta etapa, o objetivo principal foi a análise em grande escala da área de estudo, visando à preparação para a etapa de campo, através do uso de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à interpretação geológica de fotografias aéreas e imagens de satélite.

Foram buscados os melhores afloramentos e os seus acessos, através de cartas topográficas do DSGE, mapas geológicos em diversas escalas, fotografias aéreas e ferramentas do *software Google Earth*. A integração dessas informações preliminares com as obtidas por análises de aerofotogrametria possibilitaram a confecção de mapas de localização e mapas lito-estruturais no *software Ilwis 3.0*.

5.2.1. Sensoriamento remoto

Para se entender o conceito de Sensoriamento Remoto, em um primeiro momento, deve se estabelecer a definição de REM (Radiação Eletromagnética). A radiação eletromagnética se propaga na forma de ondas eletromagnéticas (Fig. 17) à velocidade da luz (300.000 km/s) e não precisa de um meio para se propagar. Ela é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin), sendo assim, todo corpo com uma temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética. O Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre.

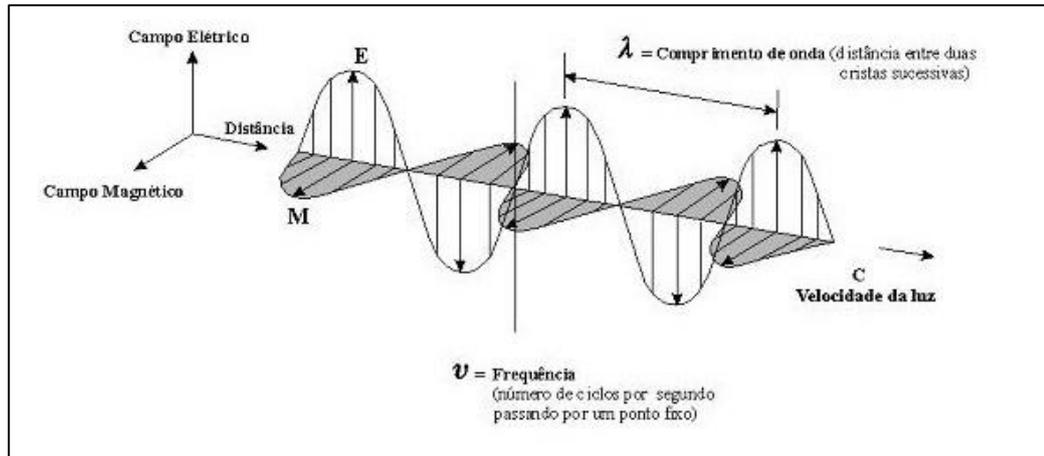


Figura 17 – Propriedades de uma onda eletromagnética. Extraído de <http://www.guia.heu.nom.br/images/ondaEletroMagnetica.jpg>.

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função do seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Ele apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda (Fig. 18).

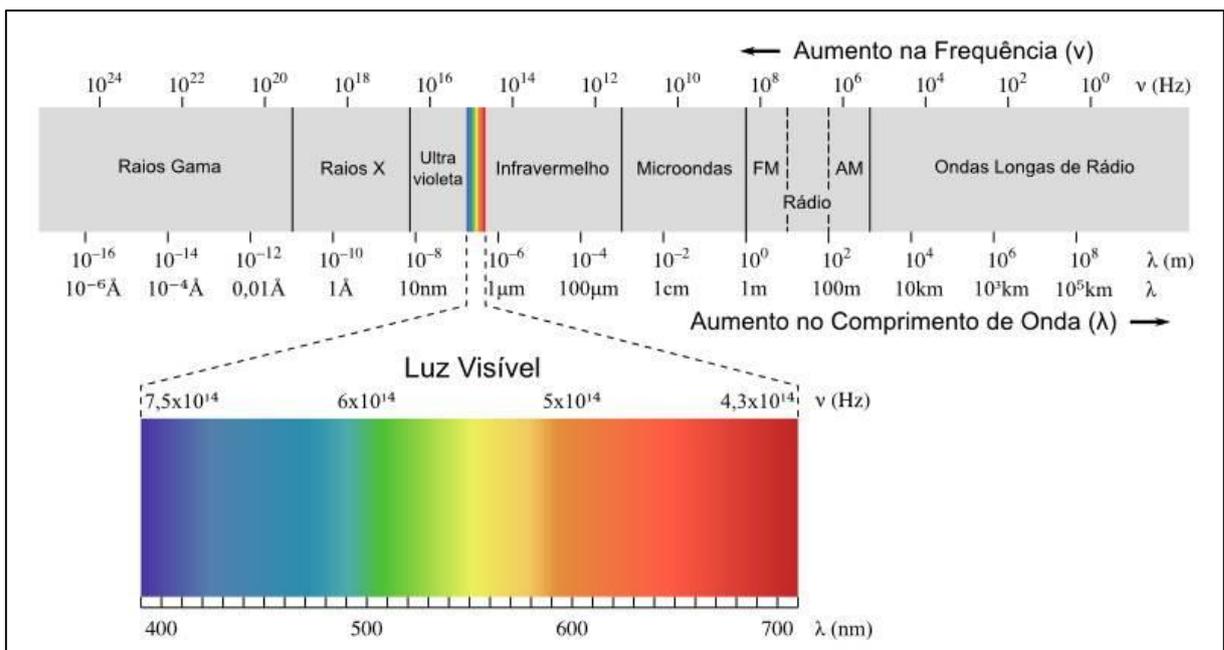


Figura 18 - Espectro eletromagnético com destaque para a região do visível. Extraído de http://luztecnologiaearte.weebly.com/uploads/1/3/5/6/13567015/8309513_orig.jpg?1.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos.

Devido as suas diferentes propriedades físicas e composições químicas, a variedade de materiais na superfície da Terra emite, reflete ou absorve a radiação eletromagnética em diferentes formas (Fig. 19). Sensores são, então, capazes de registrar o comportamento destes diferentes materiais quando ocorre interação com o fenômeno físico ao longo do espectro eletromagnético, e estabelecer a relação existente entre eles, o qual pode ser entendido e interpretado através das técnicas de processamento de imagens.

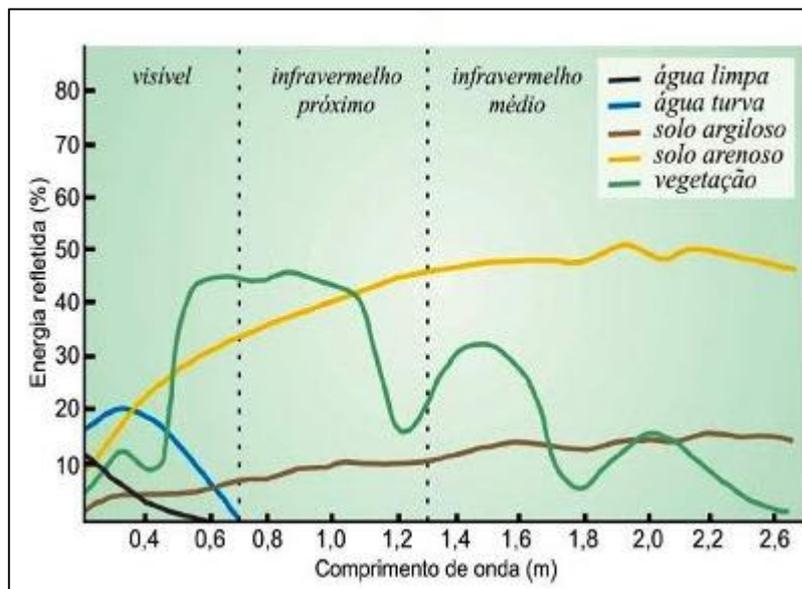


Figura 19 – Curva de comportamento espectral de alguns alvos na superfície terrestre e suas respectivas variações para diferentes comprimentos de onda. Extraído de <http://mundogeo.com/blog/2004/08/23/sensoriamento-remoto-hiperespectral/>.

5.2.2. Fotografias aéreas

O sistema fotográfico, que foi o primeiro imageador da superfície terrestre, utiliza como equipamento a câmera fotográfica. Os filmes são caracterizados através de sua sensibilidade e resolução e exercem o papel de detector neste sistema, possuindo sensibilidade espectral nas regiões do visível e infravermelho próximo (0,36 a 0,90 μm). Para as fotos em questão, foram usados filmes pancromáticos (preto e branco). Este método se baseia na interpretação indireta de formas de relevo, drenagem, vegetação, litologia, estruturas geológicas e estruturas antrópica

5.2.3. Imagens de satélite

As imagens adquiridas pelo satélite *LANDSAT 7* (Tab. 1) fazem parte do programa estabelecido pela *NASA*, visando não só o desenvolvimento das tecnologias espaciais, mas, sobretudo, informação multiespectral periódica da superfície terrestre. O imageamento é realizado através de um simples espelho oscilante, que varre perpendicularmente a direção de deslocamento do satélite.

Tabela 1 – Características do Satélite *LANDSAT 7*. Adaptado de Arcanjo (2011).

CARACTERÍSTICAS	<i>LANDSAT 7</i>
Lançamento	1999
Situação Atual	Inativo (2003)
Altitude	705 km
Inclinação	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	98,9 min
Horário de Passagem	10h00min
Período de Revisita	16 dias
Instrumentos sensores	ETM+

Quando a energia refletida ou emitida pela superfície atinge os detectores, estes produzem um sinal elétrico (analógico), que posteriormente é enviado para um sistema multiplex (sistema de transmissão simultânea de sinais), que é responsável pela emissão dos dados digitais para as estações terrestres.

Através do uso de imagens de satélite foram observados os lineamentos em grande escala, que levaram ao reconhecimento das características estruturais do terreno e que representam importantes elementos para reconhecimento do contexto tectônico da área de estudo (Fig. 21).

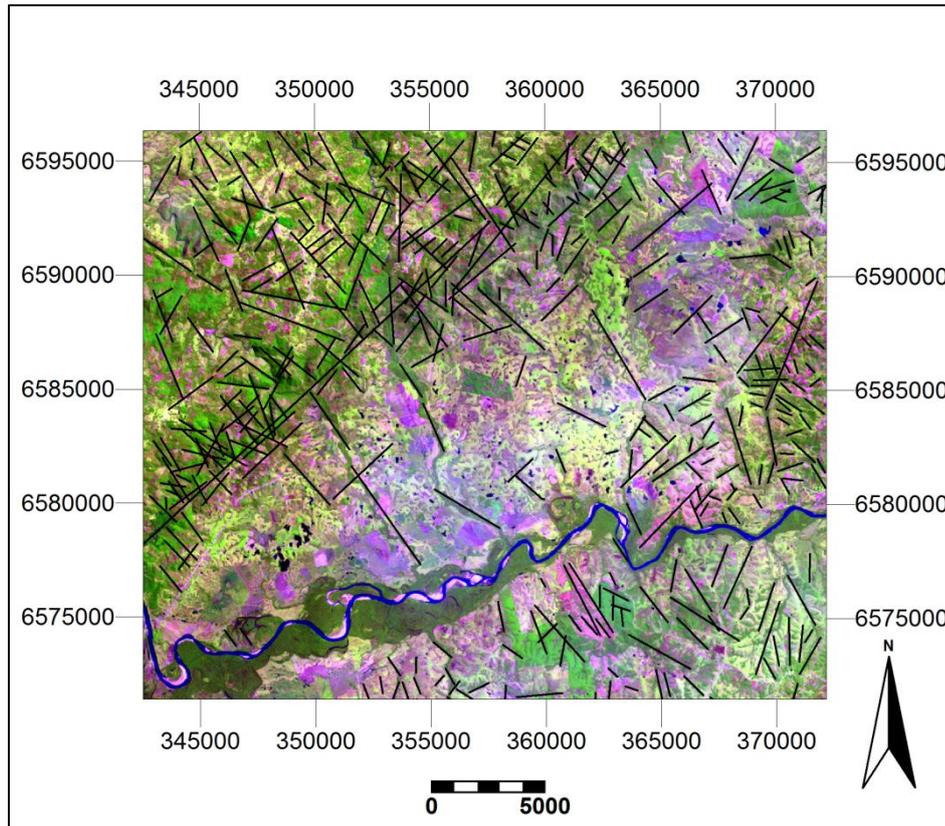


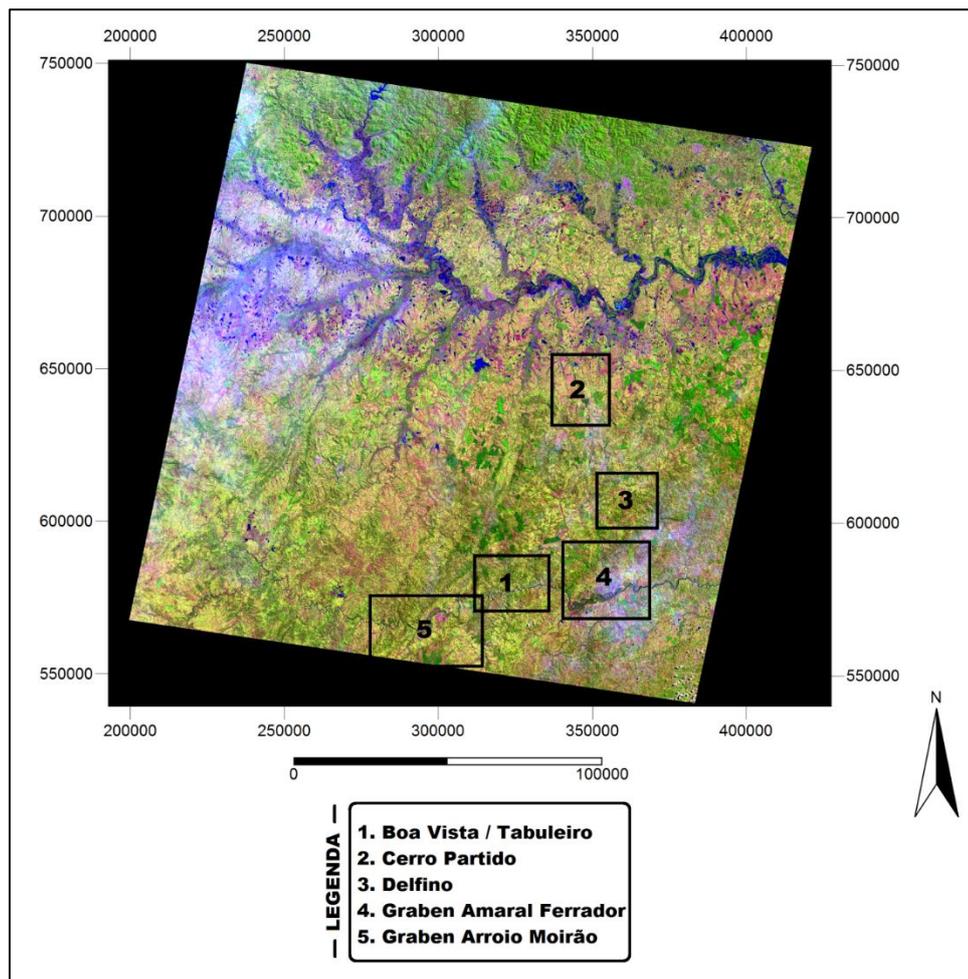
Figura 21 – Interpretação de lineamentos da ocorrência do *Graben Amaral Ferrador*.

Para a interpretação estrutural de imagens de satélite, foi utilizada a imagem 222-81, obtida pelo satélite *LANDSAT 7* e adquirida no site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, que acaba por cobrir toda a área de interesse. O tratamento da imagem foi realizado no *software ENVI 4.5*, onde foi feita a composição colorida com a escolha das bandas 5,4,1 (R,G,B) (Tab. 2) e foram selecionados cinco recortes da imagem que incluem as seis principais ocorrências das unidades gonduânicas sobre o ESRG (Fig. 22). Por fim, as rotinas de identificação de lineamentos e de georreferenciamento foram realizados através do *software Ilwis 3.0*.

Tabela 2 – Bandas espectrais do *LANDSAT (TM)*. Extraído de Arcanjo (2011).

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL (μm)		NÍVEL DE *4 QUANTIZAÇÃO
1	VISÍVEL	0,45 a 0,52 azul	256
2		0,52 a 0,60 verde	256
3		0,60 a 0,69 vermelho	256
4	*1	0,76 a 0,90	256
5		1,55 a 1,75	256
6	*2	10,4 a 12,5	256
7	*3	2,08 a 2,35	256

*1= Infravermelho Próximo *2= Infravermelho Termal
*3= Infravermelho Médio *4= Quantidade de tons de cinza

Figura 22 – Disposição das áreas seleccionadas na imagem 222-81 do *LANDSAT 7*.

5.3. CAMPO

Por definição, o trabalho de campo tradicional envolve o uso de ferramentas simples, como martelo, trena, mapas topográficos, lupa e bússola, e os dados coletados são principalmente atitudes de estruturas e amostras para estudos de seção delgada. Esse tipo de coleta de dado ainda é fundamental e conta com o auxílio de sistemas de posicionamento global (GPS), aerofotografias e imagens de satélite.

A etapa de campo do presente estudo consistiu basicamente na coleta de dados litológicos e estruturais da área, sendo realizado o mapeamento geológico básico de unidades e a análise estrutural rúptil. Para tanto, foram realizados quatro dias de trabalho nos arredores dos municípios de Encruzilhada do Sul e Santana da Boa Vista, através de afloramentos ao longo das estradas BR-471 e BR-392, que estão associados às ocorrências do *Graben Amaral Ferrador* (PTMA) e *Graben Arroio Moirão* (PTMM) (Tab. 3). Além de medidas de planos em estruturas rúpteis, foram descritas as principais unidades aflorantes e coletadas amostras para laminação.

Tabela 3 – Compilação dos dados de campo.

PONTO	UTM (E)	UTM (S)	COTA	UNIDADE	AMOSTRA	MEDIDAS ESTRUTURAIS
PTMA-01	0348518	6582260	117m	Fm. Sanga do Cabral	PTMA-01 (A) PTMA-01 (B)	
PTMA-02	0342233	6575331	65m	Terraço Quaternário	PTMA-02 (A)	
PTMA-03	0338901	6569075	88m	Terraço Quaternário.	PTMA-03 (A)	
PTMA-04	0335553	6564331	110m	Fm. Sanga do Cabral	PTMA-04 (A)	
PTMA-05	0333603	6561340	175m	Fm. Sanga do Cabral		
PTMA-06	0330635	6559998	214m	Granito Cerro Grande	PTMA-06 (A)	
PTMA-07	0334447	6563925	128m	Granito Cerro Grande		
PTMA-08	0345770	6579823	99m	Fm. Rio do Rasto		
PTMA-09	0349207	6583392	98m	Fm. Sanga do Cabral		
PTMA-10	0349319	6583719	95m	Fm. Sanga do Cabral	PTMA-10 (A)	Planos de fratura
PTMA-11	0349617	6586205	89m	Granito Serra do Herval		
PTMM-01	0319117	6554940	191m	Granito Serra do Herval		
PTMM-02	0316899	6556123	139m	Fm. Sanga do Cabral		Acamamento
PTMM-03	0313040	6557514	140m	Fm. Santa Maria		Planos de fratura
PTMM-04	0302891	6574436	133m	Fm. Passo das Carretas		

PTMM-05	0301179	6574625	147m	Fm. Passo das Carretas	PTMM-05 (A)	
PTMM-06	0302427	6574561	140m	Fm. Passo das Carretas	PTMM-06 (A)	
PTMM-07	0304834	6571794	113m	Fm. Sanga do Cabral		Acamamento
PTMM-08	0303450	6569141	103m	Fm. Sanga do Cabral		
PTMM-09	0305334	6565632	139m	Fm. Sanga do Cabral		
PTMM-10	0310532	6559748	201m	Fm. Santa Maria		
PTMM-11	0310894	6559464	214m	Fm. Santa Maria		Planos de fratura
PTMM-12	0312958	6557604	139m	Fm. Santa Maria		Planos de fratura
PTMM-13	0301146	6573089	130m	Fm. Passo das Carretas		
PTMM-14	0301323	6572863	119m	Fm. Passo das Carretas	PTMM-14 (A) PTMM-14 (B)	
PTMM-15	0304347	6574841	134m	Fm. Santa Maria		Acamamento
PTMM-16	0308504	6563396	144m	Fm. Santa Maria		Planos de fratura
PTMM-17	0314965	6552067	161m	Granito Cordilheira		
PTMM-18	0313932	6556575	134m	Suite Piratini Fonolito	PTMM- 18 (A)	
PTMM-19	0298917	6574343	149m	Fm Passo das Carretas		

5.4. PÓS-CAMPO

O objetivo geral desta etapa foi a integração e compilação dos dados obtidos nas etapas anteriores, bem como a realização das descrições das lâminas petrográficas feitas a partir das amostras coletadas.

5.4.1. Petrografia Qualitativa

O microscópio óptico é um instrumento muito utilizado para examinar minerais variados à luz polarizada (Kerr, 1977). Esta técnica promove a identificação de minerais, bem como, estruturas, texturas e relações entre os grãos. Tais atributos foram observados e analisados por meio de lâminas petrográficas inseridas no microscópio óptico. Apesar de ser muito eficaz e relativamente baixo custo, tem suas limitações quanto ao tamanho de grão (não permite observação de grãos muito finos, por exemplo, grãos tamanho argila).

No presente estudo, foram confeccionadas 3 lâminas petrográficas de rochas pertencentes às ocorrências gonduânicas sobre o ESRG, aflorantes nas regiões visitadas na etapa de campo (*Graben Amaral Ferrador* e *Graben Arroio Moirão*). Elas correspondem aos pontos PTMA- 10, PTMM- 05 e PTMM- 18, que são pertencentes à Formação Sanga do Cabral, Formação Passo das Carretas e Suíte Piratini, respectivamente.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. SIAGAS: Dados de poços

Os dados de subsuperfície disponibilizados pelo SIAGAS estão incompletos e apresentam escassez de informações para a área de estudo. Dentre os 12 poços cadastrados, apenas 1 apresenta perfil construtivo e profundidade considerável, sendo ele o poço JR517 de nº 4300020962, perfurado na localidade de Passo da Carretas, no município de Santana da Boa Vista, dentro da ocorrência do *Graben Arroio Moirão* (Fig. 23),

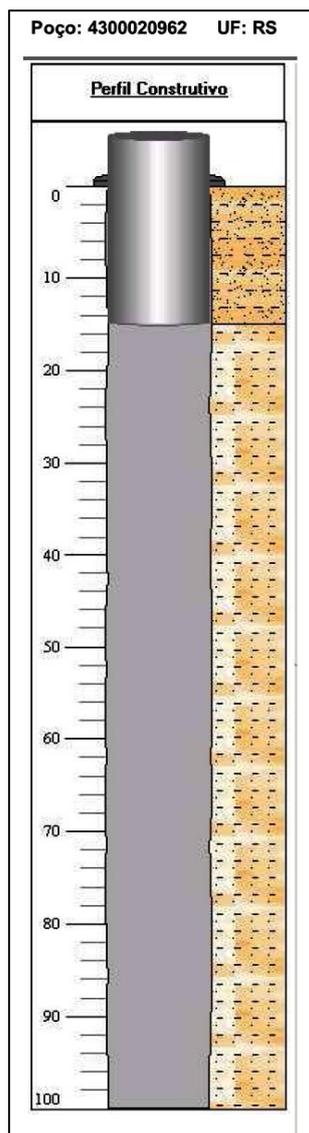


Figura 23 – Poço tubular locado na região do *Graben Arroio Moirão*, disponível na base de dados do SIAGAS. Extraído de <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020962>.

O poço tem 100 m de profundidade, sendo os 15 m iniciais descritos como um solo argiloso/arenoso e os 85 m restantes como pertencentes à Formação Sanga do Cabral, não chegando a atingir o embasamento, o que acaba tornando o dado incompleto para a finalidade desejada. Pode-se concluir então, que a espessura das unidades gonduânicas ultrapassa de fato, uma centena de metros.

Apesar de os dados disponíveis pelo SIAGAS serem públicos e de fácil acesso, ainda não existe um padrão para a inclusão deles no sistema, sendo estes na maioria dos casos oriundos de poços construídos de maneira inadequada, não obedecendo a normas. Portanto, para o presente estudo, não

foram satisfatórias os resultados encontrados, visto a escassa quantidade de dados geológicos descritos nos poços da área.

6.2. Mapas de lineamentos das principais ocorrências

A realização da interpretação geológica dos recortes da imagem 222-81 do satélite *LANDSAT 7* (Fig. 22), que envolvem as principais ocorrências das unidades gonduânicas sobre o ESRG, através do *software Ilwis 3.0*, resultou na confecção de 5 mapas lito-estruturais e seus diagramas de roseta respectivos. Além de apresentarem as relações entre direções e comprimentos acumulados, os diagramas de roseta, envolvem relações entre as direções e o número total de linhas. Como critério de classificação de comprimento e tipos de lineamentos, foi utilizada a apresentada por Nagal (2014).

Os mapas confeccionados são referentes às ocorrências Boa Vista / Tabuleiro, Cerro Partido, Delfino, *Graben* Amaral Ferrador e *Graben* Arroio Moirão e, tendo como base de dados o mapa geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000 (CPRM, 2006). Cabe ressaltar que a união das ocorrências Boa Vista e Tabuleiro, reconhecida de maneira separada por Ketzer (1997), é apenas motivada pelo fato delas estarem muito próximas espacialmente, dificultando a seleção individual de cada ocorrência.

6.2.2. Mapa de lineamentos: Boa Vista / Tabuleiro

Foi identificado o total de 546 lineamentos, sendo eles de direções dominantes N25W / N45W e, subordinadamente, N45E / N75E. O padrão NW apresenta predominantemente microlineamentos (<2 km), com lineamentos menores (<10 km) subordinados. O padrão NE é similar ao NW em termos de extensão de lineamentos, porém, é observado um único lineamento maior (>10 km), sendo este com direção N40E (Fig. 24). Apesar de apresentarem o mesmo padrão de direções para ambas as litologias, a densidade de lineamentos é muito superior nas rochas do embasamento (n= 488), em relação às rochas sedimentares (n= 58) (Fig. 25).

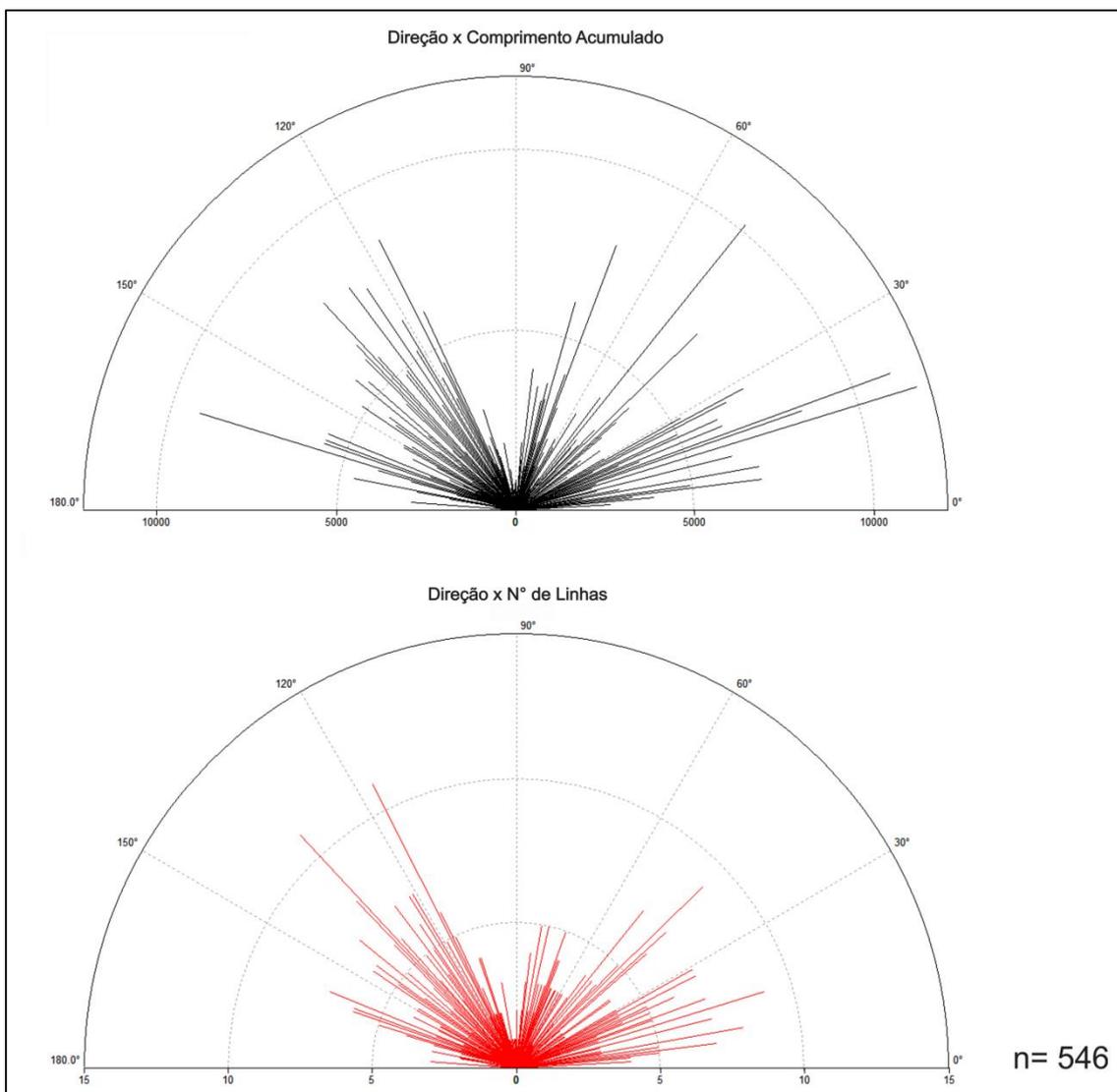


Figura 24 – Diagramas de roseta das ocorrências Boa Vista / Tabuleiro.

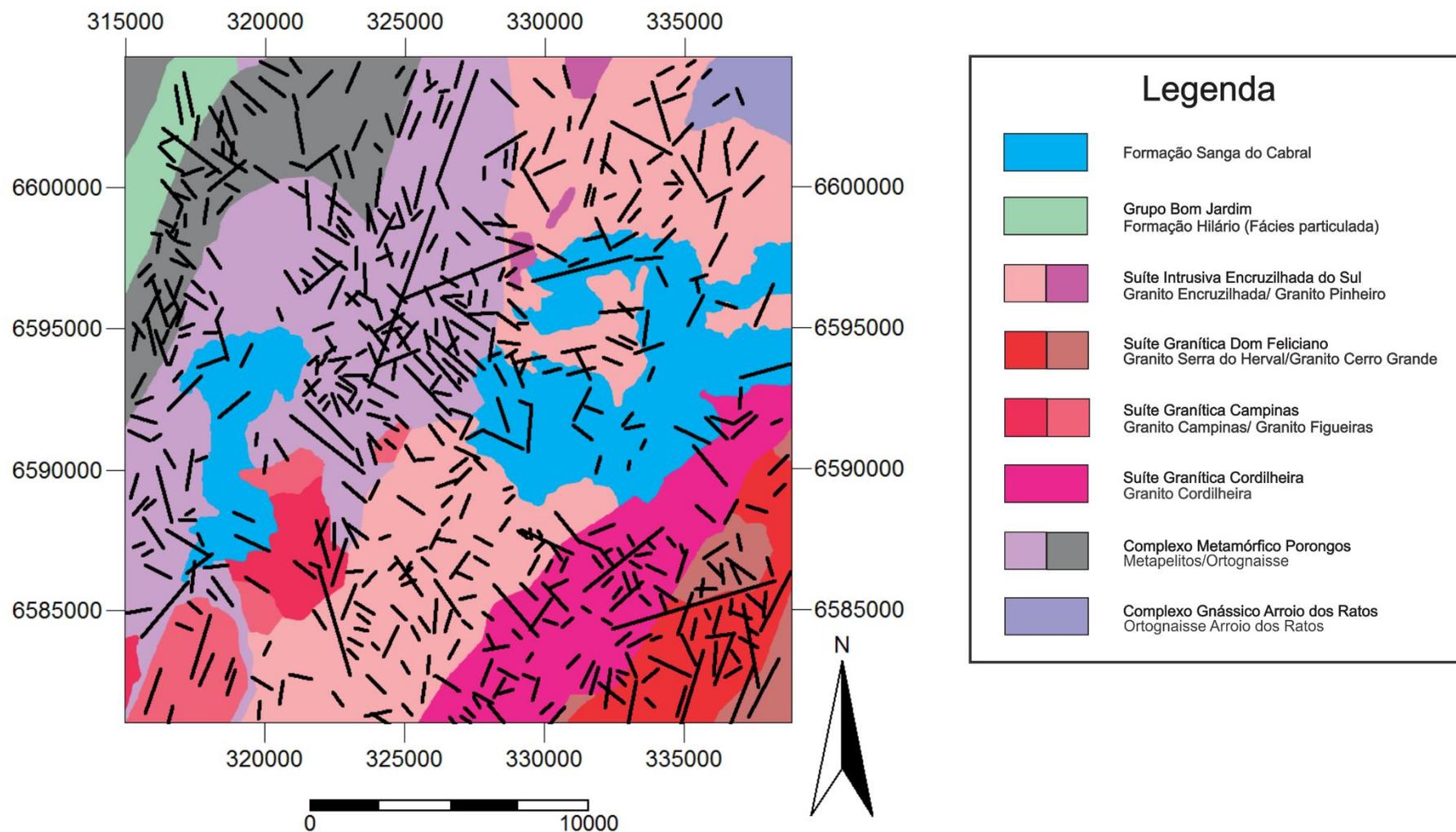


Figura 25 – Mapa de lineamentos: Boa Vista / Tabuleiro.

6.2.3. Mapa de lineamentos: Cerro Partido

Foi identificado o total de 393 lineamentos, sendo eles de direções predominantes N, e subordinadamente, segmentos NW que variam entre N35W / N85W e segmentos NE que variam entre N30E / N70E. O padrão N apresenta apenas microlineamentos (<2 km), e nos demais padrões (NW e NE) dominam os lineamentos menores (<10 km) que possuem em média entre 1 e 4 km, não superando os 7 km de extensão (Fig. 26). Apresentam o mesmo padrão de direções em todas as litologias, porém, a densidade de lineamentos nas rochas sedimentares (n= 102) é cerca de 3 vezes menor que nas rochas do embasamento (n= 291) (Fig. 27).

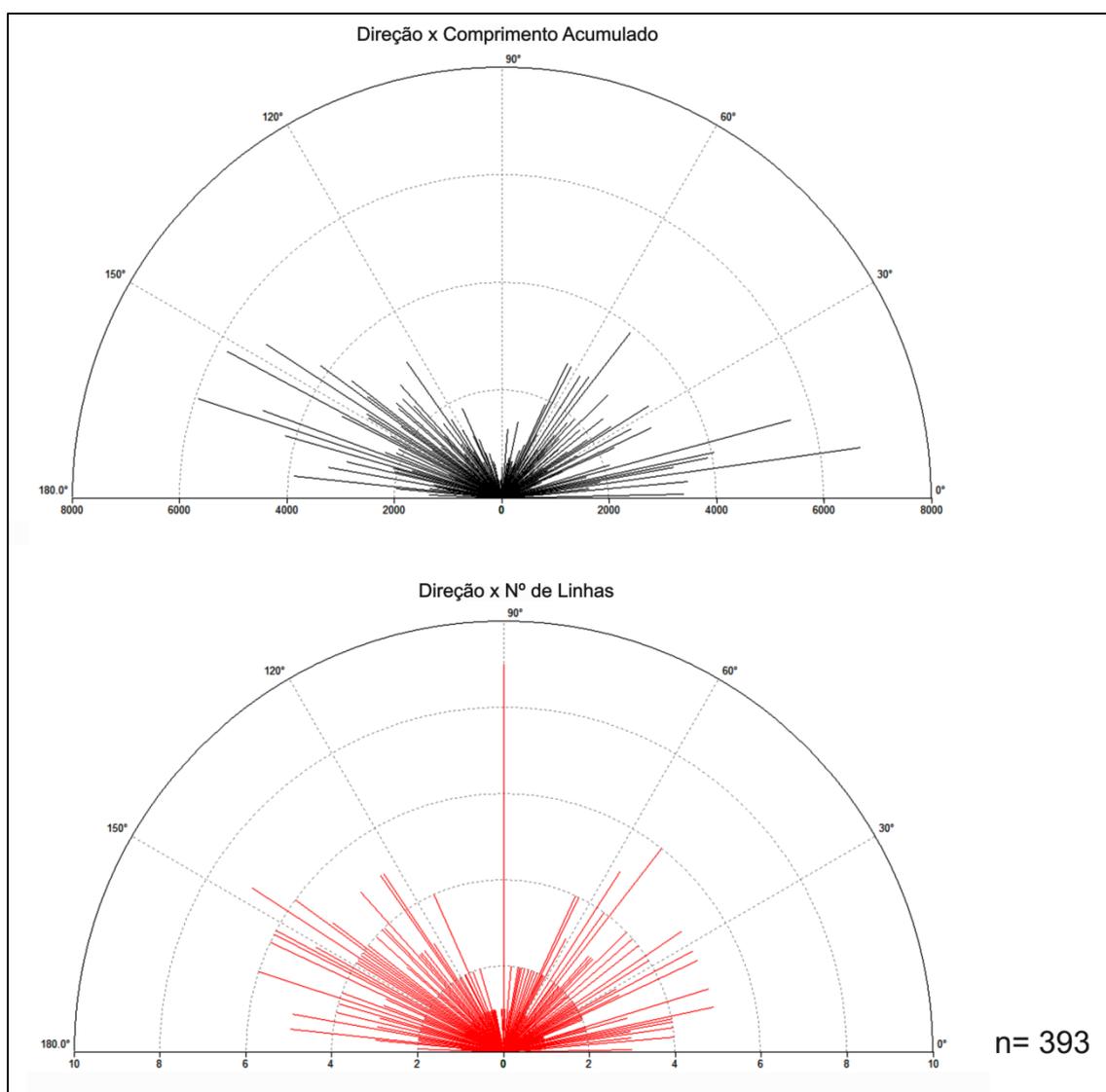


Figura 26 – Diagramas de roseta da ocorrência Cerro Partido.

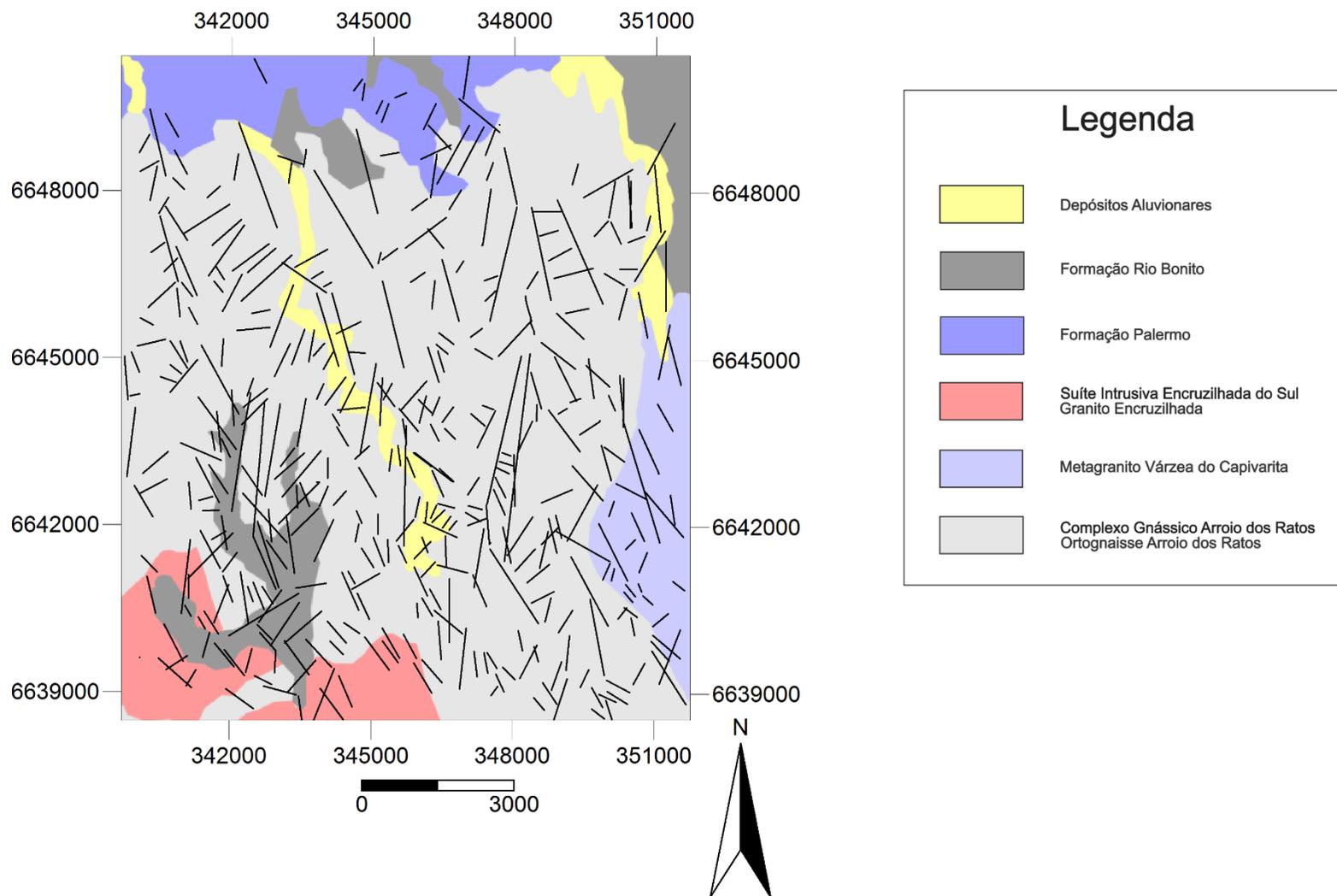


Figura 27 – Mapa de lineamentos: Cerro Partido.

6.2.4. Mapa de lineamentos: Delfino

Foi identificado o total de 271 lineamentos, sendo eles de direções predominantes NW e NE, e subordinadamente N. Os segmentos NW possuem direções que variam entre N40W / N65W. Já os segmentos NE variam entre N30E / N70E. Em termos de comprimento ambos os padrões apresentam os microlineamentos (<2 km), que dividem espaço com os lineamentos menores (<10 km), sendo predominantes as faixas entre 1,5 a 4 km. É observado um único lineamento no padrão NE que difere dos demais, sendo que este possui comprimento de aproximadamente 8 km e com direção N50E (Fig. 28). Apesar de apresentar o mesmo padrão de direções para ambas as litologias, a densidade de lineamentos é muito superior nas rochas do embasamento (n= 220), em relação às rochas sedimentares (n= 51) (Fig. 29).

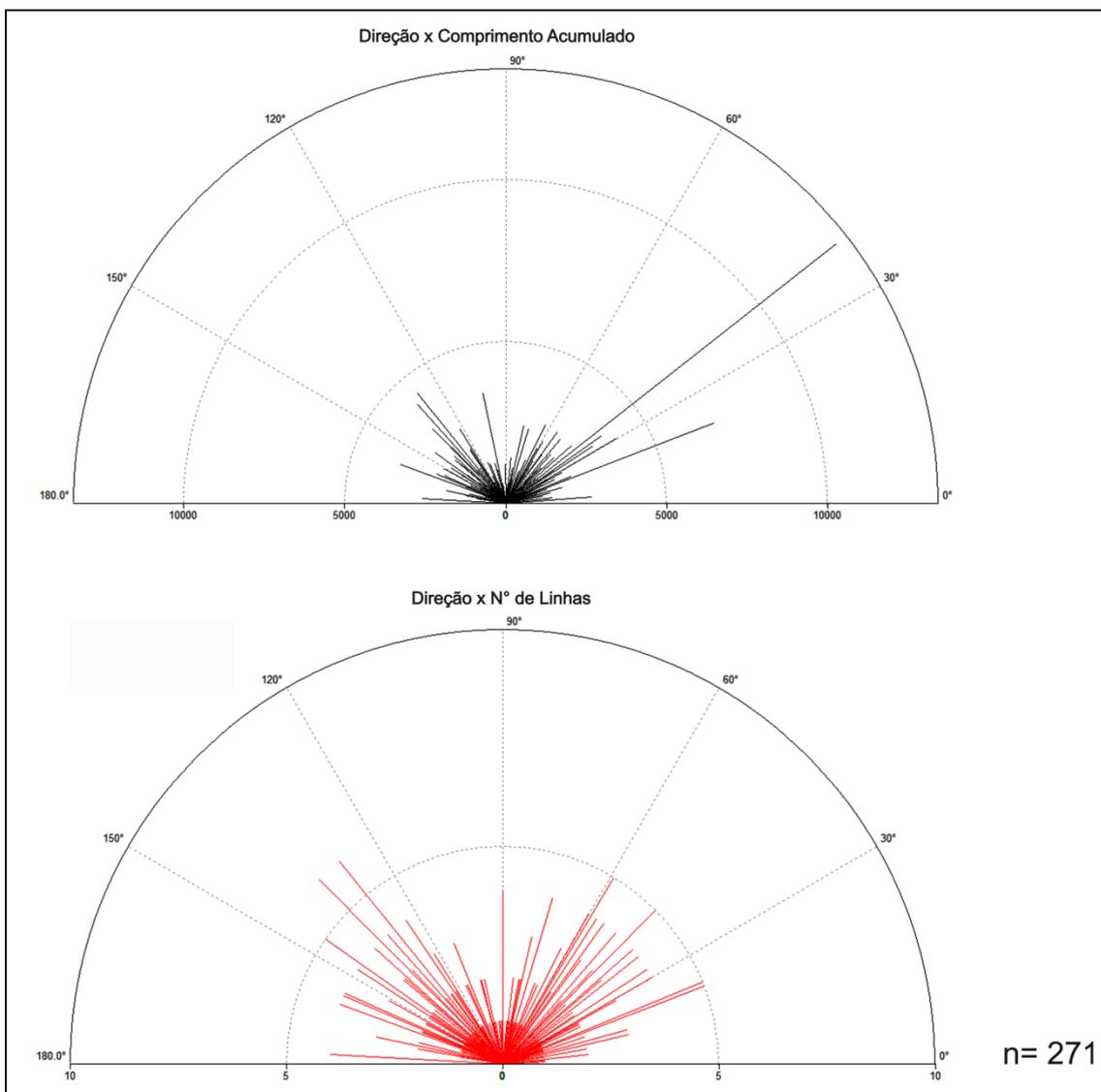


Figura 28 – Diagramas de roseta da ocorrência Delfino.

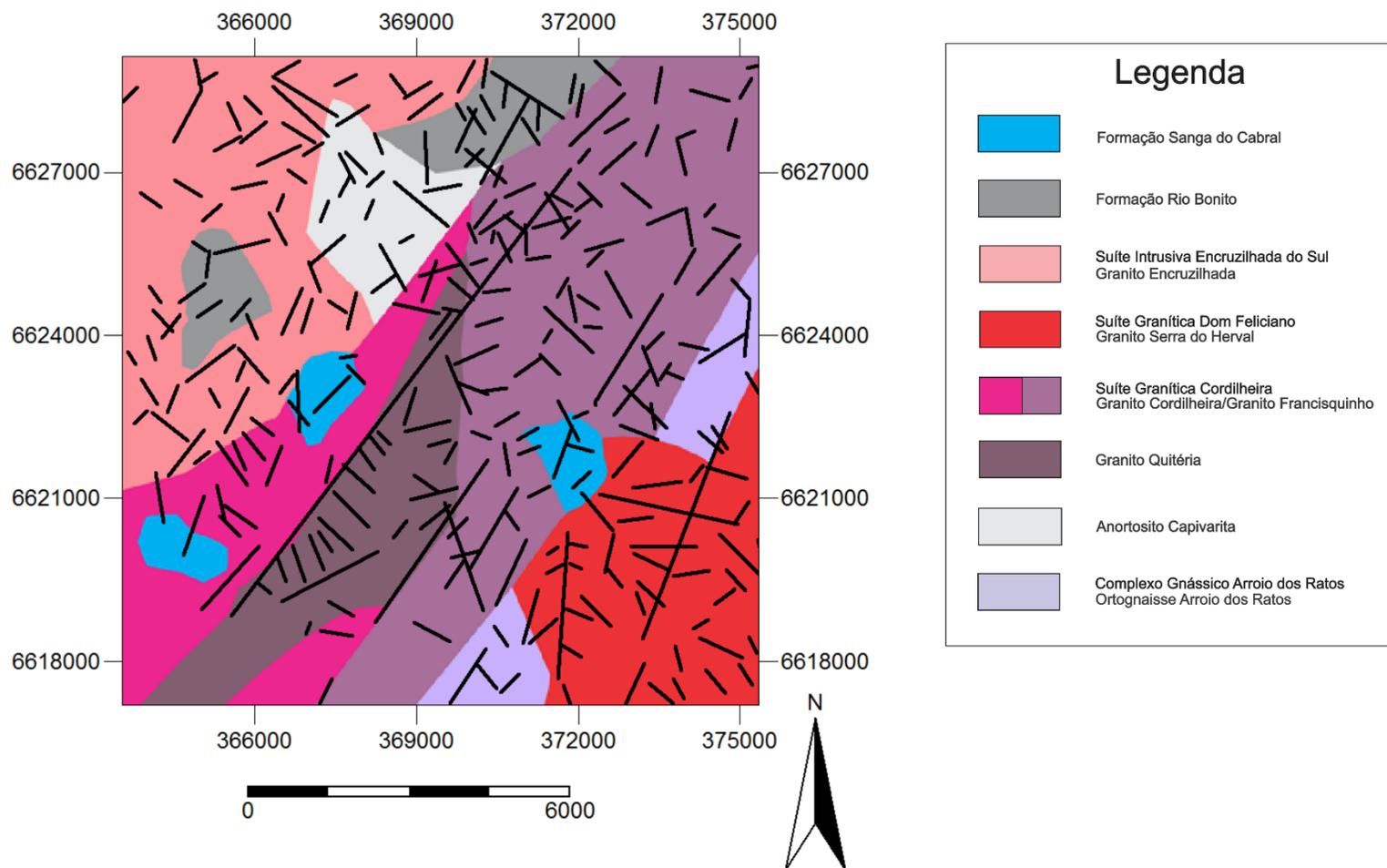


Figura 29 – Mapa de lineamentos: Delfino.

6.2.5. Mapa de lineamentos: *Graben* Amaral Ferrador

Foi identificado o total de 499 lineamentos, sendo eles de direções predominantes NW, variando entre N45W / N70W e, subordinadamente, NE que varia entre N35E / N85E. Em relação ao comprimento, ambos os padrões apresentam predominância de lineamentos menores (<10 km), com variações entre 3 e 7 km em média. O padrão NE apresenta um único lineamento maior (>10 km), com direção N40E e comprimento de aproximadamente 20 km (Fig. 30). Seguindo o que já foi observado nos mapas anteriores, o padrão de direções é igual para ambas as litologias e a densidade de lineamentos é muito inferior nas rochas sedimentares (n= 116), quando comparadas com as rochas do embasamento (n= 383) (Fig. 31).

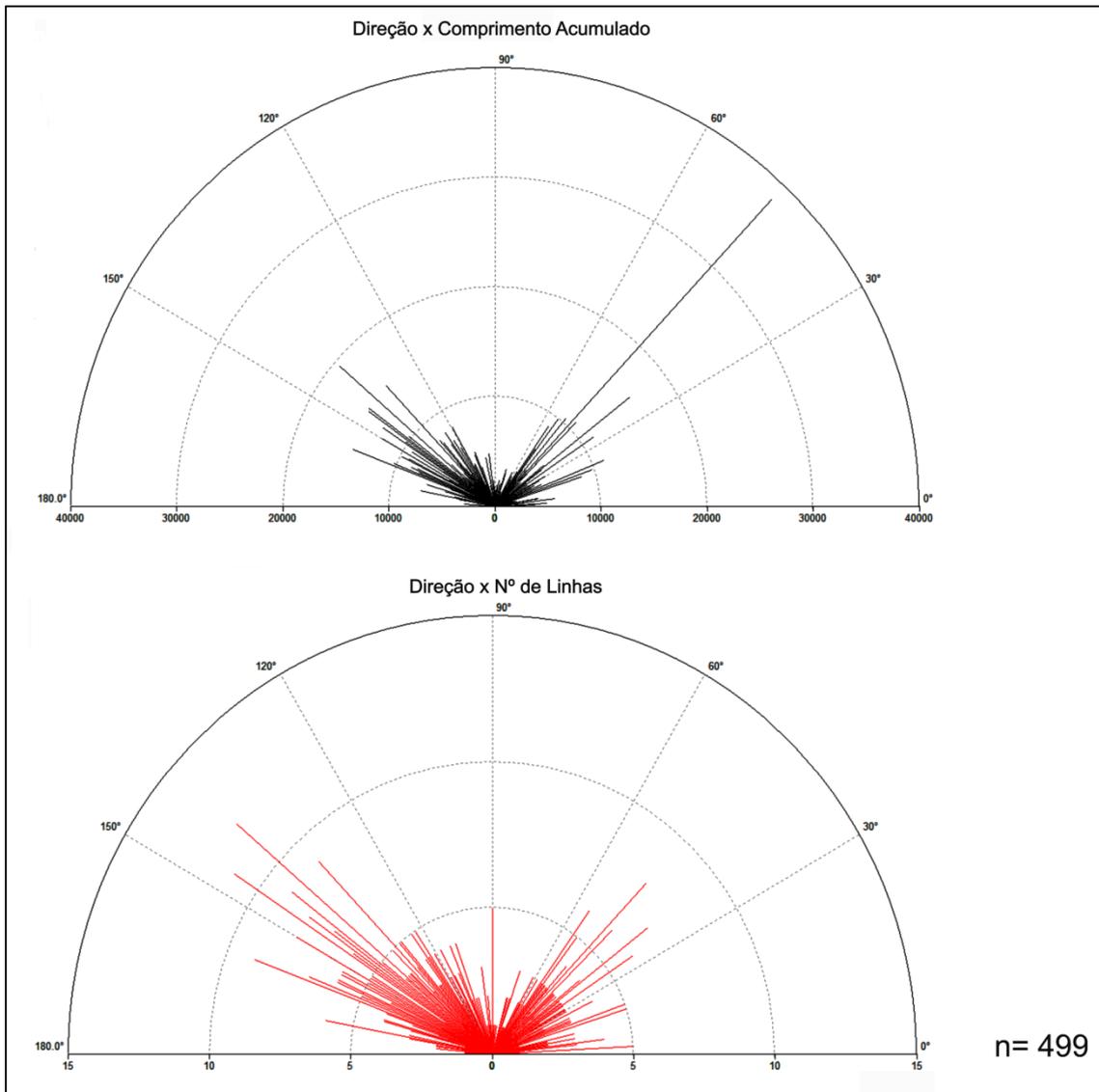


Figura 30 – Diagramas de roseta da ocorrência do *Graben Amaral Ferrador*.

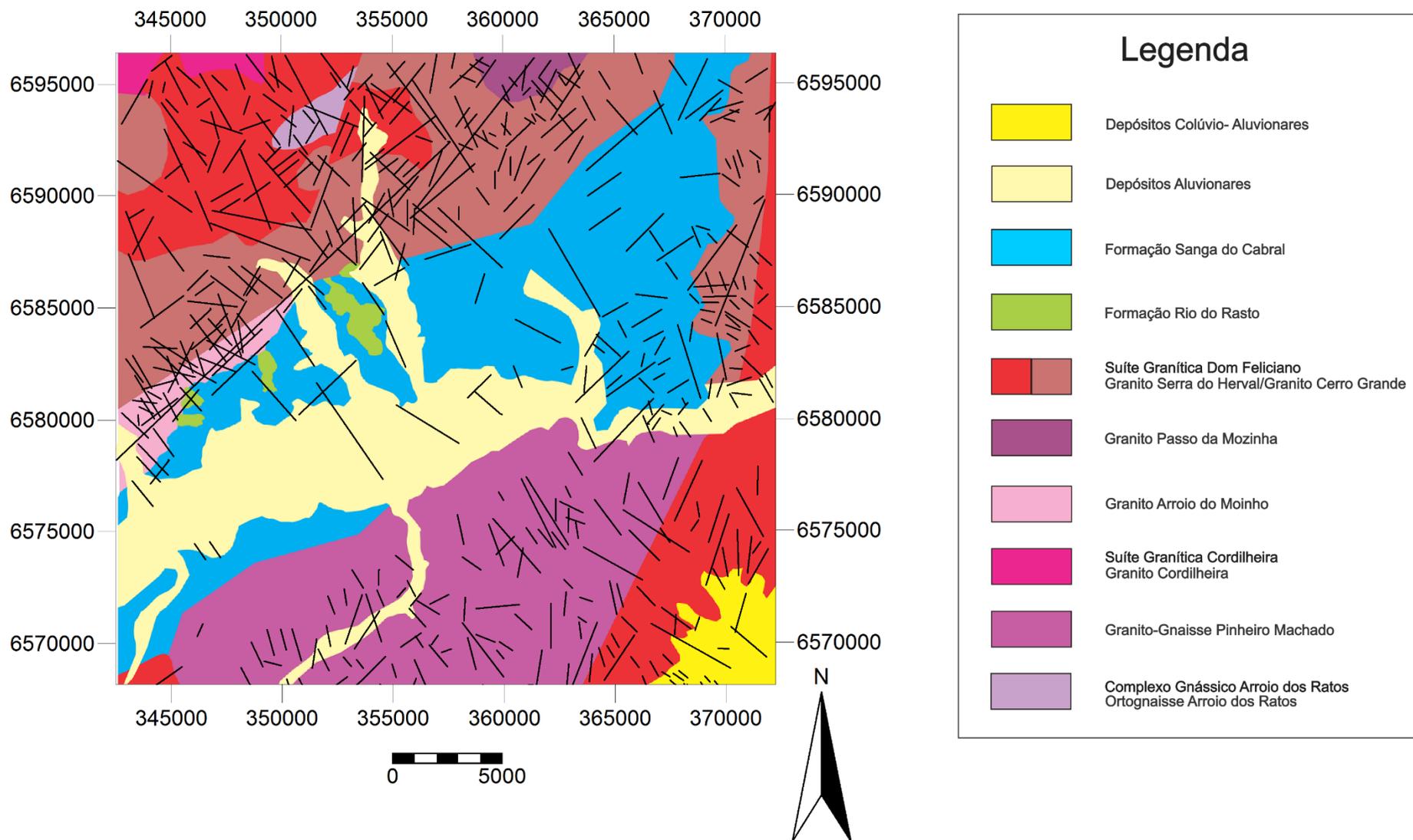


Figura 31 - Mapa de lineamentos: Graben Amaral Ferrador.

6.2.6. Mapa de lineamentos: *Graben* Arroio Moirão

Foi identificado o total de 1584 lineamentos, sendo eles de direções predominantes NE, variando entre N45E / N85E, e, subordinadamente, NW que varia entre N20W / N70W. O comprimento em ambos os padrões é dominado por lineamentos menores (<10 km), com ampla variação (2 a 8 km), e subordinadamente, lineamentos maiores (> 10 km), sendo destacados os lineamentos do padrão NE, que além de serem mais numerosos para este comprimento, apresentam um lineamento maior que 20 km, cuja direção é N45E (Fig. 32). Assim como nos mapas anteriores, o padrão de direções é igual para ambas as litologias e a densidade de lineamentos é muito inferior nas rochas sedimentares (n= 543), quando comparadas com as rochas do embasamento (n=1041) (Fig. 33).

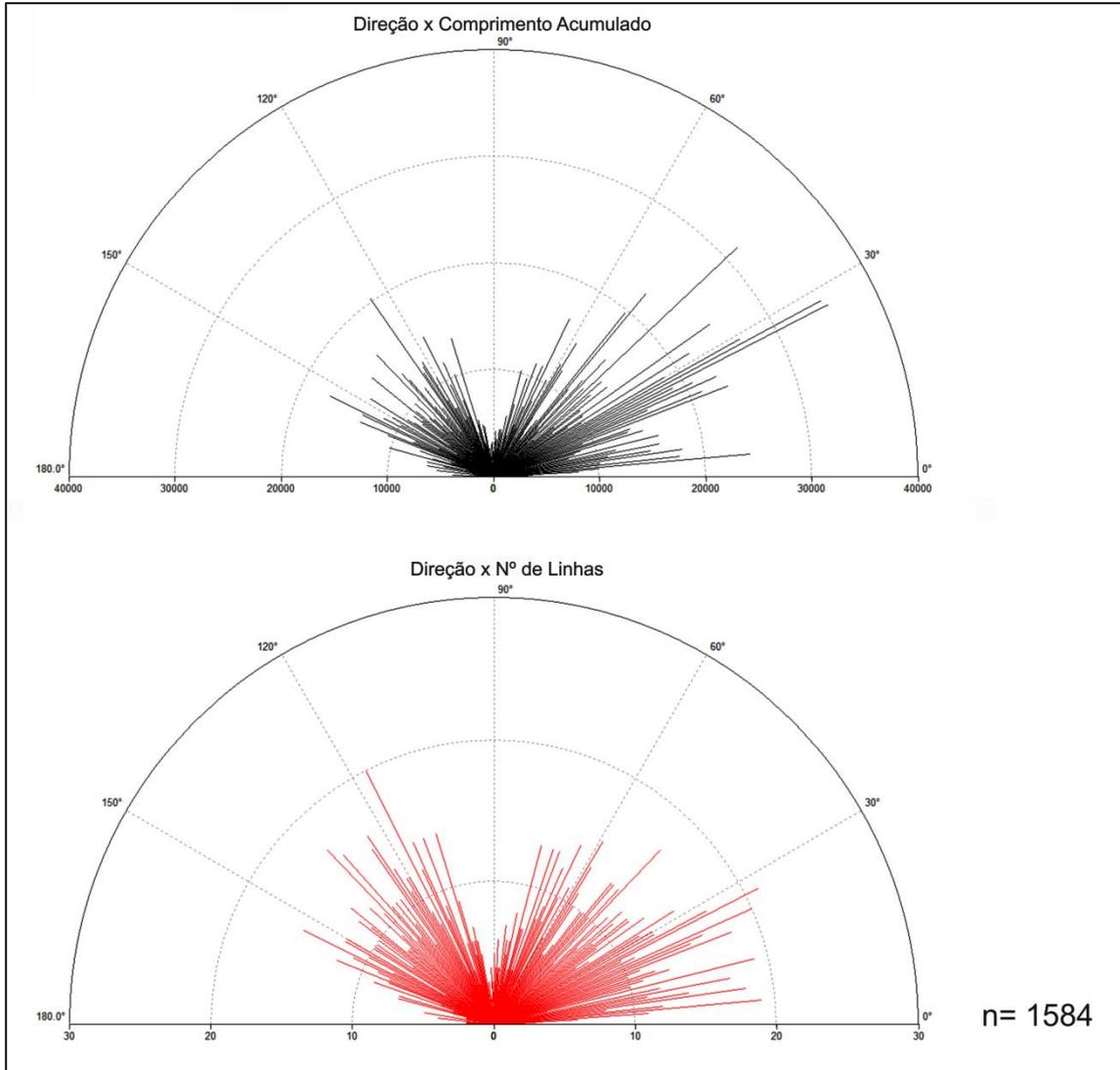


Figura 32 – Diagramas de roseta da ocorrência do Graben Arroio Moirão.

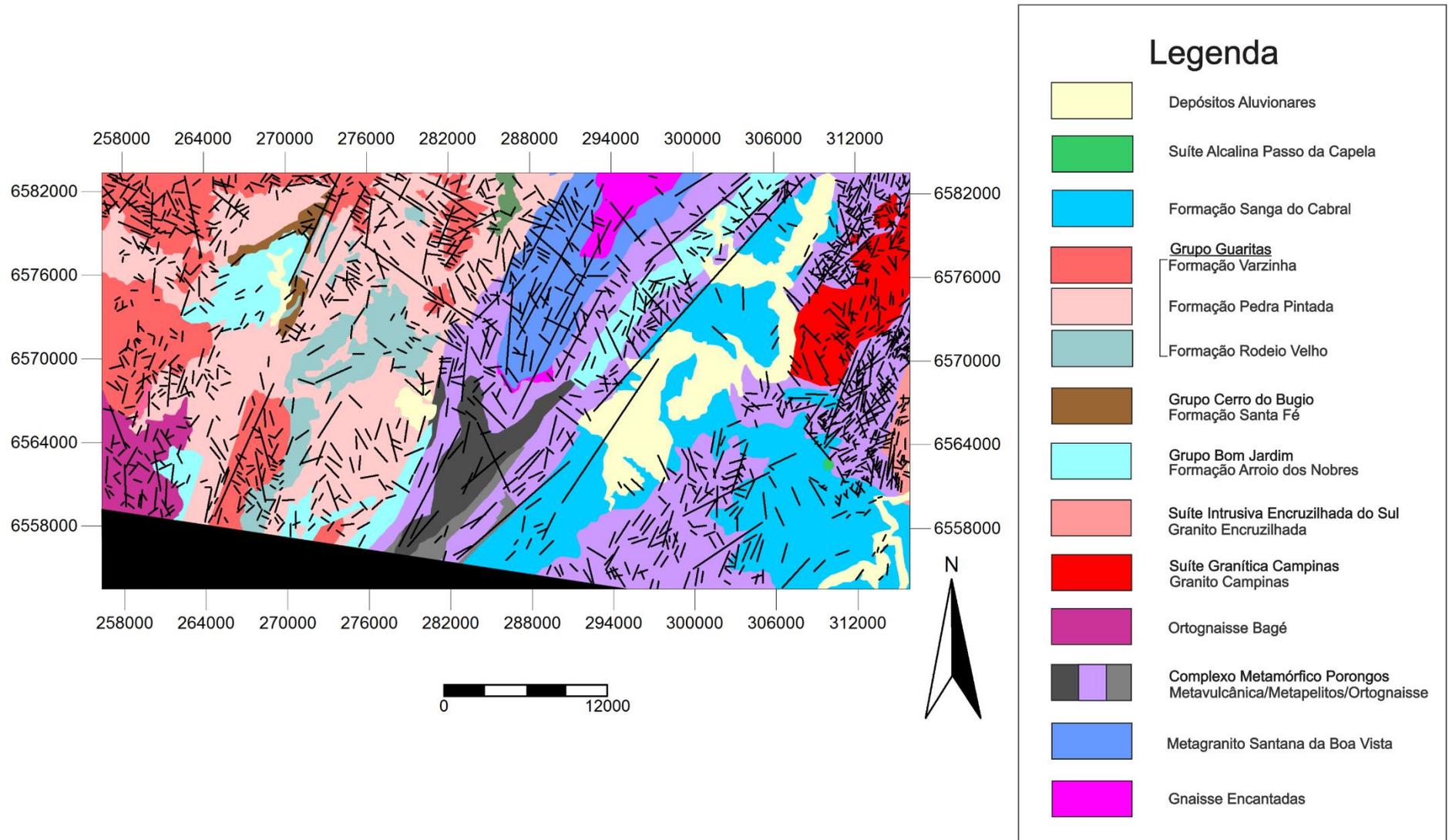


Figura 33 - Mapa de lineamentos: Graben Arroio Moirão.

A ocorrência de lineamentos na porção do ESRG que abriga os relictos da Bacia do Paraná revelou dois padrões principais, sendo eles o NE e o NW, e ainda, um padrão N, observado apenas nas ocorrências do Cerro Partido e Delfino, que estão situadas mais a norte, no município de Encruzilhada do Sul.

Cabe ressaltar que o padrão NE além de apresentar os lineamentos maiores, envolve os lineamentos menores com maior extensão, em todas as ocorrências. Estes lineamentos maiores ocorrem apenas em rochas do embasamento, sendo que nas rochas sedimentares, ocorrem os microlineamentos e lineamentos menores.

Os dois lineamentos presentes nas ocorrências dos *Grabens* Amaral Ferrador e Arroio Moirão, com extensões muito superiores às características para “lineamentos maiores”, podem ser interpretados como falhas regionais que limitam a porção NW dessas duas ocorrências. As direções observadas para estas falhas (N40E / N45E) são correlacionáveis com as direções da ZCTDC. Segundo Phillip *et al.* (2015), tais estruturas são classificadas como zonas de falha, sendo estas, Zona de Falha Vigia-Roque (ZFVR) e Zona de Falha Açoitéia-Piquiri (ZFAP), respectivamente.

Apesar de os lineamentos NW serem mais numerosos em quase todas as ocorrências, estes são tidos como lineamentos secundários, pois, apresentam menor extensão, quando comparados aos observados no padrão NE e são associados a eventos de reativação mais tardios. O padrão NW observado nas ocorrências (N30W/ N75W) é correlacionável com a Zona de Falha Ibaré (ZFI) (Phillip *et al.*, 2015).

Já o padrão N observado exclusivamente nas ocorrências Cerro Partido e Delfino, como dito anteriormente, pode ser correlacionado com a Zona de Falha Passo do Marinheiro (ZFPM) (Phillip *et al.*, 2015), presente na porção centro-norte do ESRG.

6.3. Geologia de campo

Os afloramentos dentro da área de estudo são tipicamente em cortes de estrada ao longo das BR-392 e BR-471, não apresentando em sua maioria boa exposição (descontínuos e alterados), por vezes, brechados e silicificados, com espessuras não superiores a dezenas de metros.

Ao longo da BR-392 na região do *Graben* Arroio Moirão ocorrem sobre o ESRG majoritariamente as sequências deposicionais gonduânicas I e II (Formação

Sanga do Cabral e Formação Santa Maria), e de maneira restrita a sequência III (Formação Passo das Carretas – correlata à Formação Serra Geral). Sobrepostas às unidades gonduânicas ocorrem os depósitos terciários (leque aluvial) e quaternários (planície de inundação e terraço). Por fim, se ressalta a presença de *necks* das rochas alcalinas (Suíte Piratini).

Já ao longo da BR-471 na região do *Graben* Amaral Ferrador, as ocorrências gonduânicas são mais limitadas, aflorando sobre o ESRG apenas a sequência deposicional gonduânica I (Formação Sanga do Cabral) e os depósitos quaternários (planície de inundação e terraço).

O fato de que o *Graben* Arroio Moirão envolve um intervalo estratigráfico mais espesso e dispõe de melhores afloramentos, possibilitou a confecção de um mapa geológico de detalhe, que acaba por ilustrar a porção NW da ocorrência (Fig. 34).

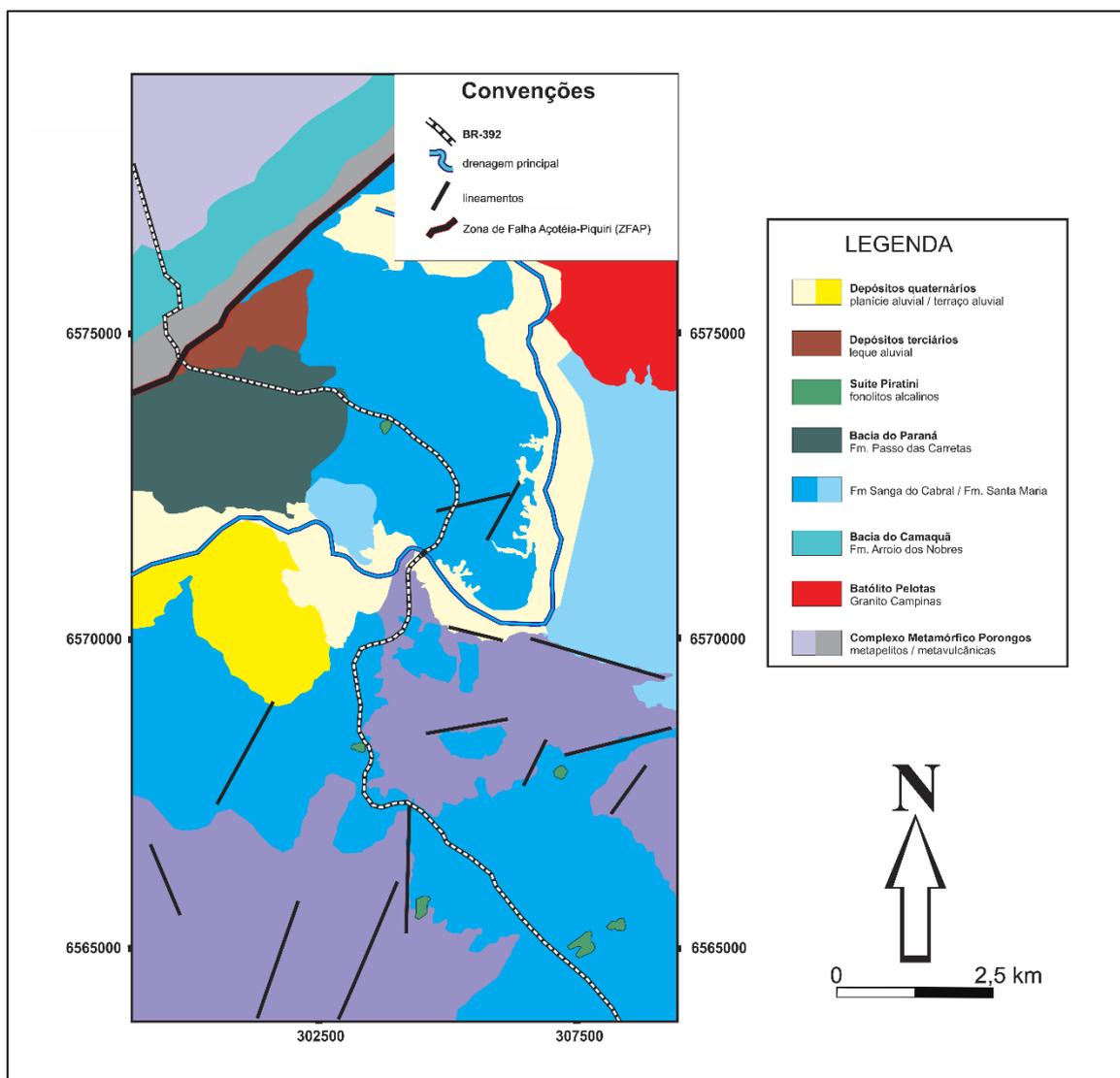


Figura 34 – Mapa geológico de detalhe do *Graben* Arroio Moirão.

6.3.1. Geologia das unidades

A Formação Sanga do Cabral é caracterizada por apresentar arenitos arcoseanos laminados, finos a médios, bem selecionados e de coloração alaranjada. Os grãos estão dispostos em lâminas milimétricas (laminação plano-paralela) (Fig. 35-A).

A Formação Santa Maria é caracterizada por apresentar siltitos a arenitos muito finos, por vezes laminados e de coloração rosada a avermelhada. Da mesma forma que nas rochas da Formação Sanga do Cabral, o arranjo dos grãos compõe uma laminação plano-paralela (Fig. 35-B).

A Formação Passo das Carretas, correlata em termos de idade à Fm. Serra Geral (Figueiró *et al.*, 1996), é caracterizada por ser uma rocha vulcânica maciça de coloração acinzentada a amarelada, por vezes apresentando fenocristais de plagioclásio (1 mm) e amígdalas. Está disposta em derrames métricos, muitas vezes alterados e com disjunção colunar sub-horizontal (Fig. 35-C).

As rochas alcalinas da Suíte Piratini estão dispostas em pequenos corpos intrusivos (*necks*) que caracterizam áreas elevadas (pequenos morros) e com vegetação mais desenvolvida. Apresentam fenocristais de feldspatóides esbranquiçados (2 mm), envoltos por matriz fina de coloração acinzentada (Fig. 35-D).

Os depósitos terciários são caracterizados por apresentarem conglomerados matriz-suportados, compostos por clastos subangulosos de rochas ígneas e metamórficas (5–15 cm), suportados por matriz pelítica a arenosa. Ocorrem de maneira restrita, próxima à ZFAP, sendo interpretados como leques aluviais depositados através da subsidência de blocos interiores do *Graben* Arroio Moirão (Fig. 35-E).

Os depósitos quaternários são caracterizados por apresentarem conglomerados matriz-suportados, subangulosos a subarredondados de composição predominantemente ígnea e com quartzo leitoso, com tamanhos variando 2 e 5 cm. Ocorrem tipicamente próximos às regiões mais baixas, sendo definidos como paleoterraços do Rio Camaquã (Fig. 35-F).

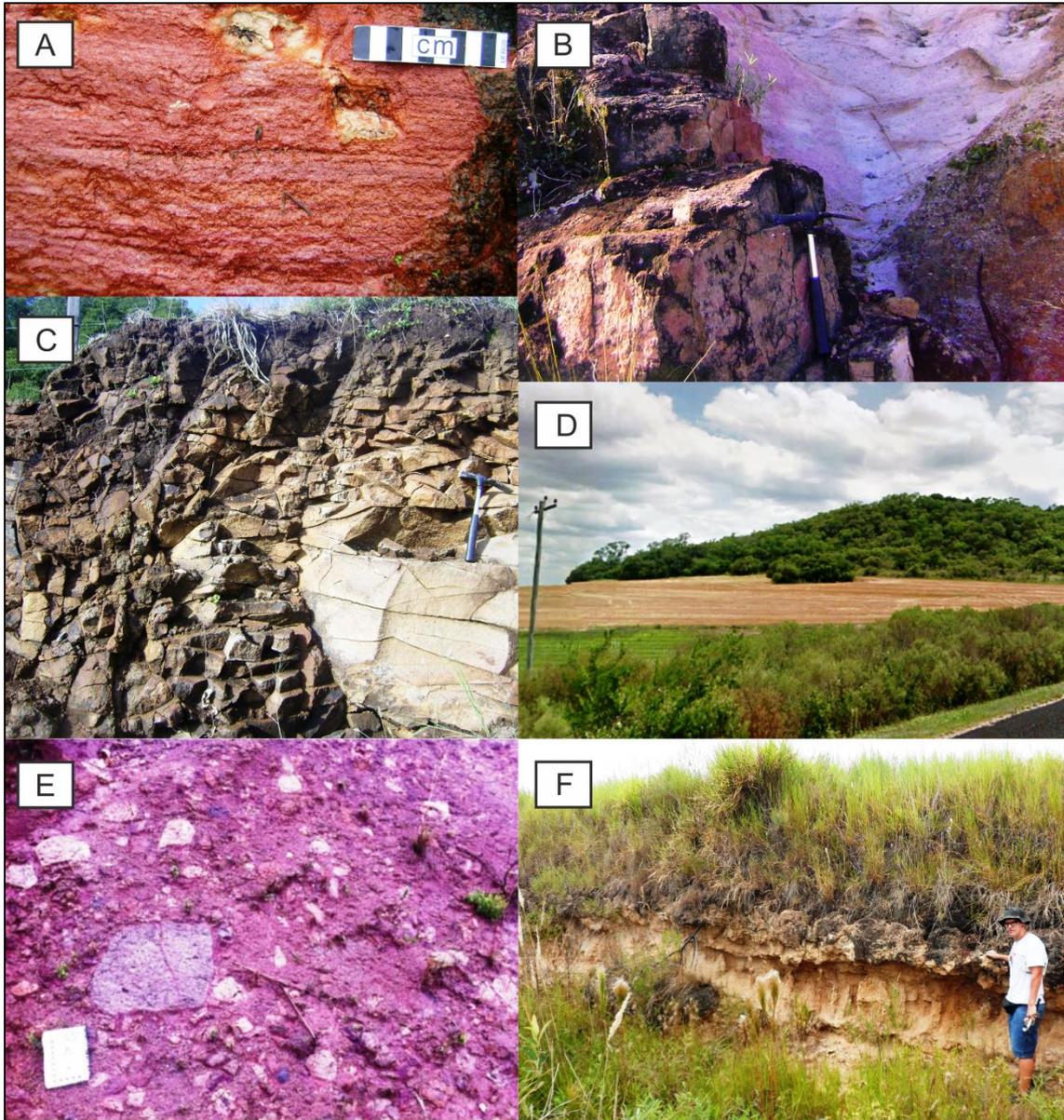


Figura 35 – Unidades descritas na etapa de campo. A) Fm. Sanga do Cabral; B) Fm. Santa Maria; C) Fm. Passo das Carretas; D) Suíte Piratini; E) Depósitos terciários; F) Depósitos quaternários.

As sequências I e II (Formação Sanga do Cabral e Formação Santa Maria) são por vezes dificilmente distinguíveis dentro da região do *Graben* Arroio Moirão. Foram adotadas como critério diagnóstico, as diferenças granulométricas, sendo as rochas areníticas descritas como pertencentes à Formação Sanga do Cabral e as rochas pelíticas como pertencentes à Formação Santa Maria.

Apesar de a Formação Passo das Carretas ser definida como correlata à Fm. Serra Geral, apresentando idades radiométricas entre 126 e 137 Ma (Figueiró *et al.*, 1996), foi observada em um afloramento a existência de diques clásticos da Fm. Sanga do Cabral, intrudindo seus derrames, o que por definição, implica em relativa

contemporaneidade entre os eventos deposicionais e o vulcanismo, sendo que os sedimentos não podem apresentar avançada litificação (Fig. 36-A). Porém, admitindo-se uma idade cretácea para a Formação Passo das Carretas caracteriza-se um hiato de cerca de 100 Ma para Triássico Inferior (240 Ma), período de deposição da Fm. Sanga do Cabral. No mesmo afloramento, também foram observadas feições típicas de *pillow* lavas, características de vulcanismo subaquoso, que não é recorrente na Formação Serra Geral (Fig. 36-B).

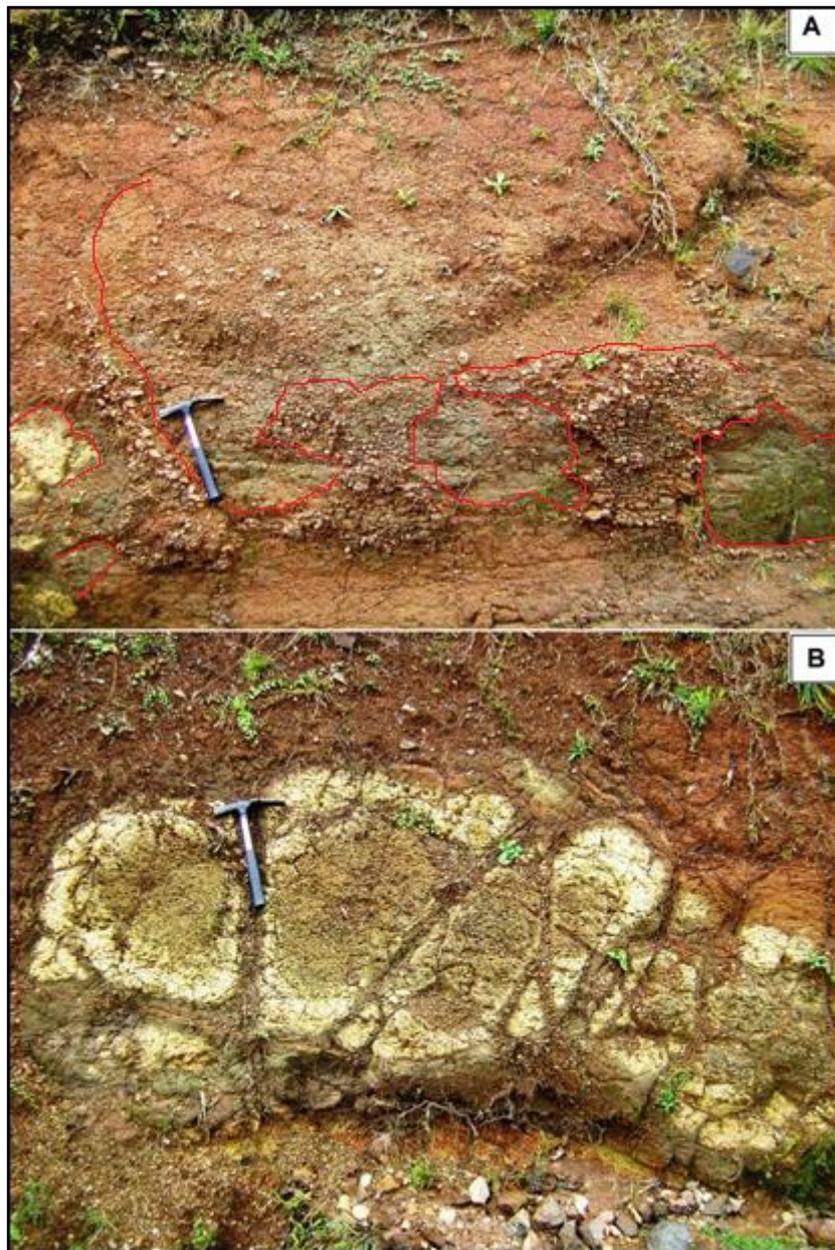


Figura 36 – A) Diques de areia intrudindo o derrame vulcânico; B) Alteração esferoidal em *pillow* lavas.

Além das unidades citadas acima, fazem parte da área visitada na etapa de campo rochas do ESRG, que fazem parte do Terreno Tijucas e Batólito de Pelotas (Complexo Metamórfico Porongos, Granito Encruzilhada, Granito Cordilheira, Granito Serra do Herval, Granito-Gnaisse Pinheiro Machado, entre outras), constituindo o embasamento das ocorrências do *Graben* Arroio Moirão e *Graben* Amaral Ferrador.

6.3.3. Análise estrutural de campo

As estruturas rúpteis analisadas em campo acabam por afetar as sequências gonduânicas I e II, em ambos os *grabens*. A análise estrutural consistiu na medida de atitudes em planos de fratura, sendo estes gerados por atividade de reativação tectônica de falhas. Nos afloramentos que apresentam fraturamento, também são observadas feições de brechamento e silicificação (Fig. 37).



Figura 37 – Estruturas rúpteis medidas em afloramento.

Foram realizadas através do uso de bússola e clinômetro um total de 155 medidas, distribuídas em 5 afloramentos distintos (4 no *Graben* Arroio Moirão e 1 no *Graben* Amaral Ferrador). As medidas foram compiladas e plotados no *software* Stereo32, sendo escolhida a notação de mão esquerda (*strike/dip*) para representá-las (Fig. 38).

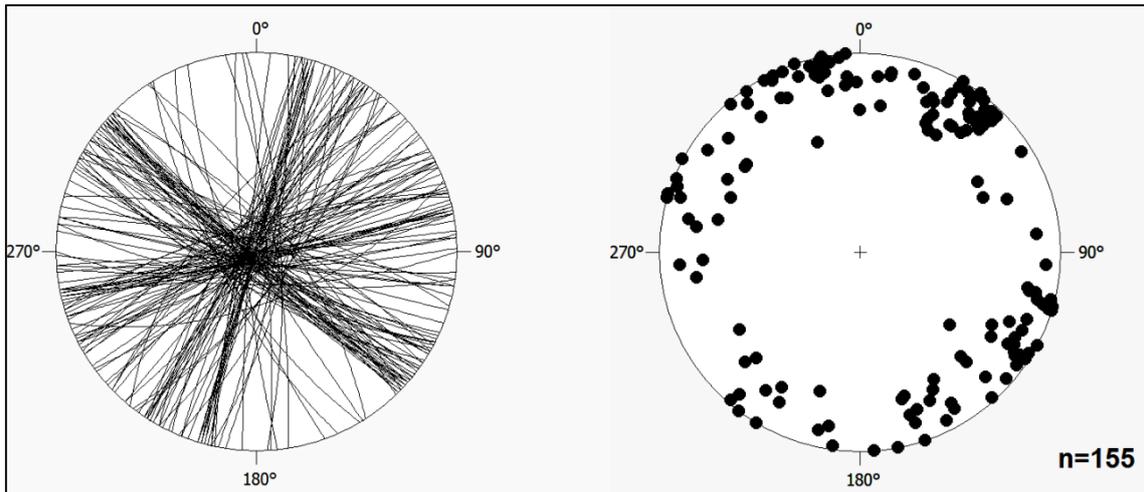


Figura 38 - Estereograma apresentando os planos de fratura, através de traços ciclográficos e os seus respectivos polos de planos.

Assim como observado nos mapas de lineamentos, os padrões são predominantemente NE e NW, sendo o N e E, subordinados. Dentro do número total de medidas, cerca de 47% são de direção NE e 35% direção NW, sendo que os dois correspondem a 82% do total (Fig. 39).

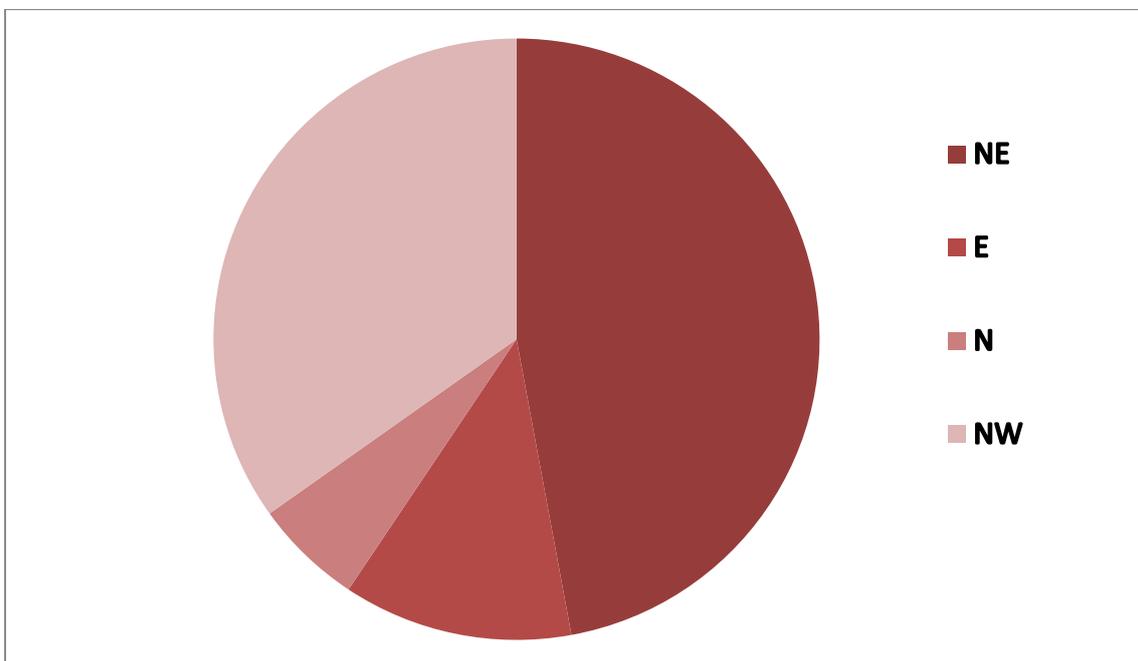


Figura 39 – Gráfico que apresenta a distribuição entre os diferentes padrões de direção.

Todos os planos medidos são subverticais a verticais, apresentando grande variação dentro do padrão NE, com maior densidade entre as direções N20E / N80E. Já o padrão NW envolve menor variação, com direções predominantes entre

N40W / N60W. A maior variabilidade e densidade do padrão NE podem ser explicadas pelo fato de que as zonas de falha de direção NE presentes no ESRG, passaram por diversos eventos de reativação, ao passo que o padrão NW registra apenas os últimos, em especial a reativação da ZFI, que proporcionou a intrusão das rochas alcalinas da Suíte Piratini.

A análise estrutural em mesoescala é passível de ser correlacionada com a de macroescala, sendo que ambas mostram padrões estruturais semelhantes, o que possivelmente, caracteriza uma mesma gênese para os eventos tectônicos que afetaram as rochas sedimentares gonduânicas.

6.4. Petrografia qualitativa

As 3 amostras selecionadas para laminação envolviam rochas que apresentavam problemas em caracterização macroscópica, sendo a petrografia utilizada como ferramenta de refinamento para as descrições destas unidades.

A lâmina referente ao PTMA- 10 é pertencente à Formação Sanga do Cabral, e é descrita como um brecha sedimentar. É caracterizada por apresentar litoclastos de arenito fino subangulosos a subarredondados, de tamanho variando entre 0,5 – 5 mm, que podem apresentar faturamento interno. A matriz é lamosa e está oxidada, com ocorrência dispersa ou agregada de silcrete que a altera e a substitui. Tal feição pode caracterizar eventos de intensa exposição subárea e, conseqüentemente, formação de paleossolos (laterização silicosa) (Fig. 40).

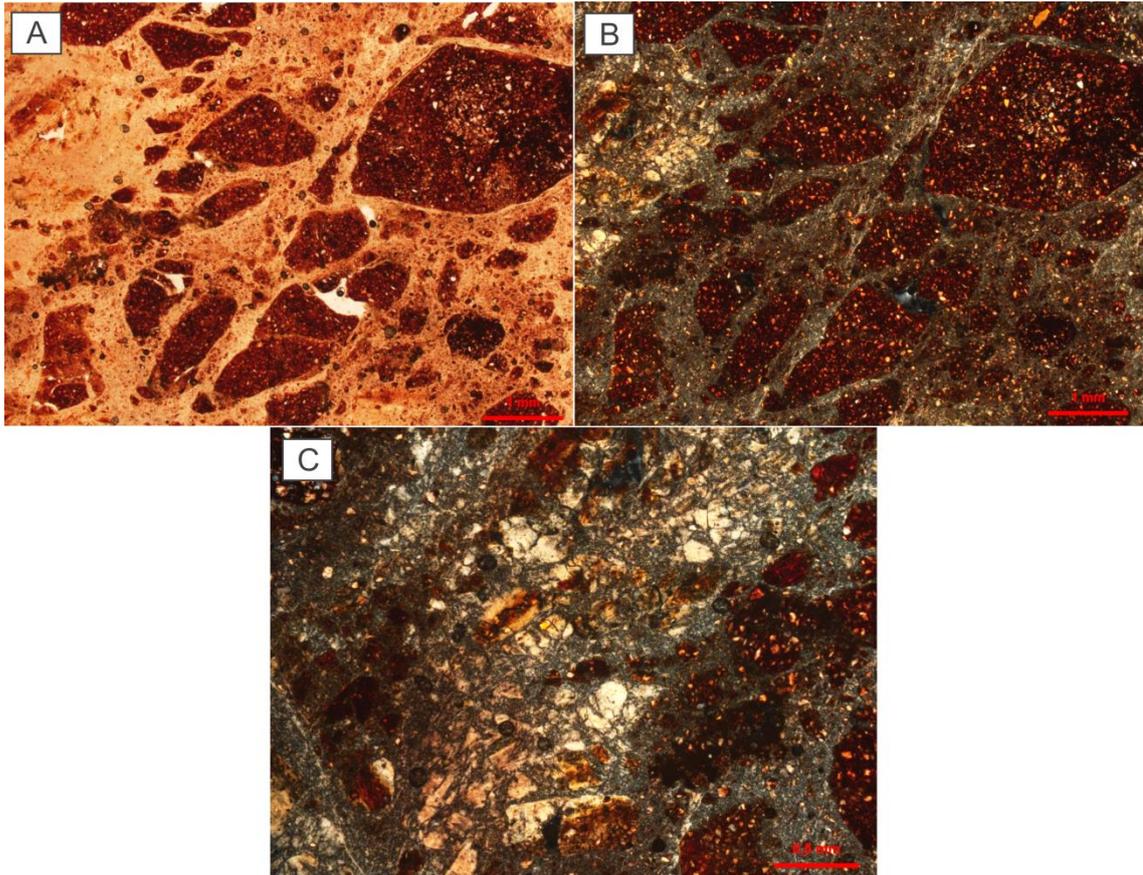


Figura 40 – A) Aspecto geral da lâmina PTMA-10 (Luz Natural); B) Aspecto geral da lâmina PTMA-10 (Luz Polarizada); C) Detalhamento da ocorrência de silcrete envolvendo pequenos litoclastos (Luz Polarizada).

A lâmina referente ao PTMM- 05 é pertencente à Formação Passo das Carretas, e é descrita como um basalto. É caracterizada por apresentar textura afanítica fina (raros fenocristais) e estrutura maciça. A mineralogia é composta predominantemente por plagioclásios subédricos, com presença de augita e hematita como acessórios, sendo caracterizado como um magmatismo toleítico (Figueiró et al., 1996). Os plagioclásios apresentam teor de Ca (An= 75), o que indica para este caso rochas tipicamente basálticas. No entanto vale ressaltar a ocorrência de andesitos intercalados, descritas nos trabalhos de Figueiró *et al.* (1996) e Ketzer (1997) (Fig. 41).

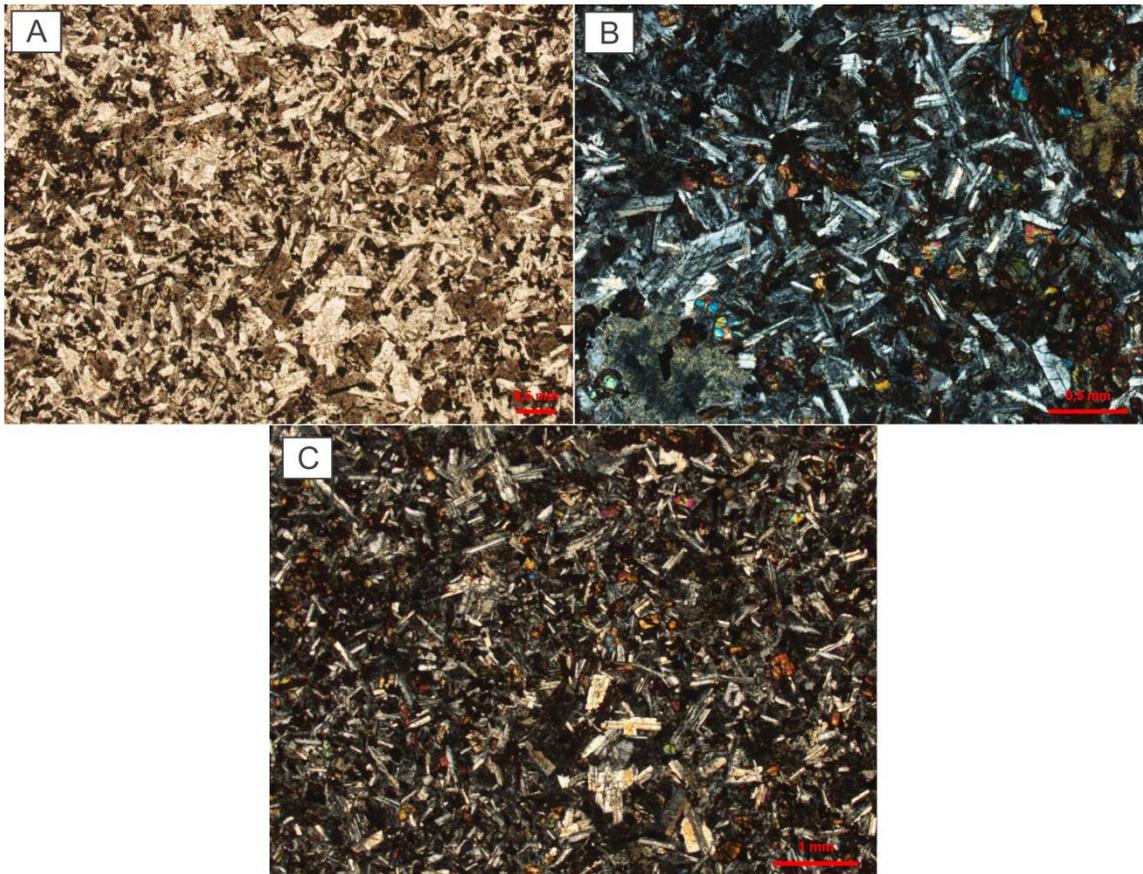


Figura 41 – A) Aspecto geral da lâmina PTMM-05 (Luz Natural); B) Aspecto geral da lâmina PTMM-05 (Luz Polarizada); C) Detalhamento da ocorrência de agregados de plagioclásio (textura glomeroporfirítica) (Luz Polarizada).

A lâmina do PTMM- 18 é pertencente à Suíte Piratini, e é descrita como um fonolito. É caracterizada por apresentar textura porfirítica (fenocristais com até 2 mm), com matriz afanítica com textura de fluxo (traquítica). A mineralogia possui predominantemente fenocristais subédricos a euédricos de nefelina e sanidina, com presença de fenocristais de aegerina-augita e granada melanita como acessórios, sendo a matriz de igual composição. A presença da granada melanita é associado à líquidos subsaturados em SiO_2 , o que corrobora a ideia de vulcanismo alcalino para estas rochas (Fig. 42).

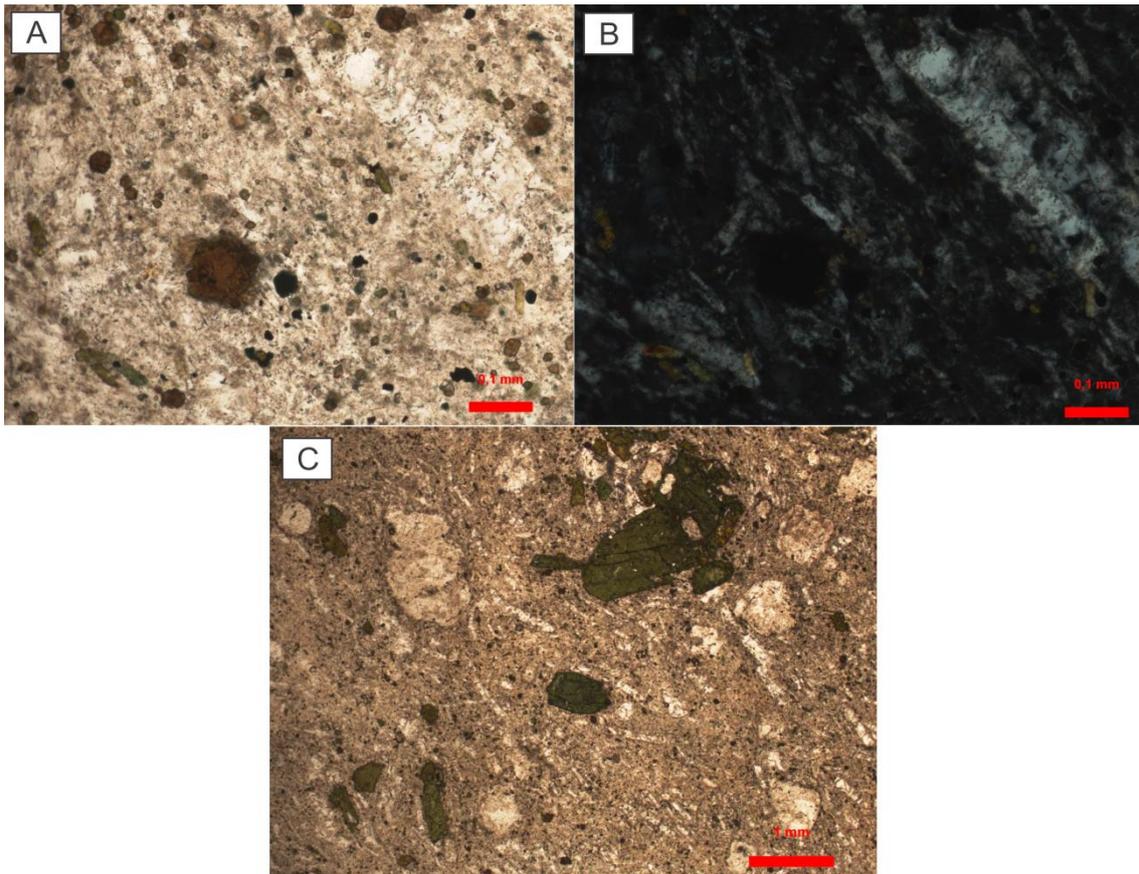


Figura 42 – A) Detalhamento dos fenocristais e da textura de fluxo na matriz (Luz Natural); B) Detalhamento da característica isótropa da melanita (Luz Polarizada); C) Aspecto geral da lâmina PTMM- 18 (Luz Natural).

6.5. Preservação das unidades gonduânicas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense

O registro das rochas gonduânicas sobre o ESRG é dado pela atuação de atividade tectônica deformadora (pós-deposicional). São observadas duas formas de preservação, sendo elas em zonas de falha ou em *grabens*. As duas podem ser explicadas pelos eventos de reativações de estruturas do embasamento.

Os episódios de reativação são caracterizados por dois eventos principais, que correspondem à idade do vulcanismo da Formação Passo das Carretas e à idade do posicionamento dos *necks* fonolíticos da Suíte Piratini, sendo estes com 137 Ma e 89 Ma, respectivamente (Ketzner, 1997; Machado, 2014).

Os registros na forma de *grabens* apresentam maior extensão em área e ocorrem em regiões topograficamente mais baixas, não tendo um registro com continuidade lateral, quando comparados aos registros em zonas de falha, como no caso do Cerro Partido, que se apresenta na forma de um registro contínuo, em

regiões elevadas. Tal fato pode ser explicado pela maior atividade tectônica atuante nos *grabens*, sendo estes controlados por falhas regionais NE e afetados por falhas normais de mesma direção, associadas à ZCTDC, que também pode ter facilitado o processo erosivo dos depósitos.

A gênese das formas de relevo típicas dos depósitos (*cuestas* e *mesas*) pode ser associada à intersecção de lineamentos, que representam a ocorrência de falhas normais, com movimentação de blocos (Fig.43). A atividade de falhas normais também promove o faturamento e posterior silicificação das rochas, mecanismos que propiciam a preservação dos afloramentos (Fig. 44).

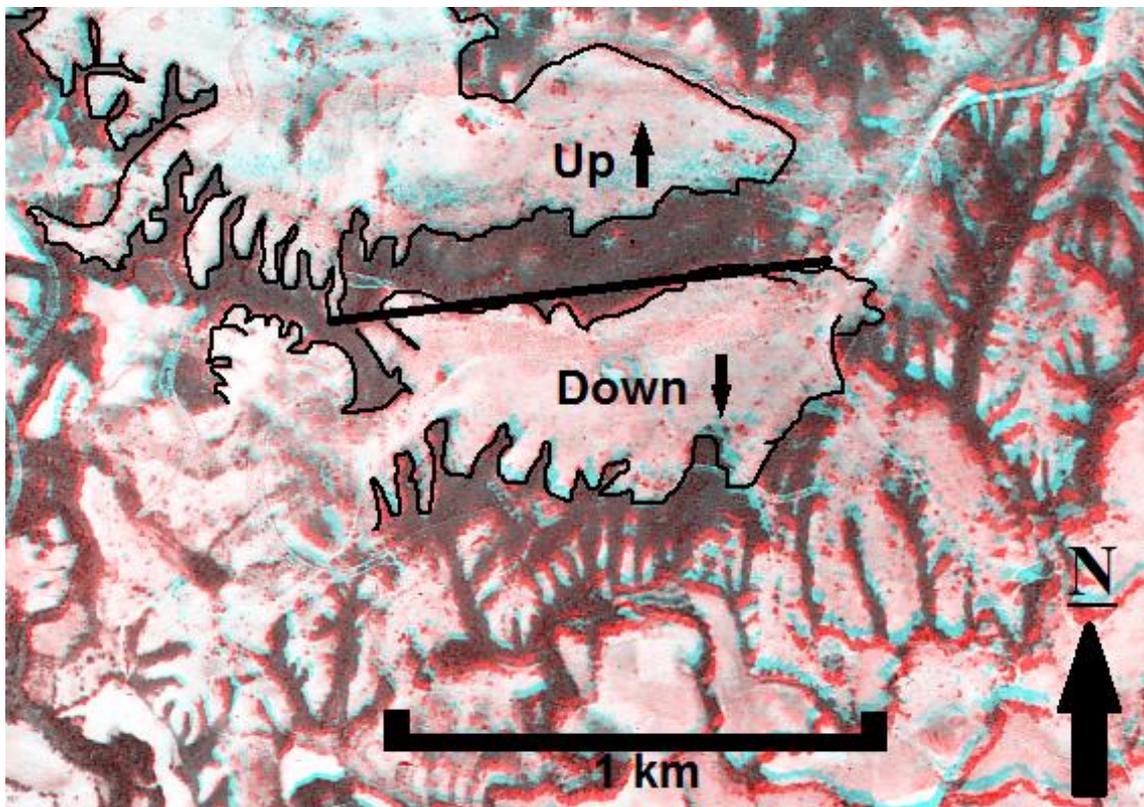


Figura 43 – Plano de falha causando abatimento de blocos na região do *Graben* Arroio Moirão.



Figura 44 – Afloramento (PTMM-16) que exemplifica o estado de preservação das rochas que foram afetadas por falhas.

A ausência de deposição no período Jurássico sobre o ESRG pode ser explicado por um possível soerguimento do mesmo, sendo que na porção contígua da Bacia do Paraná, ocorrem os extensos depósitos da Formação Botucatu.

As ocorrências do *Graben* Arroio Moirão, *Graben* Amaral Ferrador, Boa Vista e Tabuleiro, possuem orientação NE-SW, por estarem associados a ZCTDC onde as zonas de falha (ZFAP e ZFVR) possuem mesma direção. Ao passo que as ocorrências Cerro Partido e Delfino apresentam direção aproximadamente N-S, seguindo a tendência imposta pela ZFPM.

6.6. *Graben*

O termo *graben*, para o presente caso está intimamente ligado ao processo tectônico propriamente dito, ou seja, um sistema de falhas normais com rebaixamento de blocos. Ele independe da escala, podendo ocorrer desde a escala de afloramento até uma escala crustal.

Não há evidências de que as unidades gonduânicas preservadas sobre os ESRG tenham sido depositadas em *grabens*, mas sim, a atividade tectônica propiciou o registro desses relictos da Bacia do Paraná, preservados sobre ele.

Portanto, as ocorrências gonduânicas apresentam mais características de um evento preservacional, do que para um deposicional, visto as similaridades com as porções contíguas da Bacia do Paraná.

Além de não possuírem a mesma expressão em termos de subsidência e tectonismo típicos (Quadro 2), nos *grabens* em questão, também não são observados os padrões de preenchimento (p.ex. Kuchle, 2010) (Fig. 45).

Quadro 2 - Exemplos de depósitos associados à *grabens*.

Exemplo	Espessura	Autor
<i>Graben</i> Arroio Moirão <i>Graben</i> Amaral Ferrador	~ 250 m ~ 150 m	Ketzer (1997); Lima (2014) Ketzer (1997)
<i>Graben</i> da Barra de São João <i>Graben</i> de Palestina <i>Graben</i> da Guanabara	~700 m 1,5 – 2 km 0,5 – 1 km	Mohriak & Barros (1996) Cardoso <i>et al.</i> (2012) Almeida & Carneiro (1998)

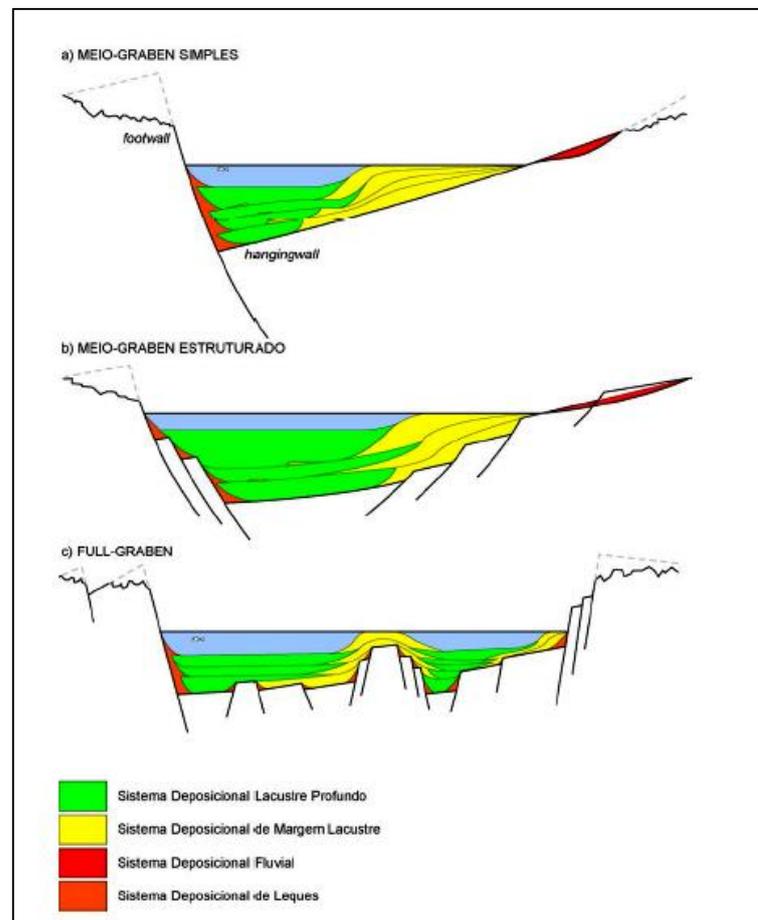


Figura 45 – Padrão de preenchimento de depósitos associado a sistemas de Meio-Graben e Full-Graben. Extraído de Kuchle (2010).

No caso do *Graben* Arroio Moirão, a porção NW é tratada como aquela que experimentou maior subsidência, tendo preservado as unidades correspondentes às sequências I, II, III e ainda, depósitos terciários (leque aluvial) e quaternários (planície de inundação e terraço). Por outro lado, a porção SE abriga apenas a sequência I e os depósitos quaternários, reafirmando a ideia da ausência de uma falha regional controlando e causando subsidência comparável à observada na porção NW.

Apesar de durante todo o estudo ter-se usado o termo *graben*, não foram identificadas a ocorrência de duas falhas principais limitando as extremidades das ocorrências *Graben* Amaral Ferrador e *Graben* Arroio Moirão (Fig. 46). Há presença de lineamentos maiores (> 20km), interpretados como zonas de cisalhamento, apenas nas porções NW, sendo observado nas porções SE contatos erosivos. A existência de uma única falha de borda implica em um sistema denominado *meio-graben*.

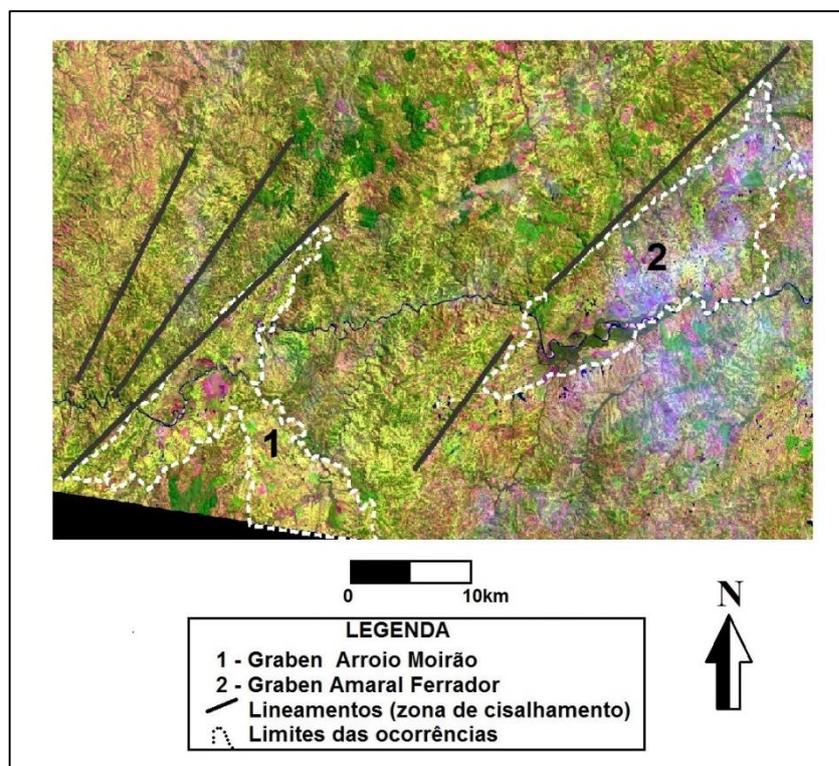


Figura 46 – Lineamentos regionais na região das ocorrências dos *Grabens* Amaral Ferrador e Arroio Moirão

7. CONCLUSÕES

Os relictos da Bacia do Paraná registram as unidades do intervalo permotriássico (Formação Rio Bonito, Formação Sanga do Cabral e Formação Santa Maria) e cretáceo (Formação Serra Geral) da Bacia do Paraná. São observadas duas formas de preservação, sendo elas em zonas de falha ou em *grabens*. As duas podem ser explicadas pelos eventos de reativações de estruturas presentes no ESRG.

Não há evidências de que as unidades gonduânicas preservadas sobre os ESRG tenham sido depositadas em *grabens*, mas sim, a atividade tectônica propiciou o registro desses relictos da Bacia do Paraná, preservados sobre ele. Portanto, as ocorrências gonduânicas apresentam mais características de um evento preservacional, do que para um deposicional, visto as similaridades com as porções contíguas da bacia.

Ocorreram no mínimo dois episódios de reativação tectônica de escala regional, sendo um de idade 137 Ma, responsável pelo vulcanismo da Formação Passo das Carretas e outro com idade de 89 Ma, responsável pelo posicionamento dos *necks* da Suíte Piratini.

A ocorrência de lineamentos nos relictos da Bacia do Paraná revelou dois padrões principais, sendo eles o NE e o NW, e ainda, um padrão N, restrito às ocorrências do Cerro Partido e Delfino.

Cabe ressaltar que o limite noroeste dos *grabens* é limitado por falhas regionais, sendo elas de direção NE (N40E / N45E) correlacionáveis com as direções da ZCTDC, e denominadas de Zona de Falha Vigia-Roque (*Graben* Amaral Ferrador) e Zona de Falha Açoitêia-Piquiri (*Graben* Arroio Moirão). O padrão NW observado nas ocorrências (N30W/ N75W) está ligado à reativações da Zona de Falha Ibaré e o padrão N à reativações da Zona de Falha Passo do Marinheiro.

Assim como observado na análise tectônica de escala regional, através dos mapas de lineamentos, os padrões que ocorrem na escala de afloramento são predominantemente o NE e NW, sendo o N subordinado. A maior densidade e variabilidade de direções observada no padrão NE pode ser explicada pelo fato de que as zonas de falha de direção NE presentes no ESRG, passaram por diversos eventos de reativação, e o padrão NW registra apenas os últimos eventos, em

especial a reativação da ZFI, que proporcionou a intrusão das rochas alcalinas da Suíte Piratini.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A. N. 1969. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*, São Paulo, n. 18, p. 1-23.
- Almeida, F. F. M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, n. 241, 36 p.
- Almeida, F. F. M. 1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. *Relatório da PAULIPETRO*, São Paulo, n. 14.091, 187 p.
- Almeida, F. F. M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-Paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 16(4), p. 325-349.
- Almeida, F. F. M. 2000. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, PR. *Atas...* Curitiba, SBG, v. 1, p. 1-20.
- Almeida, F. F. M. & Carneiro, C. D. R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 28(2), p. 135-150.
- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B. & Fuck, R. A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth Science Reviews*, Amsterdam, v.17, p. 1-29.
- Andrade, S. M. & Soares, P. C. 1970. Geologia de Semi-Detalhe do Centro-Leste do Paraná. *Relatório PETROBRÁS/ DESUL*, n. 400.
- Andrade, S. M. & Soares, P. C. 1971. Geologia do Centro-Leste de São Paulo. *Relatório PETROBRÁS / DESUL*, n.407.
- Andreis, R. R.; Bossi, G. E. & Montardo, D. K. 1980. O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú, SC. *Anais...* Camboriú, SBG, 1980. v. 2, p. 659-673.
- Andreis, R. R.; Lavina, E. L.; Montardo, D. K & Teixeira, A. M. S. 1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata, RS-Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32. Salvador, BA. *Anais...* Salvador, SBG, 1982. v. 4, p. 1284-1295.
- Arcanjo, J. B. A. 2011. *Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações*. Salvador: CPRM/SGB, 144 p.
- Assine, M. L.; Soares, P. C. & Milani, E. J. 1994. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 24(2), p. 77-89.
- Barberena, M. C.; Araujo, D. C.; Lavina, E. L. & Azevedo, S. A. K. 1985. O estado atual do conhecimento sobre os tetrápodes permianos e triássicos do Brasil Meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8. Rio de Janeiro, RJ. *Coletânea de trabalhos Paleontológicos...* Brasília, DNPM, 1985. v. 27, p. 21-28.
- Barberena, M. C.; Araújo, D. C.; Lavina, E. L. & Faccini, U. F. 1991. The evidence for close paleofaunistic affinity between South America and Africa, as indicated by Late Permian and

Triassic tetrapods. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7. São Paulo, SP. *Proceedings...* São Paulo, USP, 1991. v.1, p. 455-467.

Borba, A. W. 2006. *Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozóico e Paleozóico inferior no Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica*. 474 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Bortoluzzi, C. A. 1974. Contribuição a geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 4(1), p.7-86.

Cardoso, F. M. C. 2010. *O Graben de Palestina: Contribuição à Estratigrafia e Estrutura do Estágio Rifte na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do norte, Natal.

Carvalho, P. F. 1932. Reconhecimento geológico do Rio Grande do Sul.

Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil, Rio de Janeiro, v. 66, p. 1-72.

Cordani, U. G.; Brito Neves, B. B.; Fuck, R. A.; Porto, R.; Thomas Filho, A. & Cunha, F. M. B. 1984. Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Ciência-Técnica-Petróleo*, Petrobrás, n. 15, 70 p.

CPRM. 1999. Pedro Osório, Folha SH. 22-Y-C. Estado do Rio de Grande do Sul. Escala 1:250.000. Ramgrab, G.E. & Wildner, W. (Org.) – Brasília.

CPRM. 2000. Cachoeira do Sul, Folha SH. 22-Y-A. Estado do Rio de Grande do Sul. Escala 1:250.000. Porcher, C. A. & Lopes, R. C. (Org.) – Brasília.

CPRM. 2006. Serviço Geológico do Brasil. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000.

Daemon, R. F.; Rebelo, A. M. A. & Marquezan, R. G. 1980. Contribuição ao Conhecimento das Bacias Residuais do Rio Grande do Sul. Curitiba: Empresas Nucleares Brasileiras S.A. – NUCLEBRÁS, *Nota Técnica* – ECUR. PM-001/80, 16 p.

DNPM - CPRM. 1977. Projeto 8: Escudo Sul-Rio-Grandense. *Fotos aéreas*. Sul, escala 1:50.000.

DSGE. 1979. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. *Cartas topográficas*, Porto Alegre, escala 1:50.000, 1:250.000.

Faccini, U. F. 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul – uma análise sob o ponto de vista de sequências deposicionais*. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Faccini, U.F. 2000. *Estratigrafia do permo-triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação*. 300 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Faccini, U. F.; Schultz, C. L.; Figueiredo, C. E.; Sangineto, L. R. & Soares, S. C. 1990. Sobre a ocorrência de vertebrados fósseis triássicos na região de Santana da Boa Vista (RS). *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.12, p. 12-17.

- Faccini, U. F.; Paim, P. S. G.; Lavina, E. L. & Garcia, A. J. V. 2000. Geometry, architecture and heterogeneity of the Passo das Tropas aquifer: 3D reconstruction from out crop and shallow subsurface data. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. Rio de Janeiro, RJ, *Abstracts...* Rio de Janeiro: IGC, 2000. 1 CD-ROM.
- Fernandes, L. A. & Coimbra, A. M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 68(2), p. 195-205.
- Fernandes, L. A. D., Menegat, R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer, G.; Ramgrab, G. E. & Camozzato, E. 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 25(4), p. 375-384.
- Fernandes, L. A. D.; Tommasi, A.; Porcher, C. C.; Koester, E.; Kraemer, G.; Scherer, C. M. S. & Menegat, R. 1992. Granitóides brasileiros precoces do Cinturão Dom Feliciano. Caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v.19, p. 197- 218.
- Festenseifer, H. C.; Deboni, L. H. & Nowatzki, C. H. 1994. Contribuição à Reavaliação do Posicionamento Estratigráfico da "Unidade Caneleiras" do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldencia*, São Leopoldo, n.39(2), p.777-793.
- Figueiredo, M. C. H.; Fragoso-César, A. R. S.; Kronenber, B. I. 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal, RN. *Anais...* Natal, SBG, 1990. v. 6, p. 1723-1738.
- Figueiró, J. E. P.; Viero, A. P. & Roisenberg, A. 1996. Aspectos Geoquímicos e Petrogenéticos do Vulcanismo Toleítico Mesozóico da Formação Passo das Carretas, Santana da Boa Vista, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. Salvador, BA. *Anais...* Salvador, SBG, 1996. v. 2, p. 65-68.
- Fossen, H. 2012. *Geologia Estrutural*. São Paulo: Oficina de Textos, 584 p.
- Fragoso-César, A. R. S. 1991. *Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. 362 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fragoso-César, A. R. S.; Figueiredo, M. C. H.; Soliani Jr., E. & Faccini, U. F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/ Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. Goiânia, GO. *Anais...* Goiânia, SBG, 1986. v. 3, p. 1322-1342.
- Fragoso-César, A. R. S.; Machado, R.; Monteiro, R. L. & Sallet, R. 1990. *Nappes* e estruturas correlatas do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense: Uma introdução ao problema. *Acta Geológica Leopoldencia*, São Leopoldo, n. 30, p. 75-93.
- Franco, R. R. 1944. A faixa estanífera do Rio Grande do Sul. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, São Paulo, v.44, p. 5-54.
- Frantz, J. C.; Lima, E. F.; Machado, R. P. & Naumann, M.P. 1984. Contribuição à geologia da região de Encruzilhada do Sul – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, 1984. v. 1, p. 2407-2416.
- Gammerman, N. 1973. Formação Rosário do Sul. *Pesquisas em Geociências*, v. 2, p. 5-36.

- Garcia, A. J. V. 1983. Contribuição ao estudo do supergrupo tubarão na região do Cerro Partido – Município de Encruzilhada do Sul – RS. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, n. 14, p. 5-54.
- Gordon Jr., M. 1947. Classification of the gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos*, Rio de Janeiro, DNPM, v. 38, p. 1-20.
- Hartmann, L. A.; Chemale Jr., F. & Philipp, R. P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.) *50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências*. Contribuições, p. 97-123.
- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R. & Coimbra, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 5(4), p. 257-266
- Hobbs, W. H. 1904. Lineaments of the Atlantic Border region. *Geological Society of America Bulletin*, Colorado, v. 15, p. 483–506.
- Holz, M. 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the early Permian Rio Bonito Formation, Parana Basin, Brazil. In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3. Belém, RN, *Abstracts...* Belém, 2003, p.125-126.
- Holz, M.; Kalkreuth, W. & Banerjee, I. 2004. Sequence stratigraphy of coal-bearing strata - an overview. *International Journal of Coal Geology*, Amsterdam v. 48(3/4), p. 147-179.
- Holz, M. & Scherer C. M. S. 1998. Sedimentological and paleontological evidence of paleoclimatic change during the Southbrazilian Triassic: the register of a global trend towards a humid paleoclimate. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Stuttgart v. 7- 8 (1): 1589-1611.
- Issler, R. S. 1987. Granitos e granitóides da região sul. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 20, p. 125-184.
- Jost, H. 1981. *Geology and metallogeny of the Santana da Boa Vista Region, Southern Brazil*. 208f. Tese (Doutorado em Geociências) – Department of Geology, University of Georgia, Athens – GA.
- Kerr, P. F. 1977. *Optical mineralogy, 4.ed.* New York : Mcgraw-Hill, 492 p.
- Ketzer, J. M. M. 1997. *Cronoestratigrafia das unidades gonduânicas preservadas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras)*. 215 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Kuchle, J. 2010. Análise tectono-estratigráfica de bacias *rifte*. 186 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lambiase, J. J. & Bosworth, W. 1992. Structural Controls on Sedimentation in Continental Rifts. *Elf-Aquitaine Memoir*, Paris, v.13, p. 71-77.
- Lavina, E. L. 1988. The Passa Dois Group. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7. São Paulo, SP, *Field Excursion Guide Book...* USP, São Paulo, 1988, p. 24-30.
- Lavina, E. L. 1989. Formação Pirambóia: um episódio de desertificação da Bacia do Paraná ao Final do Permiano? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1. Rio de Janeiro, RJ, *Boletim de Resumos...* SBG, Rio de Janeiro, 1989, p. 8.

- Lavina, E. L. 1992. Geologia sedimentar e paleogeografia do neopermiano e eotriássico (Intervalo Kazaniano- Scitiano) da Bacia do Paraná. 512 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lavina, E. L. C.; Faccini, U. F. & Ribeiro, H. J. S. 1993. A Formação Pirambóia (Permo-Triássico) no Estado do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 38(1), p. 179-197.
- Leinz, V. 1945. Geologia da Área Mineralizada de Estanho e Tungstênio no Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)*, Rio de Janeiro, v. 70.
- Lima, L. G. 2014. *Análise de Fácies e Modelos Depositionais de Unidades Triássicas da Bacia do Paraná Sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense na Região do Gráben Arroio Moirão, RS: Em Busca de Marcadores Estratigráficos*. 93 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Loczy, L. 1968. Basic and alkalic volcanics of the State of Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 40, p. 187-193.
- López-Gamundí, O. R. & Rosselo, E. A. 1993. Devonian- Carboniferous unconformity in Argentina and its relation to Eo-Hercynian orogeny in Southern South America. *Geologische Rundschau*, Stuttgart, v. 82, p. 136-147.
- Lusa, M.; Philipp, R. P. & Nardi, L. V. S. 2010. Geoquímica e petrologia dos metagranitos do Complexo Encantadas, Santana da Boa Vista, (RS): a evolução de uma margem continental ativa no Paleoproterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 40(2), p. 151-166.
- Maack, R. 1952. Die Entwicklung der Gondwana Schichten Suedbrasiliens und ihre Beziehungen zur Karroo Formation Suedafrikas. In: INTERNATONAL GEOLOGICAL CONGRESS OF ALGIERS, 19. Algiers, *Proceedings...* IUGS, Algiers, v. 19, p. 339-372.
- Machado, J. P. S. L. 2014. *Estruturação do Graben Arroio Moirão, Santana da Boa Vista, RS: Tectônica e geocronologia*. 75 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Martinelli, G. R. & Castro, J. C. 2007. Correlação cronoestratigráfica de alta resolução do Membro Triunfo/Formação Rio Bonito (Eopermiano) no Norte Catarinense. *Relatório, PDPETRO*, Campinas, São Paulo, 1.1.0052-1, 21.
- Medeiros, R. A.; Thomaz F^o, A. & Roncaratti, H. 1970. *Projeto Rio Bonito – Fase 1 (Relatório Interno)*, PETROBRAS/DESUL-SERSTRA, v. 402, 24 p.
- Medeiros, R. A. & Thomaz, F^o. A. 1973. Fácies e Ambientes Depositionais da Formação Rio Bonito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracajú, SE. *Anais...* Aracajú, SBG, 1973. v. 3, p. 3-12.
- Menegat, R. & Scherer, C. M. S. 1993. Formação Caneleiras (RS): Devoniana ou Permo-Triássica?; Critérios para o enquadramento estratigráfico de sequências isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense . In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1. Rio Claro, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*. Rio Claro, IG/UNESP, 1993. p. 90-93.
- Menegat, R.; Scherer, C. M. S.; Ketzer, J. M. M. & Caravaca, G. 1995. A discordância entre a Formação Rio Bonito e a Seqüência Rio do Rasto/Sanga do Cabral da Bacia do Paraná na

Região de Encruzilhada do Sul, RS: implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 2. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Boletim de Resumos Expandidos*, Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 1995. p. 42-46.

Milani, E. J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. 225 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Milani, E.J. 2007. Bacia do Paraná. In *Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.15(2).

Milani, E. J.; Faccini, U. F.; Scherer, C. M. S.; Araújo, L. M. & Cupertino, J. A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP*, São Paulo, v. 29, p. 125-173.

Milani, E. J. & Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary basins of South America. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A. & Campos, D. A. (Ed.). *Tectonic evolution of South America*. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31. Rio de Janeiro, RJ. p. 389-449.

Mohriak, W. U. & Barros, A. Z. N. 1990. Novas evidências de tectonismo Cenozóico na região sudeste do Brasil: O Graben de Barra de São João, na plataforma de Cabo Frio, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 20, p. 187-196.

Nagal S. 2014. Mapping of Lineaments in Adwa River Basin Using Remote Sensing and GIS Techniques. *European Academic Research*, Buzau, v. 2 (7), p. 9646-9658.

Northfleet, A. A.; Medeiros, R. A. & Mühlmann, H. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v.12(3), p. 291-346.

O'Leary, D. W.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, Colorado, v. 87, p. 1463-1469.

Phillip, R. P.; Faccini, U. F.; Machado, J. P.S. & Zvirtes, G. 2015. Tectônica Rúpil Meso e Cenozóica e a Formação do Graben Arroio Moirão, Santana da Boa Vista, RS. (*Em preparação*).

Picada, R. S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Riograndense. Caracterização dos sistemas de falhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. Porto Alegre, RS. *Anais...* Porto Alegre, SBG, 1971. v. 1, p. 167-191.

Pimentel, G. B.; Orlandi Filho, V. & Lopes, R. C. 1990. Faciologia e Caracterização Paleambiental da Seqüência Vulcano-Sedimentar Caneleiras – Folha Piratini, RS. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.12, p.23-27.

Quintas, M. C. L.; Mantovani, M. S. M. & Zalán, P. V. 1999. Contribuição ao estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 29, p. 217-226.

Remus, M. V. D.; Tedesco, M. A. & Phillip, R. P. 1987. Evolução Estrutural dos Metamorfitos Porongos a Sul do Rio Camaquã/RS. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, PR. *Anais...* Curitiba, SBG- Núcleo PR, 1987. v. 1, p. 222-243.

Schneider, R. L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. A.; Daemon, R. F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre, RS, *Anais...* Porto Alegre, SBG, 1974, V. 1, p. 41-65.

Schultz, C. L. 1995. Subdivisão do Triássico do RS com base em macrofósseis: problemas e perspectivas. *Comunicações do Museu de Ciência e Tecnologia*, Porto Alegre, v. 1, p. 43-50.

Schultz, C. L.; Scherer, C. M. S. & Barberena, M. C. 2000. Biostratigraphy of southern brazilian middle-upper triassic. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30(3), p. 495-498.

SIAGAS Sistema de Informação em Águas Subterrâneas: Banco de dados de poços tubulares, mantidos pela CPRM. Disponível em:
http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em 10 de Mar. 2015.

Soares, P. C. 1974. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre, RS, *Anais...* Porto Alegre, SBG, 1974, v. 1, p. 107-121.

Soares, P. C. 1975. Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 5(4), p. 251.

Soares, P. C., Barcelos P. E. & Csordas S. M. 1982. Análise, interpretação e integração de lineamentos a partir de imagens (Radar-Landsat) e suas relações com a tectônica da Bacia do Paraná. *Relatório Paulipetro*, São Paulo, RT-342/82.

Soliani Jr., E. 1986. *Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. 425 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Tessari, R. L. & Picada, R. S. 1966. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)*, Rio de Janeiro, v. 124.

Tessari, R. L. & Picada, R. S. 1963. Formação Caneleiras. *Conferência no Núcleo do Rio Grande do Sul da Sociedade Brasileira de Geologia*, Porto Alegre.

Tognoli, F. M. W.; Rohn, R. & Castro, J. C. 2003. Arcabouço estratigráfico do Grupo Guatá no leste paranaense. In: CONGRESSO DE PESQUISA & DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO & GÁS, 2. Rio de Janeiro, RJ, 6 p, 1 CD-ROM.

Travassos, R. P. 2014. *Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-Rio-Grandense – Rio Grande do Sul – Brasil, com base em aeromagnetometria*. 64 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

UFRGS. 1964. Mapeamento Geológico da Folha Cerro Partido. *Trabalho de Graduação em Geologia*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UFRGS. 1973. Mapeamento Geológico da Folha Arroio Barracão. *Trabalho de Graduação em Geologia*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Vail, P. R.; Mitchum, R. M. & Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, Tulsa, v. 26, p. 63-81.

Vieira, D. T. 2012. *Tectônica e estratigrafia da sequência permo-triássica na Região de Encruzilhada do Sul, RS*. 106 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Weschenfelder, J.; Kirchheim, R. E.; Scherer, C. M. S. & Cazzulo-Klepzig, M.C. 1993. Ocorrência de rochas sedimentares gondwanicas Eo-Permianas sobre a borda leste do Escudo Sul-rio-grandense. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 39, p. 599-614.

White, I. C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. *Relatório DNPM*, Rio de Janeiro, v. 1, 300 p.

Zalán P.V., Wolff S., Conceição J.C.J., Astolfi M.A.M., Vieira I.S., Appi V.T., Zanotto O.A. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, PR. *Anais...* Curitiba, SBG- Núcleo PR, 1987. v. 1, p. 441-477.

Zalán, P.V.; Wolff, S.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Conceição, J.C.J.; Appi, V.T.; Neto, E.V.S; Cerqueira, J.R. & Marques, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, v. 5(1), p. 681-707.

Zerfass, H. 2003. *História tectônica e sedimentar do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e Cuyo (Argentina)*. 191 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.