

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ROBERTA ADELINA MACHADO DE MACEDO

**SIGNIFICADO GEOLÓGICO DE UMA ANOMALIA GEOFÍSICA
AEROMAGNÉTICA NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Caçapava do Sul

2018

ROBERTA ADELINA MACHADO DE MACEDO

**SIGNIFICADO GEOLÓGICO DE UMA ANOMALIA GEOFÍSICA
AEROMAGNÉTICA NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Profº Dr. Tiago Rafael Gregory

Caçapava do Sul

2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

d141s de Macedo, Roberta Adelina Machado
Significado geológico de uma anomalia geofísica
aeromagnética no Escudo Sul-rio-grandense / Roberta Adelina
Machado de Macedo.

45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2018.

"Orientação: Tiago Rafael Gregory".

1. Lineamentos magnéticos. 2. Dique. 3. Rochas gabróicas.
4. Olivina-gabro. I. Título.

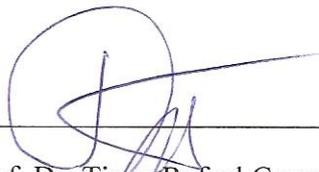
ROBERTA ADELINA MACHADO DE MACEDO

**SIGNIFICADO GEOLÓGICO DE UMA ANOMALIA GEOFÍSICA
AEROMAGNÉTICA NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 21 de dezembro de 2018.

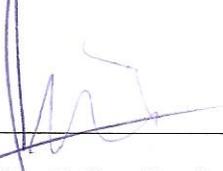
Banca examinadora:



Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Orientador

UNIPAMPA



Prof. Dr. Felipe Guadagnin

UNIPAMPA



Prof. Dr. Vinicius Matté

UNIPAMPA

RESUMO

A integração de dados de sensoriamento remoto e geológicos tem-se mostrado muito importante e eficaz ao longo dos anos na identificação e interpretação de estruturas e suas direções preferenciais. Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma contribuição aos estudos que envolvem detalhamentos de lineamentos magnéticos que cortam o Escudo Sul-rio-grandense (Esrg), especificamente os dispostos na direção NW-SE. O objetivo principal deste trabalho está embasado em entender o significado de campo de uma destas feições lineares anômalas situada no Terreno Tijucas, na porção central do ESrg, por meio de caracterização geológica e petrográfica. Com isso, pretende-se buscar indícios que associem a referida anomalia magnética aos processos de formação do Arco de Rio Grande, representado por um alto estrutural de rochas do embasamento cortadas por uma série de intrusões relacionadas ao vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. A análise e interpretação dos dados procederam-se por meio das investigações de produtos de sensoriamento remoto, como mapa de anomalia aeromagnética e imagens de satélite, para escolha de um lineamento a ser investigado em campo. Após isso, foram elaborados trabalhos de campo para coleta de dados e amostras para caracterização petrográfica em lâmina delgada. Por meio das observações de campo foi possível reconhecer que as rochas que se encontram sobre o lineamento magnético tratam-se de uma rocha ígnea plutônica gabroica, estruturada sob a forma de um dique. A análise petrográfica foi realizada em sete lâminas confeccionadas a partir das amostras coletadas na área em trabalhos de campo e do projeto no qual este trabalho está vinculado, intitulado Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul. Esta análise possibilitou concluir, por meio da identificação da assembleia mineralógica, dos teores de anortita e da porcentagem dos minerais estimados por estimativa visual de campos, que as rochas verificadas são olivina-gabros. De acordo com os estudos realizados, conjuntamente com a revisão bibliográfica da área que compreende o lineamento, acredita-se que ele esteja relacionado com os processos de formação do Arco de Rio Grande, uma vez que possui a mesma direção NW-SE e contém rochas com composição semelhante aos equivalentes vulcânicos dos basaltos da Formação Serra Geral.

Palavras-chave: Arco de Rio Grande, lineamentos magnéticos, rochas gabroicas

ABSTRACT

The integration of remote sensing and geological data has been very important and effective over the years in the identification and interpretation of structures and their preferred directions. In this context, the present work presents a contribution to the studies that involve details of magnetic lines that cut the Sul-rio-grandense Shield (SrgS), specifically those arranged in NW-SE direction. The main objective of this work is to understand the field meaning of one of these anomalous linear features located in the Tijucas Terrain, in the central portion of SrgS, through geological and petrographic characterization. Therefore, it is intended to find indications that associate said magnetic anomaly with the processes of formation of the Rio Grande Arc, represented by a structural high of basement rocks cut by a series of intrusions related to the basaltic volcanism of the Serra Geral Formation of the Paraná Basin. The analysis and interpretation of the data was carried out through the investigation of remote sensing products, such as map of aeromagnetic anomaly and satellite images, to choose a lineament to be investigated in the field. After that, field work was done to collect data and samples for petrographic characterization in thin sections. By means of the field observations it was possible to recognize that the rocks that are on the magnetic lineament are a gabbroic plutonic igneous rock, structured in the form of a dike. The petrographic analysis was carried out in seven slides made from the samples collected in the area in field works and the project in which this work is linked, titled Investigation of Magnetic Lineaments in Rio Grande do Sul. This analysis made it possible to conclude, through the identification of the mineralogical assembly, the anorthite contents and the percentage of minerals estimated by visual field estimation, that the verified rocks are olivine-gabbros. According to the studies carried out, in conjunction with the bibliographic review of the area comprising the lineament, it is believed that it is related to the formation processes of the Rio Grande Arc since it has the same NW-SE direction and contains rocks with similar composition to the volcanic equivalents of the Serra Geral Formation basalts.

Key words: Rio Grande Arc, magnetic lineaments, gabbroic rocks

SUMÁRIO

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 8 |
| 2.1 | Objetivos Gerais..... | 8 |
| 2.2 | Objetivos Específicos..... | 8 |
| 3. | JUSTIFICATIVA..... | 9 |
| 4. | ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO..... | 10 |
| 4.1 | Localização..... | 10 |
| 4.2 | Geologia Regional..... | 11 |
| 4.3 | Geologia Local..... | 13 |
| 5. | REVISÃO DE TRABALHOS ANTERIORES..... | 16 |
| 6. | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 22 |
| 6.1 | Revisão Bibliográfica..... | 22 |
| 6.2 | Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geofísica..... | 22 |
| 6.3 | Trabalhos de Campo e Aquisição de Dados..... | 23 |
| 6.4 | Organização dos Dados..... | 24 |
| 6.5 | Análise e Interpretação dos Resultados..... | 24 |
| 7. | RESULTADOS..... | 26 |
| 7.1 | Dados de Sensoriamento Remoto..... | 26 |
| 7.2 | Caracterização de Campo..... | 28 |
| 7.3 | Caracterização Petrográfica..... | 32 |
| 8. | DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 35 |
| | REFERÊNCIAS..... | 37 |

1. INTRODUÇÃO

Estudos geológicos são fundamentais em diversas áreas do conhecimento, principalmente naquelas relacionadas à compreensão dos mecanismos de formação do Planeta Terra. De acordo com Popp (2012), a Geologia é a parte das geociências que objetiva estudos sobre os agentes de formação e transformação de corpos rochosos, como também da composição e disposição das rochas na crosta terrestre.

Na geologia estrutural o entendimento da natureza das estruturas deformacionais possibilita estimar a evolução tectônica de uma determinada área. Conforme o Manual Técnico de Geologia (Araújo *et al.*, 1996), os tipos de estruturas variam em função do comportamento dos materiais submetidos às tensões. As rochas manifestam-se de maneiras distintas perante aos esforços, podendo assumir um regime de deformação rúptil ou dúctil conforme a sua reologia (FOSSSEN, 2012).

O presente trabalho apresenta o estudo geológico de uma região caracterizada por lineamentos magnéticos que exibem direções coincidentes com lineamentos estruturais decorrentes de eventos tectônicos que resultaram na formação e evolução do Escudo Sul-riograndense. Lineamentos são feições lineares que podem ser mapeadas na superfície terrestre, cujas partes estão ordenadas em uma relação retilínea, definindo dessa forma os padrões das feições adjacentes e presumivelmente representando um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY *et al.*, 1976).

A área de estudo se localiza na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, na fração oeste do Escudo Sul-riograndense (ESrg), abrangendo rochas da Bacia do Camaquã e do Complexo Metamórfico Porongos, no Terreno Tijucas (HARTMANN *et al.*, 2007). Ela compreende diversos lineamentos com direções preferenciais NW e NE, verificados por meio de imagens de satélite e estudos aeromagnéticos (TRAVASSOS, 2014).

Há algum tempo, diversos pesquisadores vêm analisando os lineamentos magnéticos que cortam as litologias do ESrg para compreender parte da história evolutiva, que ainda se mostra bastante complexa. Ferreira (1983) relata, por meio de levantamentos aeromagnéticos de escala 1:1.000.000, a existência de algumas discontinuidades principais na Bacia do Paraná, dispostas na direção NW, representadas por arcos estruturais como o Arco de Ponta Grossa, o Arco de Campo Grande e o Arco de Rio Grande. No ESrg, Travassos (2014),

baseando-se em estudos anteriores, interpreta alguns lineamentos magnéticos na escala 1:500.000 que podem estar associados com outras estruturas maiores de direção NW. O Arco de Rio Grande seria responsável por soerguer as unidades do Escudo Sul-rio-grandense e da Bacia do Paraná, sendo uma extensa estrutura alinhada na direção NW-SE que se estende ao longo da porção central do Rio Grande do Sul, caracterizado por uma flexura positiva da crosta terrestre na região sul do Brasil, apresentando uma série de fraturas de direção NW preenchidas por basaltos da Formação Serra Geral (ASMUS & BAISCH, 1983; GALLAGHER & HAWKESWORTH, 1994).

O objetivo deste trabalho é verificar o significado de campo de um dos lineamentos magnéticos de direção NW que cortam o ESrg, caracterizar o tipo de rochas associada e determinar a sua possível relação com o Arco de Rio Grande. Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa intitulado “Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul”, coordenado pelo Prof^o Dr. Tiago Rafael Gregory, registrado junto ao Sistema de Informação de Projetos de Pesquisa, Ensino e Extensão da Universidade Federal do Pampa (Unipampa).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é verificar o significado geológico de campo de um lineamento com anomalia magnética que corta determinada área do ESrg e entender a sua relação com o Arco de Rio Grande, através de dados obtidos em campo e descrições petrográficas.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Verificar em campo os tipos de rochas localizados sobre anomalias magnéticas;
- Realizar estudos para reconhecer a geologia local e detalhar as estruturas presentes;
- Efetuar coleta de dados e amostras em áreas-chave;
- Compilar dados geológicos, geofísicos e petrográficos para caracterizar os lineamentos magnéticos.

3. JUSTIFICATIVA

Embora o ESrg seja alvo de vários estudos geológicos e estruturais, existem poucos estudos abrangentes ainda que integram sensoriamento remoto e geoprocessamento, além de serem escassos os trabalhos que envolvam pesquisas de geologia estrutural rúptil de detalhe. As metodologias de estudos de campo são essenciais em mapeamentos de detalhe para reconhecimento de feições litológicas e estruturais. Contudo, muitas vezes elas se tornam ineficazes nos mapeamentos a níveis regionais, por ser inviável de obter a cobertura de toda área estudada.

Na tentativa melhorar a interpretação sobre as rochas e feições estruturais em superfície, vem se integrando ao longo dos anos técnicas de sensoriamento remoto e processamentos geofísicos conjuntamente a estudos petrográficos e de mapeamento geológico (IBANEZ, 2007; BARBOSA, *et al.*, 2013). Conforme Sousa *et al.* (2007) o uso de técnicas de sensoriamento remoto integrada aos dados aerogeofísicos (magnetometria) revela-se como uma ferramenta essencial para a compreensão da evolução tectônica e estrutural da área. Através destas técnicas é possível a identificação de lineamentos e suas direções preferenciais (LOUSADA & CAMPOS, 2005).

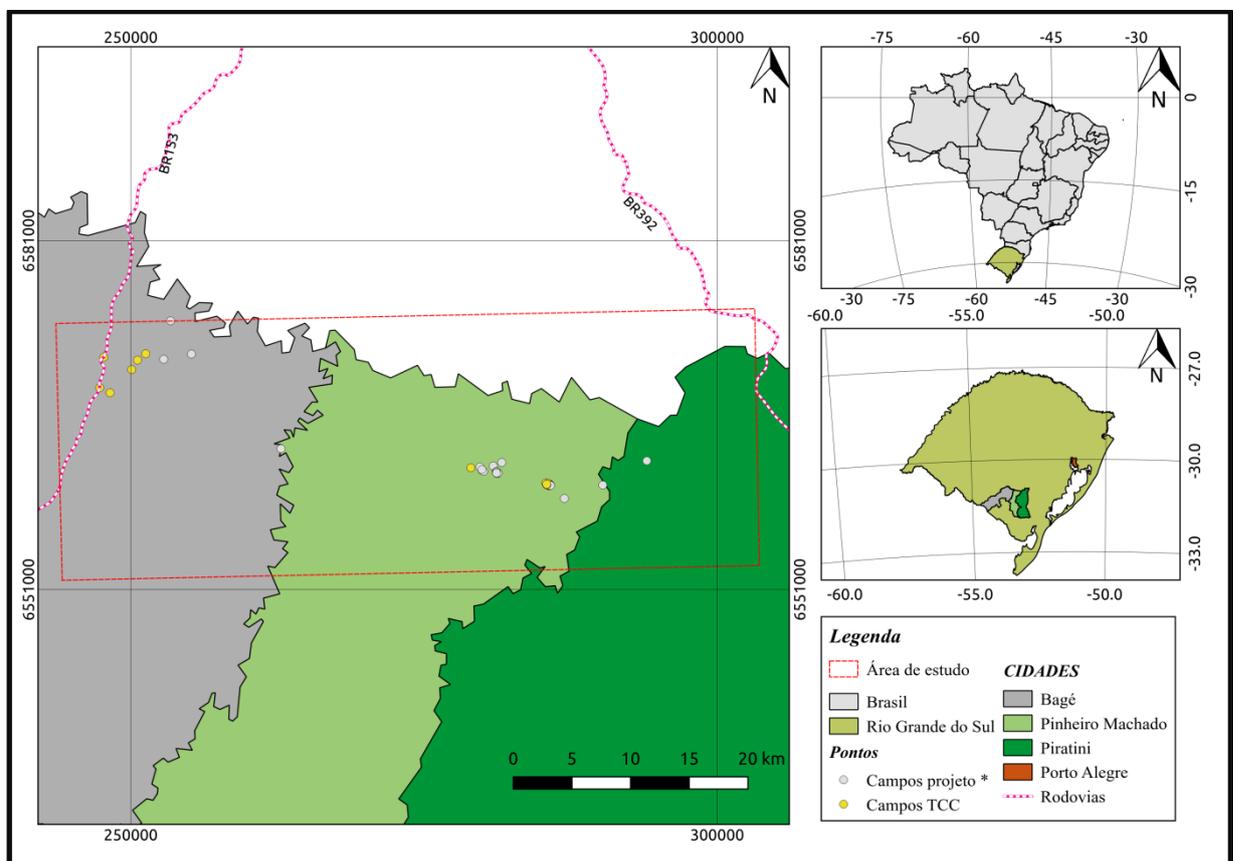
Tendo em vista a grande relevância da interpretação dos lineamentos que integram a área observada e a possível relação com a evolução do Arco de Rio Grande, acredita-se que a integração de dados de sensoriamento remoto (aeromagnéticos e imagens de satélite) com dados de campo (geológico-estruturais) e laboratório (petrografia) devam fornecer informações significativas do ponto de vista tectônico e estrutural com relação aos eventos ocorridos nesta parte do ESrg.

4. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Localização

A área de estudo proposta pelo projeto no qual este trabalho faz parte localiza-se no estado do Rio Grande do Sul estendendo-se ao longo dos municípios de Bagé, Piratini e Pinheiro Machado com aproximadamente 1.500 km². Está localizada a sudoeste da capital Porto Alegre e inserida no polígono vermelho representado na Figura 1. É limitada pelas coordenadas 311397 mE/309407 mE e 536835 mS/530601 mS. As principais vias de acesso à área de estudo, a partir de Porto Alegre, são as estradas federais BR-290, sentido W, tomando-se as rodovias BR-153 e/ou BR-392.

Figura 1 – Mapa de localização e situação da área de estudo que se encontra situada na região sul do Brasil no estado do Rio Grande do Sul e compreende dados coletados em trabalhos de campo do TCC como também dados de campos do projeto* na qual este trabalho faz parte.



Fonte: modificado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

4.2 Geologia Regional

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) situa-se na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul e caracteriza-se por um conjunto de rochas de idades pré-cambrianas e cambrianas. Ele compreende uma área de aproximadamente 65.000 km² (HARTMANN *et al.*, 2007), delimitada ao norte, oeste e sul pela Bacia do Paraná e a leste pela Província Costeira do Rio Grande do Sul (SOLIANI JR., 1986).

Os processos de formação do ESrg são resultantes de dois ciclos tectônicos principais, de idade paleoproterozoica (2,26-2,00 Ga) e neoproterozoica (900-535 Ma) (HARTMANN *et al.*, 2007). Suas feições características e associações rochosas são produtos das inúmeras transformações, acreções e processos de retrabalhamento crustal que se desenvolveram durante estes dois períodos.

Estes ciclos tectônicos são caracterizados por fases de abertura e fechamento de oceanos, colisão entre continentes, aglutinação de terrenos e posterior “cratonização” dos mesmos, gerando supercontinentes (BRITO NEVES, 2004; HASUI, 2010). O mais antigo supercontinente é conhecido como Colúmbia, de idade aproximada entre 2,3 e 1,8 Ga, e sua fragmentação deu início à separação dos megacontinentes Ártico e Atlântico segundo Rogers (1996), onde esse processo distensivo no Brasil foi denominado Tafrogênese Statheriana por Brito Neves (1995). Posteriormente, formou-se o supercontinente Rodínia, oriundo dos continentes remanescentes de Colúmbia em 1,1-1,0 Ga, e seu rifteamento foi nomeado como Tafrogênese Toniana (BRITO NEVES *et al.*, 1999; FUCK *et al.*, 2008).

Progressivamente, após a desagregação de Rodínia, as massas continentais da América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártida convergeram-se até formar o supercontinente Gondwana, determinando o fechamento dos oceanos Adamastor, Goiás e Borborema entre os continentes Sul-Americano e Africano, culminando na geração dos sistemas orogênicos Mantiqueira, Tocantins e Borborema no Ciclo Brasileiro na porção brasileira (HASUI, 2010).

Conforme Almeida *et al.* (1981) e Heilbron *et al.* (2004), a Província Mantiqueira retrata a evolução da América do Sul no Neoproterozoico por meio de orógenos colisionais que denotam sucessões de cinturões dobrados. Ela se estende por cerca de 3000 km ao longo da costa Atlântica, distribuindo-se desde a Bahia até o Uruguai, dividindo-se em três grandes domínios: Setentrional, Central e Meridional, onde a porção setentrional compreende o

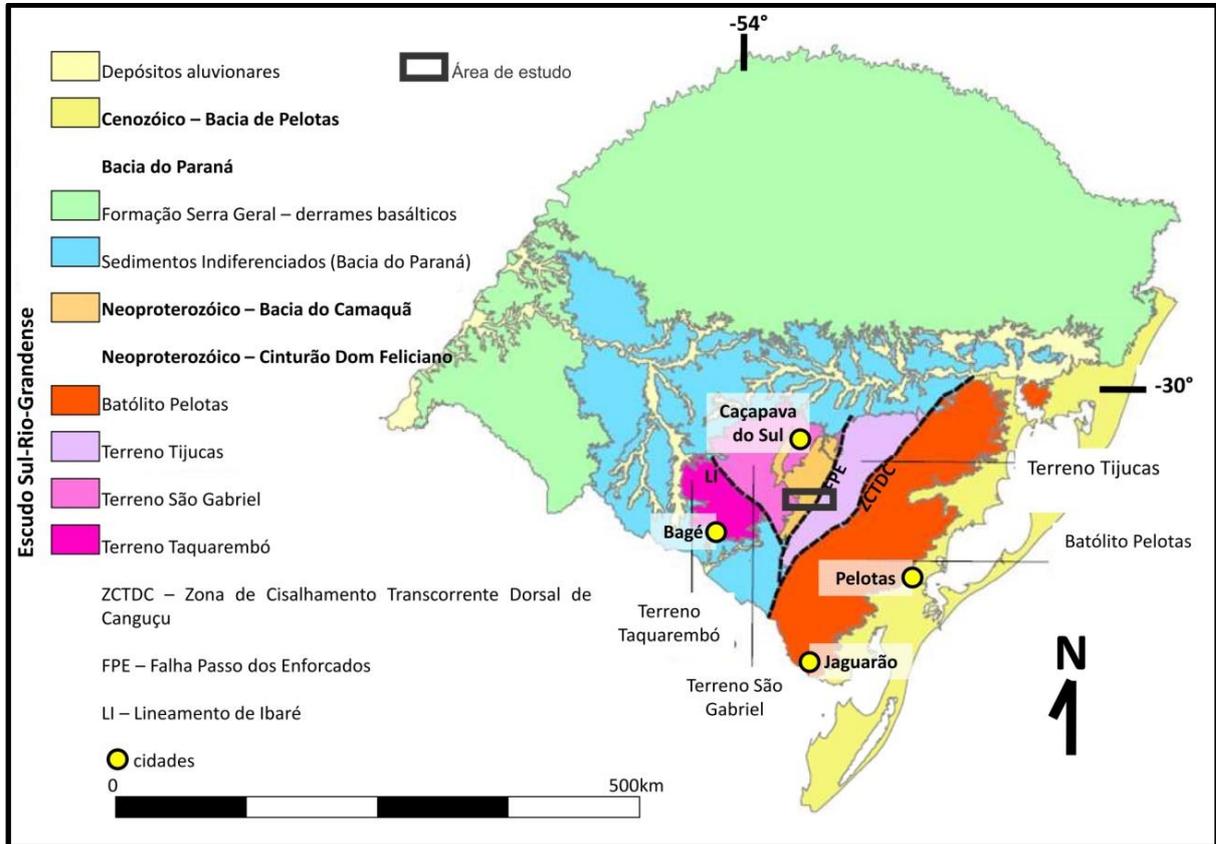
Cinturão Araçuaí, a central o Cinturão Ribeira e a porção meridional inclui o Cinturão Dom Feliciano (CDF), que ocupa a região oriental do ESrg, segmentando-se em três grandes unidades de rochas aflorantes (Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel e Batólito Pelotas; HEILBRON *et al.*, 2004).

De acordo com a proposta de Chemale Jr. (2000) e Hartmann *et al.* (2007), o ESrg subdivide-se em quatro unidades geotectônicas, baseadas na geoquímica, petrografia, geofísica, geologia isotópica e estratigrafia, levando em consideração as duas principais unidades do embasamento cristalino: o Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano.

Os fragmentos do Cráton Rio de La Plata são representados no RS pelo Terreno Taquarembó (originado durante o Paleoproterozoico e localizado a sudoeste do ESrg, caracterizado por gnaisses do Complexo Granulítico Santa Maria Chico parcialmente retrabalhados durante o Neoproterozoico) e, juntamente com os domínios do CDF (Terreno São Gabriel: septos do embasamento localizado na parte noroeste do ESrg, composto por gnaisses cálcio-alcálicos juvenis; Terreno Tijucas: ortognaisses do Complexo Encantadas e associações de rochas meta-vulcânicas e meta-sedimentares; e o Batólito Pelotas: complexo granítico composto de sete suítes graníticas geradas durante extenso retrabalhamento crustal neoproterozoico dos gnaisses do embasamento), formam as quatro unidades do ESrg (Figura 2; CHEMALE JR., 2000; HARTMANN *et al.*, 2007).

O Terreno Tijucas está situado na porção central do ESrg, estendendo-se no estado do Rio Grande do Sul em uma faixa alongada de direção NE-SW, apresentando aproximadamente 170 km de extensão e de 30 a 50 km de largura (HARTMANN *et al.*, 2007). Ele é constituído por uma associação de rochas meta-sedimentares e meta-vulcânicas de fácies xisto verde a anfibólito (LUSA, *et al.* 2010), de idade mesoproterozoica a neoproterozoica (Complexo Metamórfico Porongos), contendo exposições de um embasamento paleoproterozoico (Complexo Encantadas), afetado por sete fases de deformações (HARTMANN *et al.*, 2007). O Complexo Encantadas é composto por metagranitóides milonitizados de composições monzoníticas e sienograníticas e pelo Gnaisse Encantadas (LUSA, *et al.*, 2010). O Complexo Metamórfico Porongos encontra-se cavalgado sobre o embasamento paleoproterozoico do Complexo Encantadas. Ambos complexos são afetados por dobras regionais, com o embasamento exposto no núcleo de antififormes de grande escala onde o Complexo Porongos localizado em seus flancos (JOST & BITENCOURT, 1980).

Figura 2 – Mapa geológico com as principais unidades do Escudo Sul-rio-grandense e a localização da área de estudo.

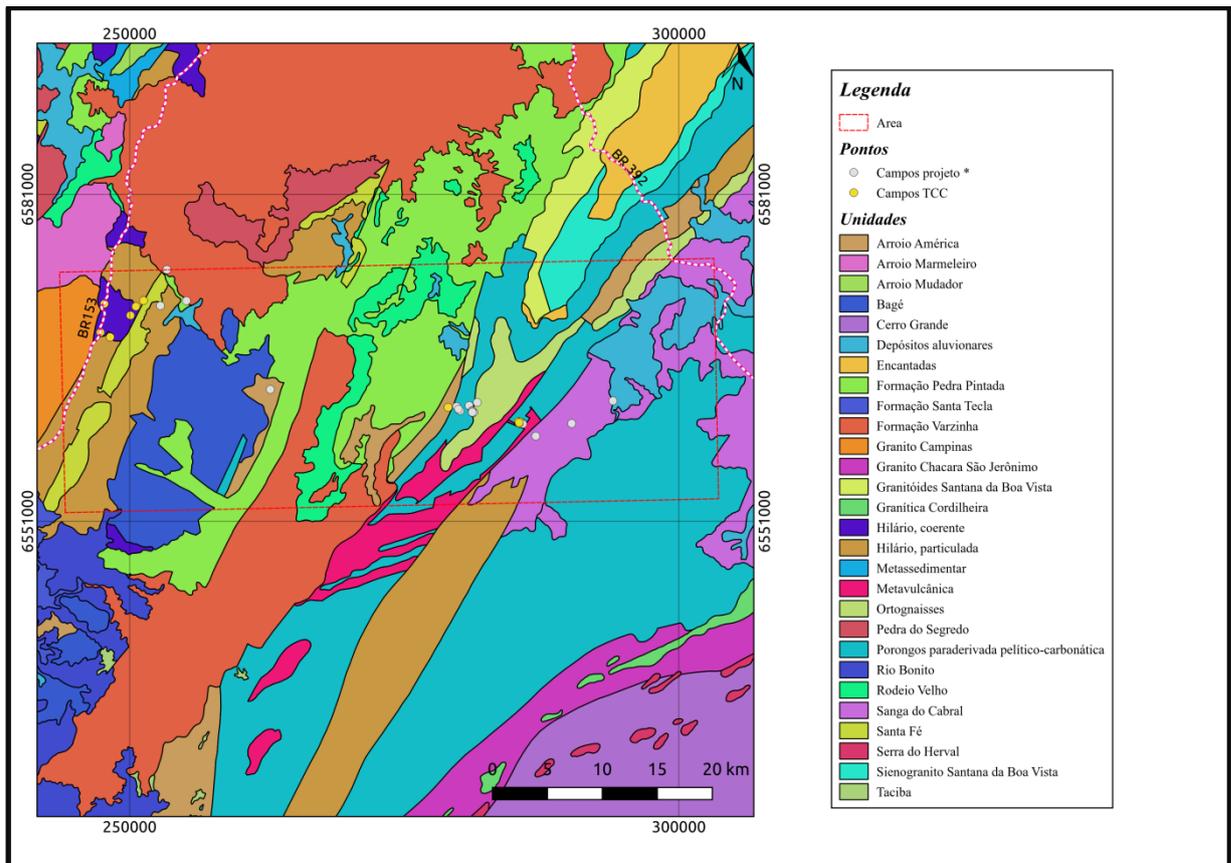


Fonte: extraído e modificado de Wildner *et al.* (2006).

4.3 Geologia Local

O contexto geotectônico da área de estudo engloba as unidades geológicas de rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos no Terreno Tijucas associadas com algumas porções de rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã. A área abrange aproximadamente 1.500 km² e está inserida no polígono vermelho representado no mapa geológico da Figura 3. O mapa exhibe as principais unidades geológicas que compõem a região de estudo.

Figura 3 - Mapa geológico com as principais unidades que compreendem a área de estudo.



Fonte: extraído e modificado de Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2013).

4.3.1 Complexo Metamórfico Porongos

O Complexo Metamórfico Porongos (CMP) está inserido no Terreno Tijucas (CHEMALE, 2000), compreendendo rochas de idades mesoproterozoica e neoproterozoica. Autores como Saalman et al. (2006) atestam que o CMP caracteriza-se por intenso retrabalhamento de crosta antiga. Caracterizado por várias fases de dobramentos, apresenta complexa trama estrutural em sucessões metavulcanossedimentares metamorfasadas em condições de baixo a médio grau de metamorfismo, entre as fácies xisto verde e anfibolito (JOST & BITENCOURT, 1980).

A localização do complexo dispõe-se em uma faixa alongada de direção N45°E com aproximadamente 170 km de comprimento e 15 a 30 km de largura. Situa-se na porção centro leste do Cinturão Dom Feliciano (FRAGOSO-CÉSAR, 1980), limitando-se a leste com o

Batólito Pelotas pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e Passo do Marinheiro e separa-se da Bacia do Camaquã por falhas normais e transcorrentes, sendo parcialmente encoberto por sedimentos siliciclásticos das sub-bacias Piquiri-Boici na porção central e Guaritas a oeste.

Embora a história de formação seja ambígua, existem várias interpretações para o ambiente geotectônico do CMP, como margem passiva (JOST & BITENCOUT, 1980), margem ativa (CHEMALE JR., 2000) e bacia de retro-arco (FERNANDES *et al.*, 1995; HARTMANN *et al.*, 2000). Essa indefinição se deve ao alto grau de complexidade relacionado à sua formação, pois se associa a processos de deformação e metamorfismo que acabam por modificar as estruturas originais das rochas.

Os dados isotópicos e de elementos-traço das rochas metavulcanossedimentares sugerem possivelmente a deposição em crosta continental distendida ou, em contra partida, em um arco magmático continental com retrabalhamento da crosta continental paleoproterozoica (HARTMANN *et al.*, 2007). Conforme Phillip *et al.* (2013), houve uma evolução tectônica de margem passiva para uma bacia de retro-arco.

As rochas pré-Brasilianas, expostas preferencialmente nas áreas centrais do CMP, correspondem a rochas gnáissicas do embasamento e estão em parte representadas pelo alinhamento de antiformes com orientação de SW-NE (JOST & BITENCOURT, 1980).

4.3.2 Bacia do Camaquã

A Bacia do Camaquã encontra-se assentada sobre os terrenos ígneos e metamórficos do ESrg, subdividindo-se em cinco Alogrupos: Alogrupo Maricá, Alogrupo Bom Jardim, Alogrupo Cerro do Bugio, Alogrupo Santa Bárbara e Alogrupo Guaritas (PAIM *et al.*, 2000).

O Alogrupo Maricá (AM), de idade aproximada em 620-592 Ma, compõe-se de arenitos arcoseanos, folhelhos, siltitos, além de rochas vulcânicas de composição ácida. Paim *et al.* (2000) assumem que este alogrupo encontra-se bem preservado na Sub-Bacia Ramada, região onde a unidade foi originalmente definida.

O Alogrupo Bom Jardim (ABJ), estimado com idade entre 593 ± 6 e $580 \pm 3,6$ Ma, é representado por uma sucessão vulcanossedimentar que encontra-se limitado por duas discordâncias angulares que o limitam na base com o Alogrupo Maricá e no topo com o Alogrupo Cerro do Bugio (PAIM *et. al.*, 2000). É Composto litoestratigraficamente pelas Formações Cerro da Angélica, Hilário e Picada das Graças.

O Alogrupo Cerro do Bugio (ACB) é subdividido como um intervalo vulcânico denominado de Acampamento Velho Inferior (AVI), sobreposto de outro intervalo vulcânico chamado de Acampamento Velho Superior (AVS) e cobertos pela Aloformação Santa Fé, com idade entre 574 e 550 Ma (PAIM; CHEMALE JR; WILDNER, 2014).

O Alogrupo Santa Bárbara (ASB) subdivide-se em Aloformação Pedra do Segredo e Aloformação Serra dos Lanceiros. Esta unidade é composta por arenitos finos e médios com estratificações cruzadas tabulares, ritmito areno-pelítico em camada tabular, arenitos e conglomerados. Esta formação é interpretada como frente deltaica de deltas estuarinos progradacionais (PAIM *et al.*, 1995).

O Alogrupo Guaritas (AG) registra o último episódio tectono sedimentar da Bacia do Camaquã (PAIM; CHEMALE JR; WILDNER, 2014). Está dividido em duas unidades geológicas, limitadas por uma discordância erosiva. A Aloformação Pedra Pintada, que se diferencia por expressivos depósitos eólicos e, próximo à margem SE do rifte, fácies aluviais e a Aloformação Varzinha, com fácies fluviais, lacustres e eólicas (PAIM *et al.*, 2000).

5. REVISÃO DE TRABALHOS ANTERIORES

É importante salientar que o entendimento geológico de diversas áreas da geologia do Brasil progrediu significativamente nas últimas décadas, destacando principalmente os estudos relacionados ao embasamento cristalino do Rio Grande do Sul, que é alvo do presente trabalho. Esse avanço deve-se a estudos feitos por autores como Picada (1971), Fragozo César (1980), Almeida (1981), Soliani Jr. (1986), Fernandes (1995), Chemale Jr. (2000), Hartmann *et al.* (2007), entre outros. Porém, embora existam muitos trabalhos de cunho geológico no ESrg, os estudos que envolvem levantamentos geofísicos incorporados ao geoprocessamento de imagens de satélites, de um modo geral, são escassos ainda.

A integração entre levantamentos geofísicos e sensoriamento remoto, juntamente com dados geológicos e estruturais regionais, fornecem um diagnóstico estrutural de subsuperfície, colaborando assim para uma melhor compreensão das porções estudadas (LOUSADA & CAMPOS, 2005). Conforme Nunes (2002), com a introdução e o contínuo aperfeiçoamento de técnicas de processamento, integração e análise de dados, o processo de manipulação e extração de dados tornou-se mais simples e eficaz.

É consenso entre diversos autores que o Cinturão Dom Feliciano foi constituído durante o Neoproterozoico no decorrer da colisão continental dos crátons Rio de La Plata, Kalahari e Paranapanema (HASUI, 2010). Esse evento colisional é produto de uma decorrente sucessão de eventos onde, de acordo com Hasui (2010), tais eventos foram diácronos e envolveram processos de fechamento de oceanos e colisão de continentes e microcontinentes, resultando em sistemas orogênicos como o Mantiqueira.

As cadeias montanhosas representadas pelo Sistema Orogênico Mantiqueira, resultantes do fechamento do Oceano Adamastor, sofreram processos geológicos e transformaram-se em segmentos individualizados como o Cinturão Dom Feliciano, que está disposto de forma alongada na direção NE-SW ao longo desta província, compondo grande parte do ESrg (CHEMALE JR., 2000).

Esse entendimento evolutivo da geotectônica que se tem nos dias atuais à respeito da formação do ESrg está em grande parte ligado aos trabalhos de geologia estrutural integrados a mapeamentos geológicos, destacando o trabalho de Picada (1971), que foi o pioneiro na utilização de técnicas estruturais, dando ênfase principalmente para estruturas rúpteis como os lineamentos.

As concepções feitas por Picada (1971) afirmam que o domínio principal dos lineamentos que compõem o ESrg destacam-se na direção NE-SW, especificando desta forma quatro sistemas de falhas principais da região central do ESrg: Sistemas de Falhas Dorsal de Canguçu, Sistema de Falhas Passo do Marinheiro, Sistema de Falhas Açotéia-Piquiri e o Sistema de Falhas N070°W. Este último sistema de falhas está inteiramente relacionado com os falhamentos transcorrentes do Sistema de Falhas Passo do Marinheiro e se prolonga até a porção oeste do ESrg, na região onde está situada Caçapava do Sul.

Posteriormente, Ribeiro (1980), através de pesquisas estruturais, define que os lineamentos de direção NW do ESrg são extensos, profundos e atingem o manto superior,

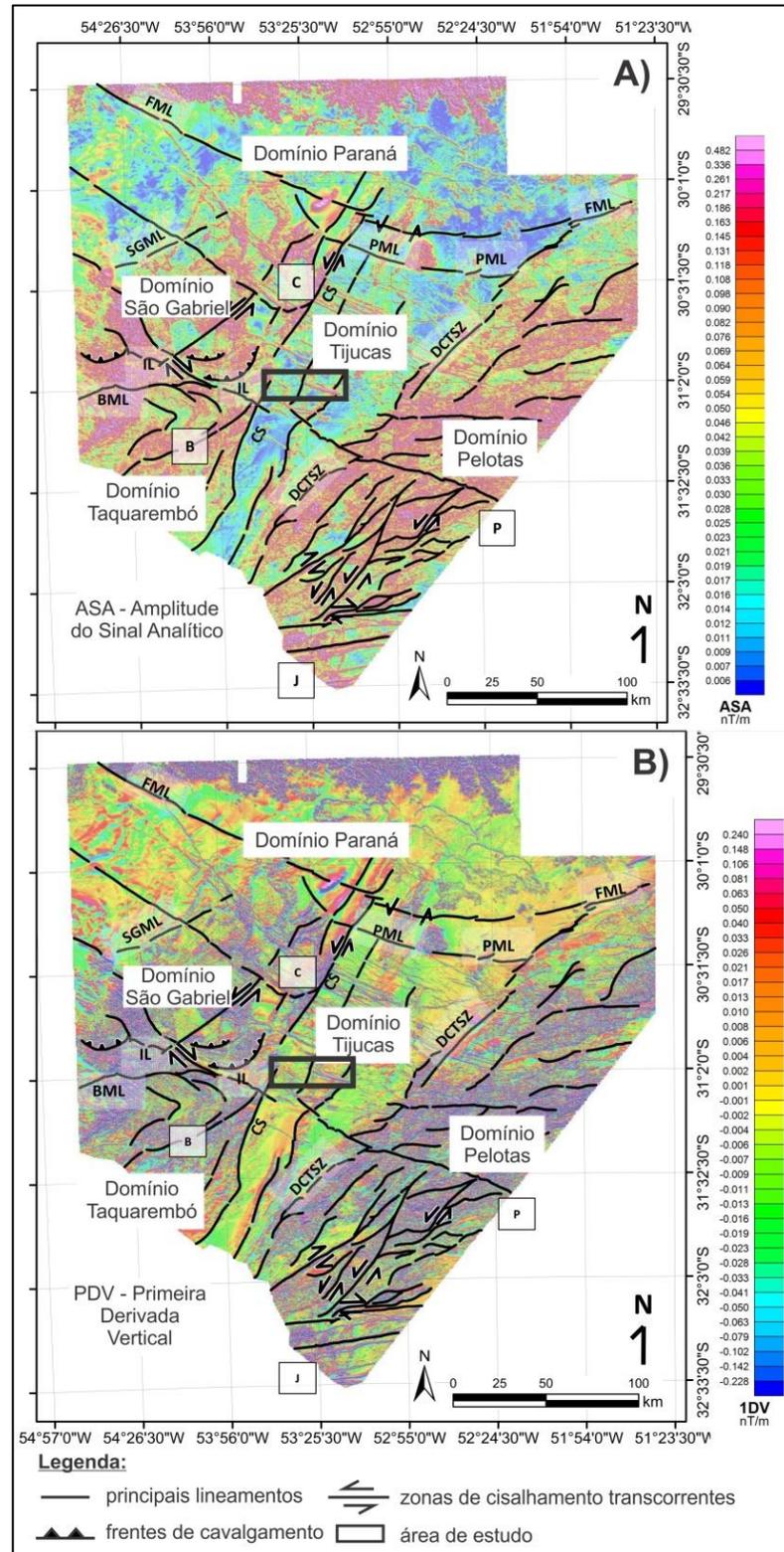
além de afirmar que eles são mais antigos que os granitos Pré-Cambrianos. Esses lineamentos com vergência NW são considerados como falhas seladas pela intrusão de um magma granítico e em seguida reabertas até o manto, onde essa abertura ocasionou a ascensão de magmas básicos encontrados na região do ESrg próximo às rochas que compõem o Complexo Granítico Caçapava do Sul (RIBEIRO, 1980).

A partir da década de 90, começam a surgir trabalhos de modelagem geofísica, como o de Costa (1997), o qual compartimenta o ESrg em três segmentos maiores: Segmento Noroeste (NW), Segmento Central (C) e Segmento Sudeste (SE), todos delimitados por anomalias geofísicas regionais de superfície. Chemale Jr (2000) sustenta que este estudo permitiu a definição de anomalias profundas denominadas de Sutura Caçapava do Sul e Porto Alegre por Costa (1997), que serviram como base para caracterizar as principais unidades no ESrg (Bloco Taquarembó, Cinturão Vila Nova, Cinturão Tijucas e Cinturão Dom Feliciano) e posteriormente discretizar nos domínios Taquarembó, São Gabriel, Tijucas e Pelotas.

Travassos (2014), com o intuito de obter melhores esclarecimentos das estruturas e conseqüentemente da geotectônica do estado, fez uma interpretação manual dos lineamentos magnéticos presentes no ESrg em mapas na escala 1:500.000, tendo como base o levantamento aerogeofísico executado pela LASA Prospecções S.A. em 2010, solicitado pela Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM).

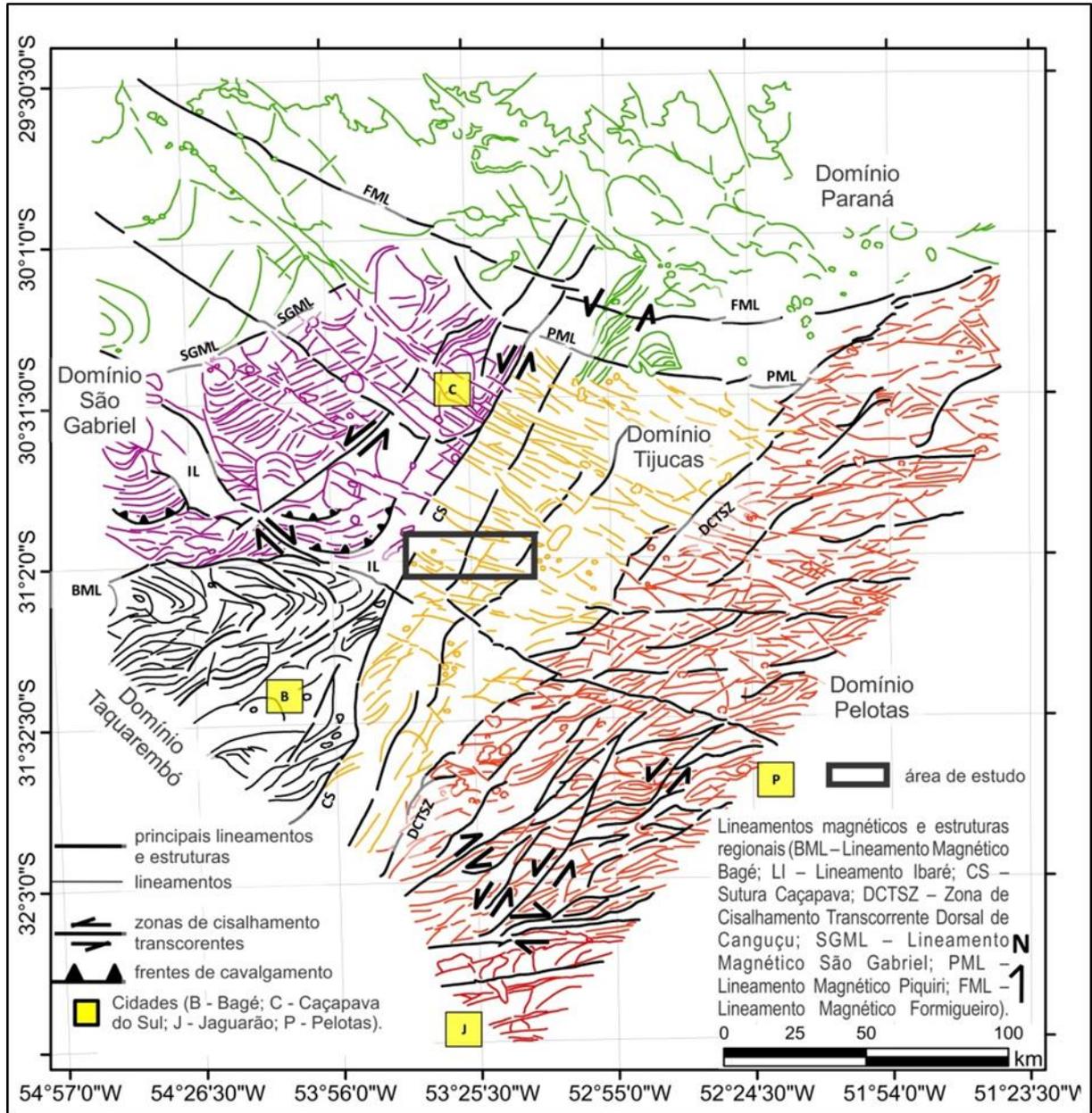
Travassos (2014) comparou os dados obtidos com os domínios geofísicos delimitados por lineamentos magnéticos regionais, interpretados anteriormente por Ribeiro (1978), Costa (1997) e Philipp *et al.* (2002), e definiu cinco domínios magnéticos por meio da interpretação de anomalias de amplitude de sinal analítico e de anomalias da primeira derivada vertical: Domínio Taquarembó, Domínio São Gabriel, Domínio Tijucas, Domínio Pelotas e Domínio Paraná, onde estes domínios possuem localizações semelhantes ao modelo de terrenos Pré-Cambrianos proposto por Hartmann *et al.* (2007; Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Domínios magnéticos apontados por Travassos (2014) através da compreensão de: A) anomalias de amplitude de sinal analítico; e B) anomalias da primeira derivada vertical. A área de estudo é indicada pelo retângulo. Siglas: Cidades (B – Bagé; C – Caçapava do Sul; J – Jaguarão; P – Pelotas). Lineamentos magnéticos e estruturas regionais (BML – Lineamento Magnético Bagé; LI – Lineamento Ibaré; CS – Sutura Caçapava; DCTSZ – Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu; SGML – Lineamento Magnético São Gabriel; PML – Lineamento Magnético Piquiri; FML – Lineamento Magnético Formigueiro).



Fonte: extraído de Travassos (2014).

Figura 5 – Os cinco domínios magnéticos interpretados por Travassos (2014), com indicação da área de estudo.



Fonte: extraído de Travassos (2014).

Constata-se por meio de observação dos domínios magnéticos que dividem o estado do Rio Grande do Sul interpretados por Travassos (2014) na Figura 5, que existem também estruturas lineares maiores de direção NW, se estendendo ao longo de quase todo o estado. Estas estruturas apresentam fortes indícios de estarem relacionadas ao alto estrutural do Arco de Rio Grande, por apresentarem processos de formação similares (TRAVASSOS, 2014).

Asmus & Baisch (1983) assumem que a margem continental do Brasil é resultante de três principais eventos sequenciais: elevação e abaulamento da crosta continental, fragmentação crustal, deslocamento lateral dos blocos continentais fragmentados, propagação do solo oceânico e afundamento da bacia marginal. A elevação topográfica está relacionada com as diferenças nas espessuras da crosta, homogeneidades de composição e intrusões localizadas que ocasionaram impactos, controlando as zonas lineares de instabilidade crustal, formando lineamentos E-W na crosta oceânica (ASMUS & BAISCH, 1983).

Conforme Wildner et al. (2006), a atividade vulcânica da abertura do Oceano Atlântico, foi precedida por injeções de sills e diques ao longo das principais descontinuidades estruturais da Bacia do Paraná. As descontinuidades com maior predominância de direção NW confirmadas por estudos aeromagnéticos feitos por Ferreira (1983), estão representadas por arcos como o Arco de Ponta Grossa, Arco Campo Grande e Arco do Rio Grande como também por lineamentos tectônicos/magmáticos (WILDNER *et al.*, 2006). O alto estrutural representado pelo Arco de Rio Grande encontra-se exposto na direção N050°W, denotando um soerguimento da crosta continental em grande escala, resultando na elevação das unidades do ESrg e da Bacia do Paraná, sendo originado por um segmento de falhas normais e inversas (ASMUS & BAISCH, 1983; GALLAGHER & HAWKESWORTH, 1994).

Os lineamentos tectono-magmáticos associados aos altos estruturais foram gerados na crosta oceânica ocupando cinturões latitudinais ao longo da crosta continental, e estão relacionados à atividade vulcânica da Formação Serra Geral. Eles conectam-se através de um sistema de junção tríplice, formando um conjunto de falhas profundas e fraturas colaterais que procederam como condutos de enxames de diques com direções preferenciais NW-SE, transversais à costa atlântica alimentando o vulcanismo e enxames de direções preferenciais NE-SW, paralelos à costa e à direção de abertura do Atlântico. (ASMUS & BAISCH, 1983; DECKART, *et al.*, 1998; WILDNER, *et al.*, 2006).

Petrograficamente, os diques com direções preferenciais NW-SE que cortam as unidades do ESrg em porções próximas à Bacia do Camaquã são representados por rochas que variam de olivina gabros cinza à olivina diabásios cinza escuro, compostas de minerais como: andesina-labradorita (An45-55), augita-pigeonita, olivina e magnetita, com apatita acessória e sericita, epidoto, carbonato, clorita, serpentina e óxidos e hidróxidos de ferro de alteração (TONIOLO *et al.*, 2007). Ainda de acordo com Toniolo *et al.* (2007), a intrusão que

compreende o dique de olivina gabro é interpretada como correlacionável com o evento magmático da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná e a idade máxima de 532 ± 3 Ma.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos empregados neste trabalho consistem nos seguintes itens:

- Revisão Bibliográfica;
- Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geofísica;
- Trabalhos de Campo e Aquisição de Dados;
- Organização dos Dados;
- Análise e Interpretação dos Resultados.

6.1 Revisão Bibliográfica

Esta etapa fundamenta-se no levantamento de dados através da leitura de trabalhos anteriores aplicados na área de estudo como artigos científicos, resumos, monografias, dissertações e teses que contribuíram para estabelecer os conceitos necessários para a abordagem desse trabalho. Neste contexto, a revisão bibliográfica para a elaboração deste estudo foi estabelecida por meio da análise de estudos sobre a evolução tectônica e o arcabouço geológico/estrutural do ESrg, associação de rochas da porção estudada, além de levantamentos geofísicos aeromagnéticos e de sensoriamento remoto. Esta etapa foi também muito importante para caracterização do problema, delimitação do trabalho e escolha da área a ser investigada em campo.

6.2 Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geofísica

O sensoriamento remoto é o conjunto de atividades que proporciona a aquisição de várias informações dos objetos que integram a superfície terrestre, principalmente através de imagens de satélites obtidas mediante a captação e o registro da energia refletida ou emitida (FLORENZANO, 2002). Usualmente, as imagens de satélite são consideradas como importantes ferramentas para caracterizar grandes áreas com interesse exploratório, possibilitando o mapeamento de estruturas como lineamentos, dobras e falhas com o auxílio de levantamentos aeromagnéticos.

Os dados utilizados para compor este trabalho foram retirados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande de Sul, elaborado pela LASA PROSPECÇÕES S. A., em 2010, por intermédio da CPRM, e processados por Gregory & Guadagnin (2017) e Faé *et al.* (2017). Procuraram identificar possíveis correlações entre anomalias magnéticas de direção principalmente NW com lineamentos identificados em mapas de relevo sombreado, relacionando-as a feições geológicas já mapeadas, como diques. Os produtos gerados, como mapas de anomalias geofísicas, foram utilizados para escolha de uma anomalia a ser investigada em campo.

Para o planejamento de campo foram utilizadas imagens de satélites retiradas do *Google Earth* como também imagens aéreas disponibilizadas pela CPRM, com o intuito de obter-se um pré-conhecimento da área a ser estudada e suas feições geomorfológicas /estruturais, possibilitando assim traçar perfis e selecionar áreas e afloramentos a serem visitados nos trabalhos de campo, bem como escolher as melhores vias de acesso aos locais de interesse. Foram também utilizados nesta etapa os dados de reconhecimento de campos prévios elaborados pela coordenação do projeto.

6.3 Trabalhos de Campo e Aquisição de Dados

Os trabalhos de campo consistem na aquisição de dados geológicos e petrográficos para obtenção de informações da área a ser estudada. A etapa de campo foi realizada em dois dias, onde foram feitos perfis nas proximidades e ao longo dos lineamentos, seguindo as mesmas direções preferenciais destas estruturas de forma regional e, de forma local, cortando-as perpendicularmente.

Ao total foram coletados dados de campo em dezessete pontos, todos denominados de modo sistemático e sequencial, de acordo com as iniciais do nome Roberta Macedo (RM). As amostras retiradas em campo receberam a mesma nomenclatura seguido de uma letra (A, B,C...), conforme o respectivo ponto em que se encontravam, sendo retiradas amostras tanto para análises petrográficas como para análises geoquímicas para arquivo do Projeto de Pesquisa ao qual este trabalho de conclusão está associado. A aquisição das coordenadas geográficas de cada ponto foi feita com auxílio de aparelho de GPS Etrex Garmin, utilizando o Datum WGS84. O campo foi baseado na utilização de ferramentas como bússola, GPS, marreta, talhadeira, mapas e imagens de satélite e de anomalias aeromagnéticas. Conjuntamente com a aquisição dos dados, foram efetuadas fotos pertinentes aos afloramentos e suas respectivas estruturas para registro e interpretação dos mesmos posteriormente.

6.4 Organização dos Dados

Todos os dados adquiridos no decorrer da etapa de trabalhos de campo foram organizados metodicamente na cardeneta de campo, compreendendo os seguintes atributos: nome e número do ponto, coordenadas, altitude, horário de chegada, descrição geral do afloramento, descrição macroscópica das amostras e medidas estruturais das estruturas encontradas. A coleta das amostras de rochas foi procedida com cautela, procurando retirar amostras sem nenhum grau de intemperismo para não haver alteração nas análises geoquímicas e petrográficas das mesmas.

6.5 Análise e Interpretação dos Resultados

A análise e interpretação dos dados procederam-se por meio das investigações e observações macroscópicas realizadas em campo como também a partir da integração de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto, conjuntamente com estudos petrográficos de microscopia óptica em lâminas delgadas.

As observações feitas a olho nu das litologias foram realizadas nas atividades de campo, através do reconhecimento de afloramentos em áreas específicas e análises das amostras de mão coletadas. As amostras foram definidas de acordo com as técnicas tradicionais de petrografia, com o auxílio de lupa de mão. Descreveram-se os principais aspectos macroscópicos observados: cor, textura, estruturas e componentes mineralógicos.

A integração de técnicas de sensoriamento remoto, geologia e geofísica foram feitas através da interpretação de imagens de mapa de Amplitude de Sinal Analítico e da observação das estruturas e análises morfológicas do relevo da área de estudo retiradas do *Google Earth*, permitindo caracterizar e correlacionar feições lineares magnéticas e geomorfológicas.

Para confecção das lâminas delgadas foram escolhidas quatro amostras de rochas plutônicas máficas coletadas nos trabalhos de campo. Além destas, outras três amostras de mesmos tipos litológicos foram analisadas, retiradas em campos anteriores para a elaboração do projeto no qual este trabalho de conclusão de curso está vinculado. No total foram confeccionadas sete lâminas delgadas. A preparação das amostras integrou os estágios de corte e laminação, produzindo seções delgadas. Tais procedimentos foram executados por um profissional técnico da UNIPAMPA.

A análise petrográfica das rochas laminadas foi desempenhada através da observação e descrição das mesmas com o auxílio do microscópio óptico da marca Zeiss, modelo Axio Lab A1 do Laboratório de Microscopia (LM) da UNIPAMPA. Durante as descrições, aplicaram-se técnicas usuais de petrografia óptica a fim de identificar os minerais presentes, reconhecer as dimensões e morfologias dos cristais como também as texturas aparentes.

Considerando a necessidade de classificar as mineralogias presentes nas rochas estudadas, foi feita quantificação dos minerais constituintes através de estimativa visual por campos, buscando assim estabelecer a proporção de cada mineral presente nas rochas analisadas. Para determinar especificadamente o tipo de rochas plutônicas que se apresentam nas amostras de acordo com as porcentagens da composição mineralógica mensurada pela técnica de estimativa visual por campos foi utilizado o diagrama Pl-Px-Ol, conforme a nomenclatura proposta por Strackeinsen (1967), para classificação de rochas plutônicas máficas.

Na definição da composição dos plagioclásios, empregou-se o método Michel-Levy, no qual se baseia no ângulo de extinção dos minerais de plagioclásios para determinar qual mineral da série dos plagioclásios ocorre em maior quantidade nas lâminas examinadas.

No propósito de mostrar os aspectos mais importantes da mineralogia e textura foram produzidas fotomicrografias das lâminas delgadas pela câmera Ucmos Microscope Camera modelo 03100KPA, através do software ToupView.

7. RESULTADOS

7.1 Dados de Sensoriamento Remoto

Com o objetivo de interpretar os principais lineamentos magnéticos da área de estudo utilizou-se um mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) extraído de Gregory & Guadagnin (2017) e Faé *et al.* (2017), representado na Figura 6A. Com base na assinatura geofísica estabelecida pelas rochas analisadas no mapa, observa-se que elas expressam contrastes magnéticos, definindo um padrão magnético anômalo característico. Estas anomalias são representadas por estruturas lineares principalmente nas direções NW e NE (Figura 6A), caracterizadas por extensos lineamentos de pouca espessura, mas de grande comprimento, que estão simbolizados pela cor rosa, que se encontram com maior saliência em relação às outras cores que compõem o mapa na Figura 6A.

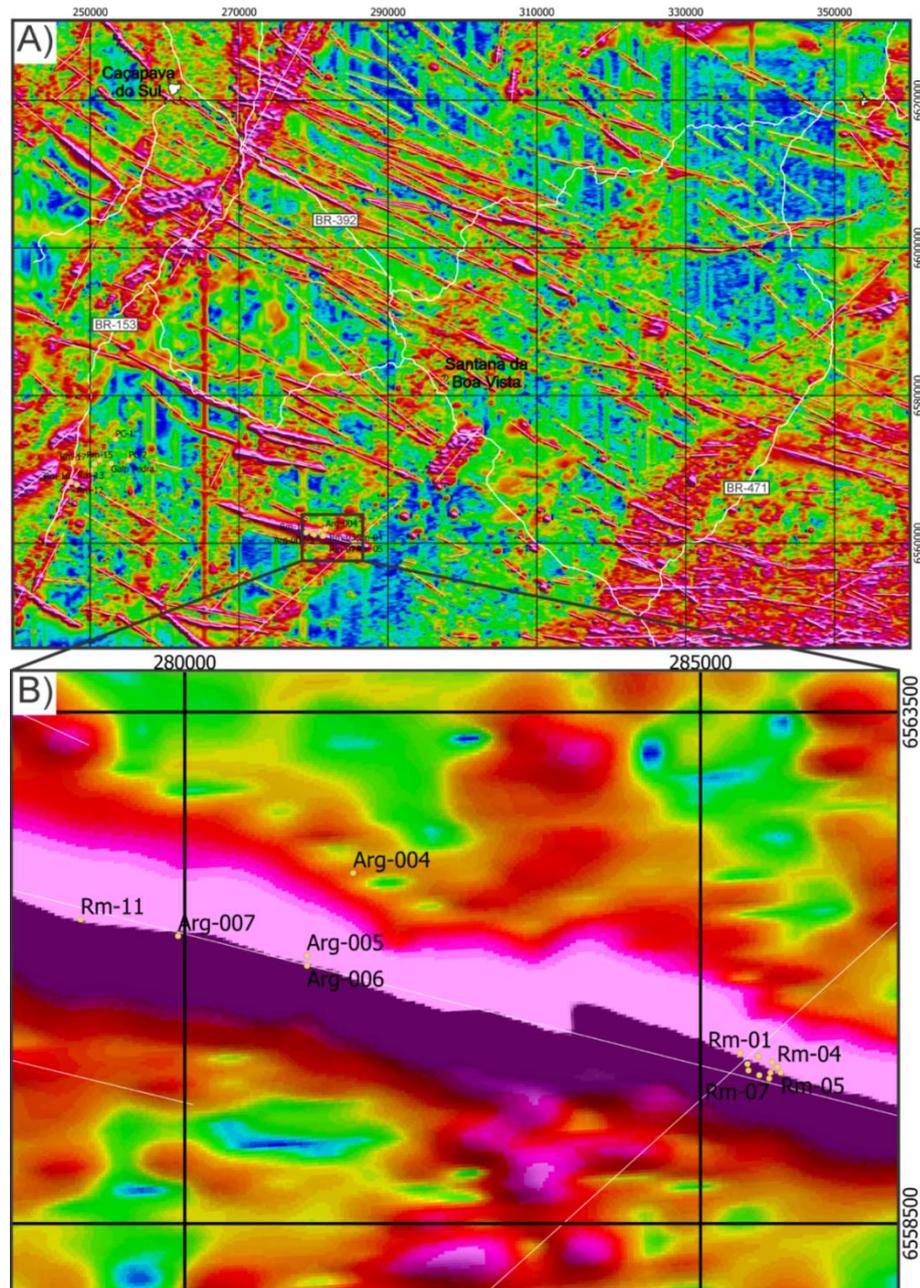
Os lineamentos com direções NE não seguem um padrão linear em todos os casos. Na generalidade são complexos de estabelecer um padrão único. Já os lineamentos de direções NW apresentam-se bem marcados, são alongados e estreitos, além de aparecerem cortando todas as estruturas NE. Do ponto de vista estratigráfico, essa configuração na qual os lineamentos NW estão segmentando os lineamentos NE é de fundamental importância para estabelecer a idade relativa das respectivas estruturas, pois a partir desta constatação se nota que as estruturas de direção NW são mais novas que as feições estruturais de direção NE.

Para a elaboração do estudo de campo foi escolhida uma região para ser trabalhada mais detalhadamente, demonstrada na Figura 6B. Nessa porção verificaram-se elementos indicativos da ocorrência de uma das anomalias magnéticas de direção NW bem marcada.

As visitas de campo possibilitaram a caracterização das feições que abrangem a área, como também a averiguação do lineamento estrutural/geomorfológico representado na Figura 7. Esse lineamento se estende ao longo da porção alvo do presente estudo, constatado por

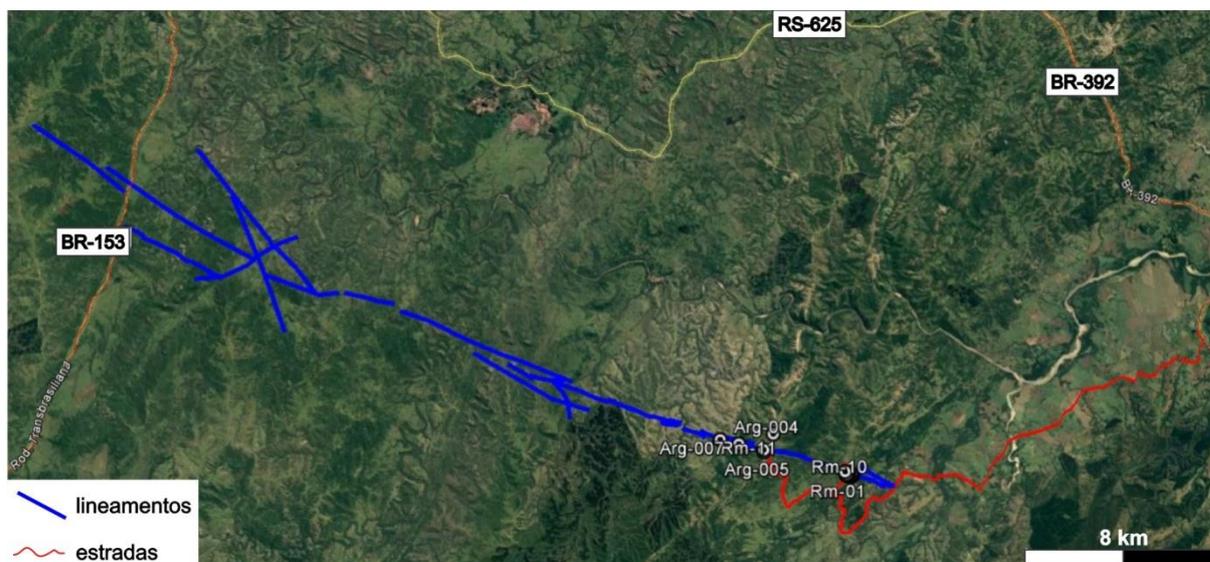
meio de imagens de satélite do *Google Earth Pro* quando estavam sendo traçados os perfis de campo e sendo selecionadas as áreas e afloramentos que seriam visitados.

Figura 6 – A) Mapa de Amplitude do Sinal Analítico, destacando a área visitada. B) Detalhe da área principal do estudo, caracterizada petrograficamente. Siglas dos pontos: RM – pontos visitados; ARG – pontos aproveitados do projeto “Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul”.



Fonte: extraído de Gregory & Guadagnin (2017).

Figura 7 – Imagem de satélite apresentando o extenso lineamento geomorfológico presente na área que foram desenvolvidos os estudos de campo.



Fonte: Google Earth Pro (2018).

7.2 Caracterização de Campo

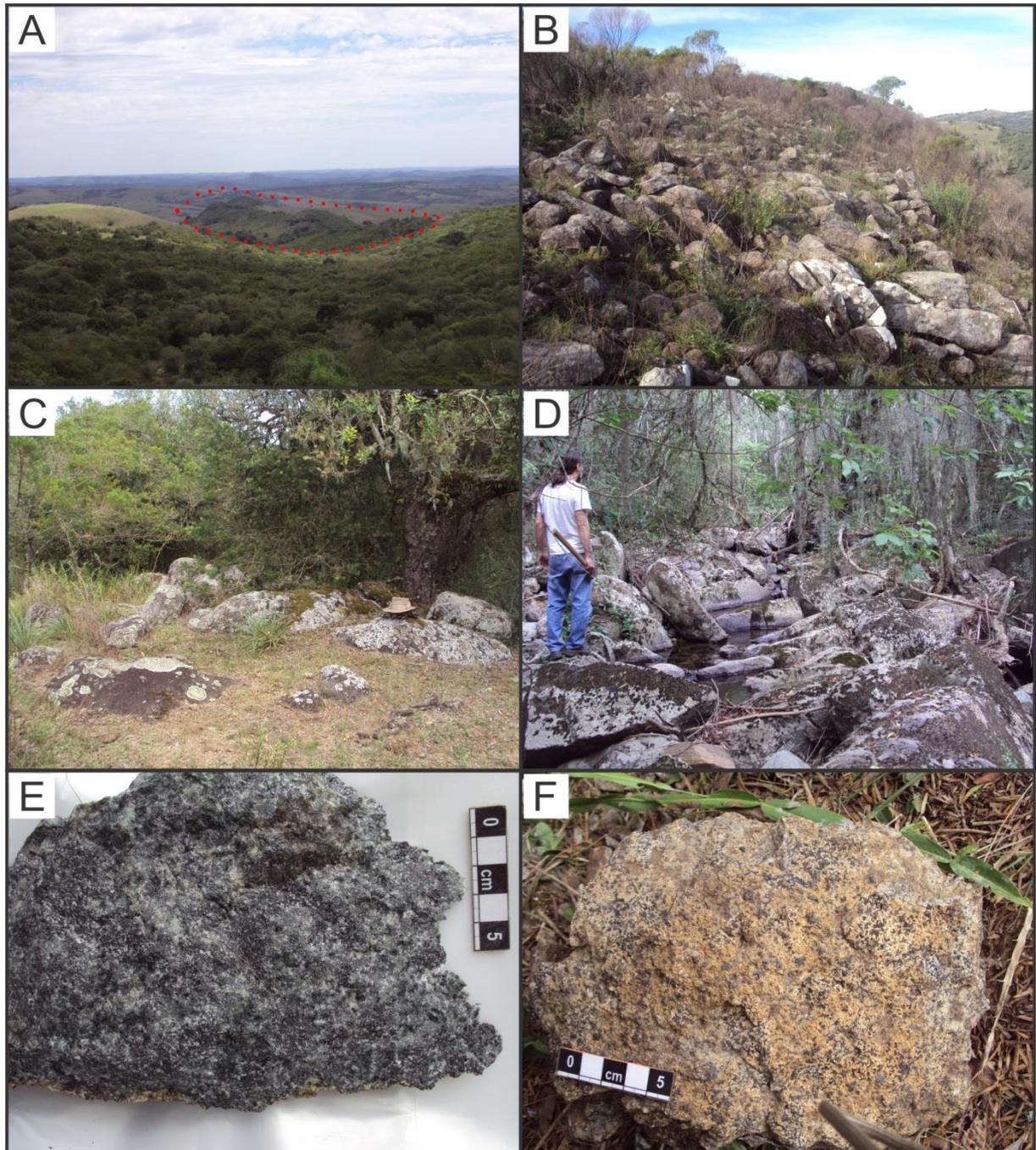
Os trabalhos de campo na área de estudo delimitaram-se principalmente em porções que continham rochas ígneas plutônicas que intrudiam as rochas meta-vulcânicas e meta-sedimentares do Complexo Metamórfico Porongos.

O estudo consistiu na coleta e análise de informações e evidências geológicas da possível correlação entre a formação ígnea plutônica mapeada como um dique que corta as estruturas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos com o respectivo lineamento magnético escolhido como alvo de estudo neste trabalho.

Nos trabalhos de campo não se individualizou as formações da Bacia do Camaquã e nem as rochas que compõem o Complexo Metamórfico Porongos, porque não é o objetivo do presente trabalho. Procurou-se somente definir de maneira detalhada a região que contém as rochas plutônicas de composição máfica que presumivelmente correspondem ao dique.

A integração de informações coletadas nas atividades de campo destas rochas ígneas plutônicas vinculadas à área de estudo permitiu estabelecer as principais características de campo representadas na Figura 8, através de considerações relacionadas à morfologia e relevo da área, aspectos dos afloramentos, como também análise minuciosa das amostras de rochas expostas nos respectivos afloramentos.

Figura 8 – Características de campo das rochas estudadas. A) Relevo em crista do dique de gabbro (área em tracejado vermelho) cortando rochas metamórficas. B) Afloramento de blocos e matacões arredondados, alguns com faces retas, em encosta. C) Afloramento em lajeado, blocos e matacões arredondados no campo. D) Afloramento em lajeado, blocos e matacões arredondados ou angulosos, alguns com faces retas, em sanga e mata ciliar. E) Aspecto textural em fratura fresca, mostrando uma rocha rica em minerais máficos. F) Aspecto textural em superfície alterada, com intemperismo realçando minerais máficos.



Fonte: autor.

Visualmente, por meio da Figura 8A, constata-se que a intrusão do dique atravessa as camadas rochosas das rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos e forma uma crista entre elas, denotando um relevo convexo conforme mostrado no tracejado em vermelho

da Figura 8A. Essa constatação demonstra que as rochas gabroicas são mais recentes que as rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Porongos.

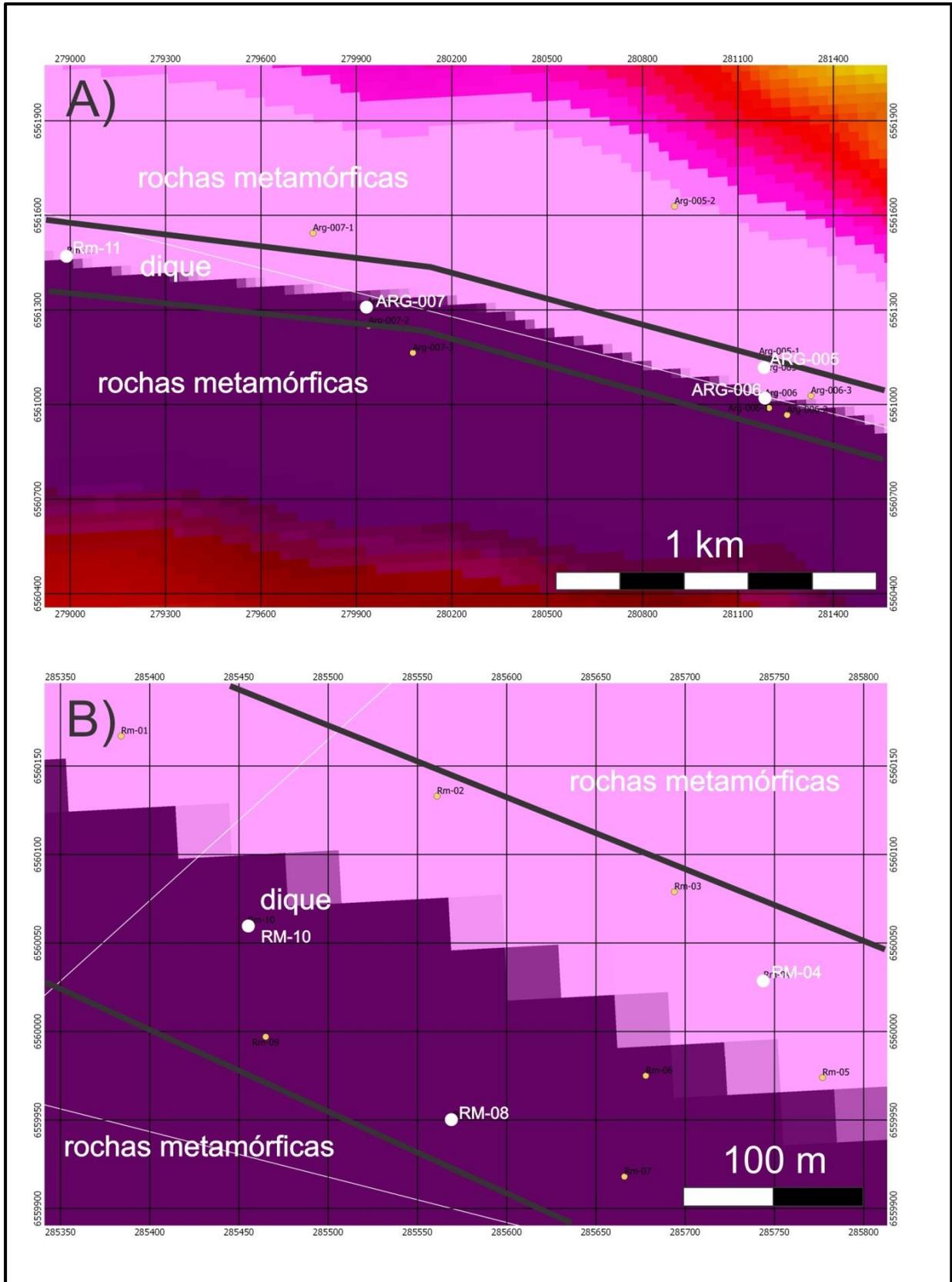
Uma vez que os afloramentos revelam dados imprescindíveis para compreender os processos de formação das rochas analisadas, obtiveram-se importantes constatações relacionadas aos afloramentos das rochas plutônicas encontradas ao longo da área de estudo. As rochas nessas porções encontram-se expostas especificamente em afloramentos em lajeados, campos de blocos e matacões, variando de arredondados a angulosos devido ao intemperismo que elas estão submetidas. As exposições variam consideravelmente em termos de dimensões e grau de alteração.

Há boas exposições de rochas aflorantes ao longo do lineamento, com poucas alterações intempéricas. No relevo em crista, as rochas estão expostas em blocos e matacões na encosta íngreme. Alguns blocos rochosos possuem faces retas nesta porção (Figura 8B). Ao longo dos pontos visitados nos trabalhos de campo é notável a mudança de forma dos blocos e matacões. Em algumas porções exibem feições arredondadas (Figura 8C), enquanto que em outras expõem configurações angulosas com faces retas (Figura 8D).

Com o propósito de verificar a mineralogia e o aspecto textural das rochas plutônicas investigadas, foram coletadas algumas amostras de mão (Figuras 8E e 8F). Por meio da análise destas amostras identificou-se que as rochas eram compostas por minerais máficos com pequenas variações na textura e composição. Devido às características que essas rochas estudadas apresentaram em campo, inferiu-se tratarem de gabros, dada a presença de plagioclásio, olivina e piroxênio com textura fanerítica média a grossa.

O caminhar perpendicular à direção do lineamento permitiu determinar a espessura do dique em duas áreas distintas, calculando-se 200 m de espessura para o dique em ambas (Figura 9). O critério de determinação das margens foi achar a mínima distância possível entre as rochas metamórficas e as plutônicas estudadas. Critérios geomorfológicos, como mudança de relevo e inclinação de encosta, também foram determinantes para elucidar esta questão.

Figura 9 – Estimativa da espessura do dique de acordo com os pontos visitados e ocorrências litológicas adjacentes. A) Porção oeste da área estudada. B) Porção leste da área estudada.



Fonte: autor.

7.3 Caracterização Petrográfica

Com base nas rochas plutônicas máficas coletas ao longo do lineamento magnético da Figura 6C em campos do projeto e do trabalho de conclusão de curso, foram confeccionadas sete lâminas petrográficas, identificadas e nomeadas de acordo com os pontos visitados em campo, seguindo a seguinte sequência: RM04A, RM08A, RM10A, RM11A, ARG005, ARG006A e ARG007. Todas as lâminas possuem múltiplas características em comum, entretanto algumas variam em alguns aspectos específicos.

As amostras petrográficas laminadas são compostas inteiramente por cristais, ou seja, tratam-se especificamente de rochas faneríticas com textura holocristalina de granulometria que varia de média à grossa e homogeneidade granulométrica equigranular. De maneira geral, são constituídas por minerais de plagioclásios, piroxênios, olivinas e minerais opacos, denotando natureza máfica em suas composições (Figuras 10A a 10F).

Os cristais de plagioclásios nestas rochas em geral são incolores à luz natural, sendo que a grande maioria deles exibe macla polissintética e hábito tabular (Figura 10A). Alguns minerais apresentam-se bem formados com configuração euédrica. Entretanto, grande parte possui forma subédrica, com dimensões que variam de 0,2 mm à 1mm. A proporção modal dos plagioclásios verificada por estimativa visual nas sete lâminas varia entre 25% à 40%. Frequentemente encontram-se aglomerados, formando uma textura glomeroporfírica. Localizadamente encontram-se cloritizados (Figura 10E). A partir da determinação da composição dos plagioclásios pelo método Michel Levy, constatou-se que praticamente todos os minerais de plagioclásios eram minerais de labradorita, pois o ângulo de extinção manteve-se em torno de 30°, indicando teores de anortita variando entre 50% e 70%.

Os minerais de piroxênios na generalidade caracterizam-se pela coloração que varia de bege a rosada à luz natural (Figura 10B), clivagem paralela e variadas cores em diferentes direções sob a luz polarizada. Apresentam-se na lâmina com tamanhos variados, mas com predominância de minerais de grandes dimensões, com proporção visual variando em torno de 25% a 30% nas lâminas. Apresentam extinção oblíqua, caracterizando-os como clinopiroxênios. Porém, verificou-se que existem minerais de piroxênios com extinção reta que apontam a presença de ortopiroxênios em menor quantidade nas amostras. Frequentemente têm textura poiquilotópica englobando cristais de plagioclásio, demonstrando que alguns cristalizaram depois dele (Figura 10C).

Os minerais de olivinas são esverdeados a nicois paralelos, com diferenciação no grau de alteração em diferentes pontos. A maioria aponta alto relevo e formato euédrico com dimensões de aproximadamente 1 mm (Figura 10D). Porém, existem minerais relativamente grandes que chegam a 2 mm como é o caso de um mineral de olivina da lâmina RM04A, mostrado na Figura 10D. Esses minerais compõem aproximadamente 25% a 40% da proporção dos minerais das amostras em questão.

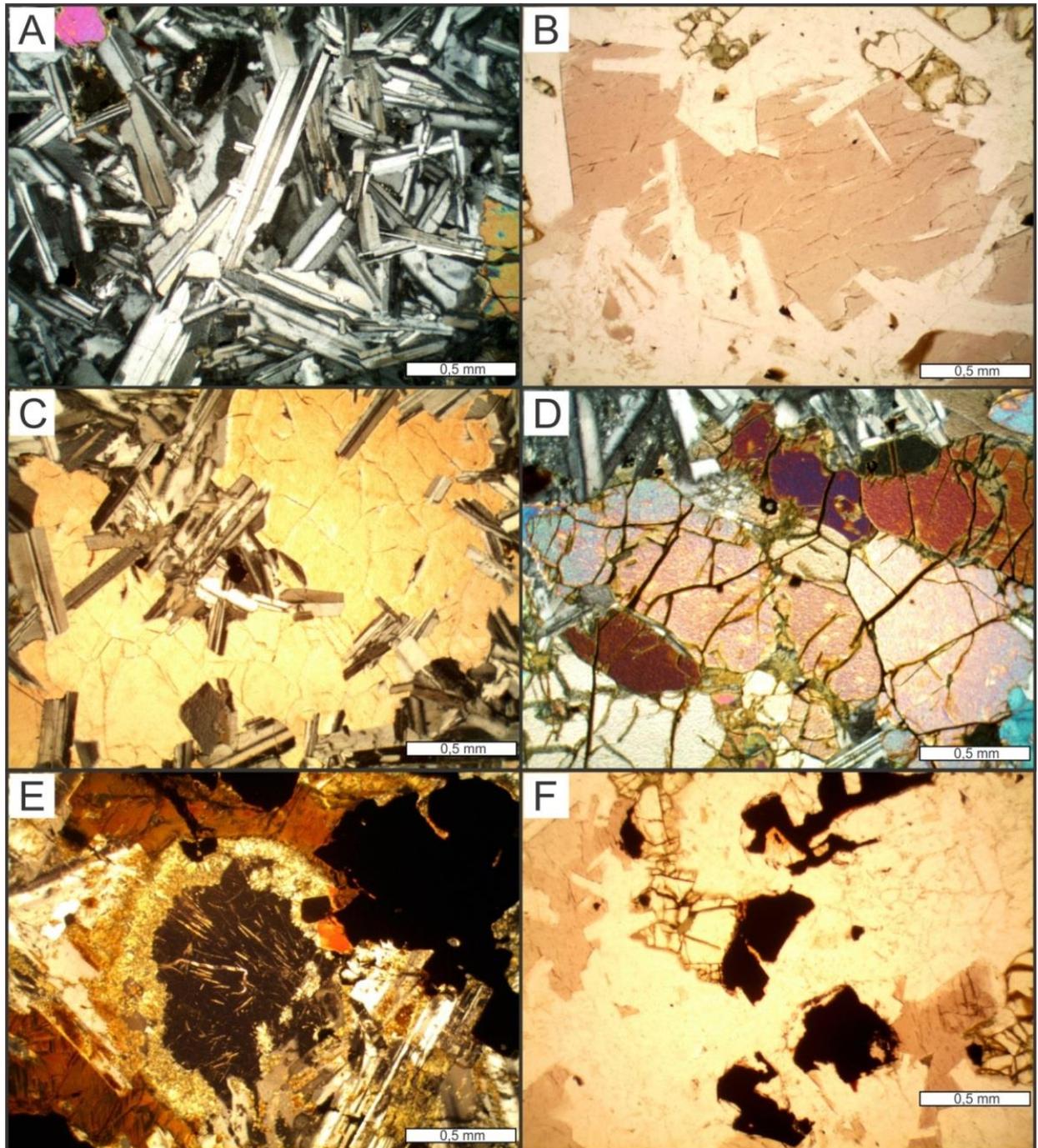
Os minerais opacos mostram-se em quantidade relativamente baixa, em geral euédricos à subédricos, compondo entre 10% a 15% das amostras. Em sua grande parte mostram-se associados a alterações das olivinas e dos piroxênios. Acredita-se que sejam magnetitas (Figuras 10E e 10F).

A primeira definição concreta neste trabalho que as rochas estudadas tratam-se de um gabro partiu dos teores de plagioclásios nas amostras que encontram-se entre uma faixa de 50% à 70% de anortita de acordo com método Michel Levy, assumindo que os minerais de plagioclásios são respectivamente labradoritas, minerais estes típicos de rochas máficas como as gabroicas.

Posteriormente, ao serem classificadas conforme o diagrama Pl-Px-Ol de Streckeisen (1967), as lâminas analisadas enquadraram-se no campo central do triângulo sendo identificadas como olivina-gabros (Figura 11). Essa hipótese é confirmada pelo fato de que grande parte dos piroxênios presentes nas sete amostras verificadas possuir extinção oblíqua, concluindo que há um maior predomínio de clinopiroxênios quando comparados aos ortopiroxênios, descartando assim a possibilidade das rochas serem olivina-noritos.

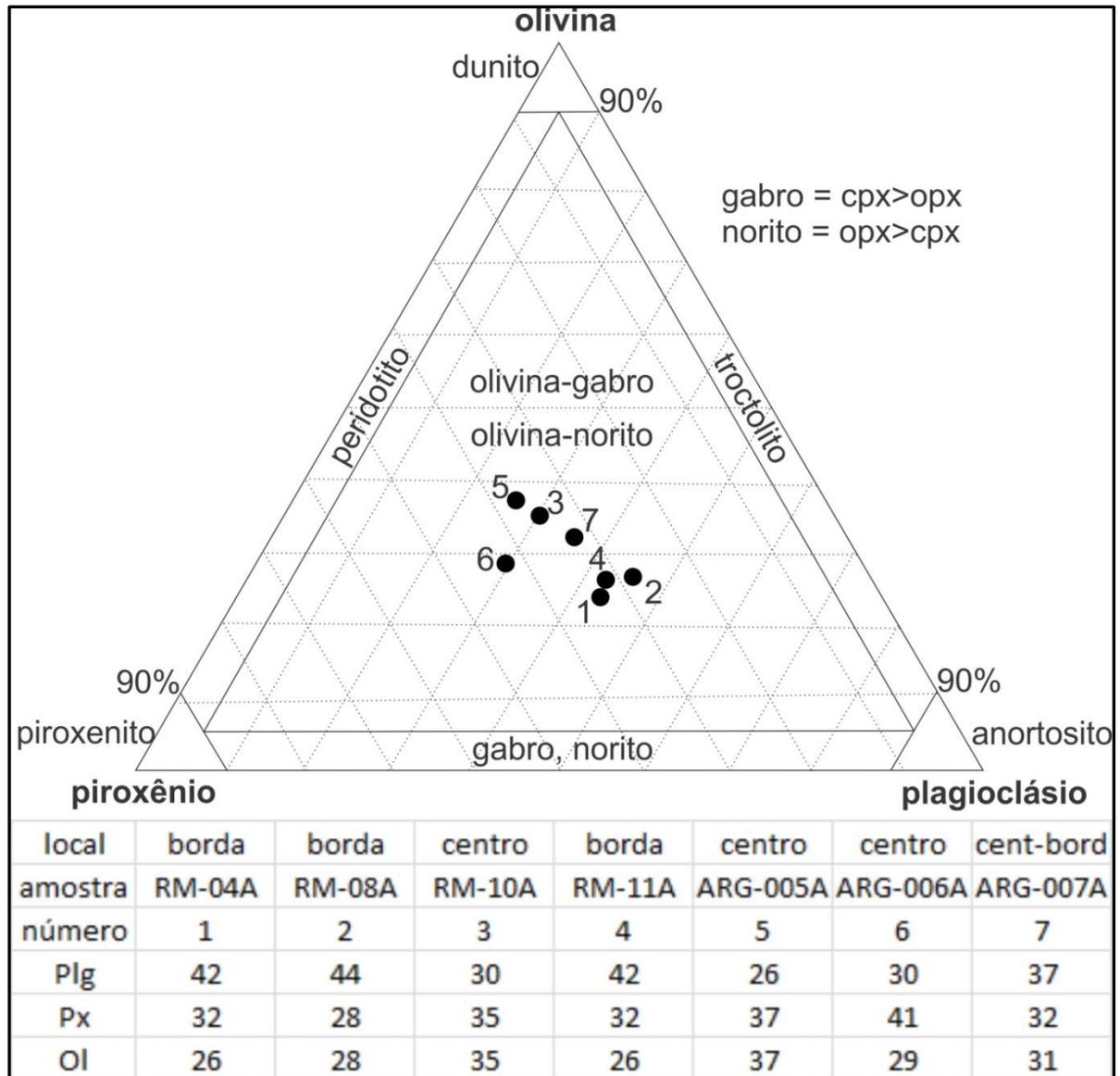
A mudança gradual de granulometria destas rochas está relacionada com a posição que elas se encontram ao longo do dique. As rochas de granulação média encontram-se posicionadas próximas às bordas do dique, enquanto que as rochas que apresentam textura grossa estão situadas em porções mais internas do dique, evidenciando uma relação de resfriamento mais lento no centro do dique.

Figura 10 – Petrografia das rochas estudadas. A) Cristais de plagioclásio alongados, com textura glomeroporfírica (nicos cruzados). B) Cristais de clinopiroxênio com pleocroísmo rosado (luz natural). C) Cristais de clinopiroxênio com textura poiquilotópica englobando cristais de plagioclásio (nicos cruzados). D) Cristais de olivina exibindo o típico padrão de fraturamento, chegando a mais de 2 cm. E) Produtos de alteração: cloritização do plagioclásio e formação de opacos associados a piroxênios alterados. F) Alteração da olivina para minerais opacos



Fonte: autor.

Figura 11 – Estimativa visual por campo das rochas estudadas plotadas em diagrama para rochas plutônicas máficas de Streckeisen (1967).



Fonte: autor.

8. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de campo da área de estudo permitiram estabelecer características importantes da associação do dique com o lineamento magnético, sugerindo que o magnetismo provém de minerais ferromagnéticos que compõem as rochas do dique. A partir da análise minuciosa, averiguando a mineralogia e os aspectos texturais, confirmou-se que se

tratavam de rochas ígneas plutônicas de composição máfica, mais especificamente olivina-gabros, em acordo com o verificado através do levantamento de dados bibliográficos.

Baseando-se na observação das lâminas, averiguou-se que há uma mudança gradativa na granulometria das rochas de acordo com as posições que elas se encontram ao longo do dique. As lâminas RM04A, RM08A, RM11A manifestam granulometria média, com menor teor em máficos, uma vez que estão localizadas nas porções distais do dique, que correspondem à borda (Figura 11). Já as lâminas RM10A, ARG005A, ARG006A e ARG007A possuem granulometria visivelmente mais grossa, são relativamente mais máficas, por estarem circunjacente ao núcleo do corpo intrusivo (Figura 11). A configuração de textura relaciona-se ao grau de resfriamento magmático que é mais lento no centro, permitindo que os cristais tenham mais tempo para cristalizarem. Dada a grande espessura de 200 m, pode-se inferir que talvez o dique seja alimentador de vulcanismo em superfície, podendo as diferenças texturais serem diferentes pulsos.

Em síntese, após analisar todos os aspectos mencionados neste trabalho e verificados na revisão bibliográfica associada à área de estudo, há fortes indícios de que o lineamento magnético estudado esteja relacionado com os mesmos processos de formação do Arco de Rio Grande, uma vez que o lineamento corresponde a uma intrusão máfica assumida como um dique. Este dique provavelmente é derivado dos enxames de diques provenientes do evento magmático que originaram a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, ordenados na mesma direção que o alto estrutural do Arco de Rio Grande (ASMUS & BAISCH, 1983; GALLAGHER & HAWKESWORTH, 1994). Recomenda-se para a continuidade do projeto que sejam feitas análises geoquímicas e datações para comprovar esta hipótese.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. **Brazilian structural provinces: an introduction.** Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1, p. 1-29, 1981.

ARAÚJO, J. F. V.; BEZERRA, P. E. L.; DE LIMA, M. I. C.; KAUL, P. F. T.; ROCHA, R. M.; SIGA Jr., O.; GONZALEZ, S. R.. **Manual Técnico de Geologia.** IBGE, Rio de Janeiro, 1996.

ASMUS, H.; BAISCH, P. R. **Geological evolution of the Brazilian continental margin.** Episodes, v. 4., 1983.

BARBOSA, I. O.; PIRES, A. C. B.; LACERDA, M. P. C.; CARMELO, A. C. **Geology, Airborne Geophysics, Geomorphology and Soils in the Individualization of the Niquelândia Mafic-Ultramafic Complex, Goiás State, Brazil.** Revista Brasileira de Geofísica, [S.l.], v. 31, n. 3, p. 463 - 481, 2013.

BRITO NEVES, B. B. **A Tafrogênese Estateriana nos Blocos Paleoproterozóicos da América do Sul e Processos Subseqüentes.** Geonomos, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 01-21, 1995.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; FUCK, A. F. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage.** Episodes, China, Beijing, v. 22, n. 03, p. 155-166, 1999.

BRITO NEVES, B. B. **A História dos Continentes- Trajetórias e tramas tectônicas: A Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, p. 123-149, 2004.

CHEMALE JR. F. **Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52, 2000.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. 2013.

DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES L.S.; BERTRAND, H. **New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil**. *Journal of volcanology and geothermal research*, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 67-83, 1998.

FAÉ, Y. A.; GREGORY, T. R.; GUADAGNIN, F. **Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul: Um Estudo Preliminar**. 9º SIEPE, Universidade Federal do Pampa, 2017.

FERNANDES, L. A. D., MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C. C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E. & CAMOZZATO, E. **Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte I – uma**

contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384. 1995.+

FERREIRA, F. J. F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, p.170, 1983.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-sul-riograndense.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú, Anais Balneário Camboriú, SBG, v. 5, p. 2879-2891, 1980.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Evolução Paleoambiental e tectônica da Bacia do Camaquã: uma introdução.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 105p, 1984.

FOSSEN, H. **Geologia Estrutural.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FUCK, R. A.; BRITO NEVES, B. B.; SCHOBENHAUS, C. **Rodinia descendants in South America. Precambrian Research.** v. 160, p. 108-126, 2008.

GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. **Mantle plumes, continental magmatism and asymmetry in the South Atlantic.** *Earth and Planetary Science Letters*. 123(1-3), 105-117, 1994.

GREGORY, T. R.; GUADAGNIN, F. **Projeto de pesquisa: Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul**. Unipampa, Campus Caçapava do Sul, 2017.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R. P. **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. 2007.

HASUI, Y. **A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional**. Geociências, UNESP, v. 29, n. 2, p. 141-169, São Paulo, 2010.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. D. C.; SILVA, L. D.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. D. A. **Província Mantiqueira. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, p. 203-235, 2004.

IBANEZ, D. M. **Integração de Dados de Sensoriamento Remoto (SRTM e RADARSAT-1), Geologia, Gravimetria e Magnetometria para Estudo Morfoestrutural da Área do Rio Uatumã, Bacia do Amazonas**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2007.

IBGE **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010**. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/MWX9>. Acesso em: 05/09/2018

JOST H.; BITENCOURT M. F. **Estratigrafia e tectônica de uma fração da Faixa de Dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul**. Acta Geológica Leopoldensia, 27-60, São Leopoldo, 1980.

LASA PROSPECÇÕES S. A. **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Programa Geologia do Brasil (PGB). Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Volume 1, 83 p. Texto técnico, 2010.

LOUSADA, E. O.; CAMPOS J. E. G. **Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal.** Revista Brasileira de Geociências, v. 35, p. 407-414, 2005.

LUSA, M.; PHILLIP, R. P.; NARDI, V. S. **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, p. 151-166, 2010.

NARDI, L. V. S.; LIMA, E. F. **O magmatismo shoshonítico e Alcalino da Bacia do Camaquã – RS.** In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds). Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul, Editora Gráfica da UFRGS, p. 119-131, Porto Alegre, 2000.

NUNES A. R.. **Análise de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto para geração de modelos prospectivos para a região de Serra Leste, Carajás (PA).** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 132 p., 2002.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation:** Some proposed new standards for old terms. U. S. Geological Survey, Colorado, Denver, 1976.

PAIM, P.S.G.; F. LOPES, R. C.; CHEMALE JR., F. **Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleográfica da Bacia do Camaquã – Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS.** In: SBG VI Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. I Encontro do Cone Sul. Boletim. p. 39-50. Porto Alegre. 1995.

PAIM, P.S.G.; CHEMALE JR., F. & LOPES, R. C. **A Bacia do Camaquã**. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.): Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 231-274. Porto Alegre, 2000.

PAIM, P.S.G.; CHEMALE JR., F.; WILDNER, W. **Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS)**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Ciência e Natura, v. 36 Ed. Especial. p.183-193. 2014.

PICADA, R. S. **Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-rio-grandense**: caracterização dos sistemas de falhas. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia, p.167-191, 1971.

PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. **O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil**: novos dados e revisão de geocronologia regional. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v. 32, n. 2, p. 277-290, 2002.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R. **The Late Neoproterozoic granitoid magmatismo of the Pelotas Batholith, southern Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 19, p. 461-478, Londres, 2005.

PHILIPP, R.. P.; MACHADO, R.; CHEMALE JR., F. **A Geração dos Granitóides Neoproterozoicos do Batólito Pelotas**: Evidências dos Isótopos de Sr e Nd e Implicações para o crescimento continental da Porção sul do Brasil. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 59-79. 2007.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; HARTMANN, L. A.; CAMPOS, R. S.; PERTILE, J.; LENA, L. O.; LOPES, C. G.; BOM, F. M.; VEDANA, L. A.; CAMOZZATO, E.; LAUX, J. H.; GUBERT, M. **Correlação entre os Complexos Metavulcânico-sedimentares dos**

Escudos do RS e SC: Evidência da evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano com base em geocronologia U-Pb em zircão. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Anais. Chapada do Guimarães, 2013.

POPP, J. H. **Geologia Geral.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

RIBEIRO, M. **Geossuturas do Escudo do Rio Grande do Sul.** XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, p. 2709-2717, 1980.

RIBEIRO, M. J. **Mapa Previsional do Cobre no Escudo Sul-Riograndense: nota explicativa.** Revista Brasileira de Geologia, v. 33, p. 137-148, 1978.

ROGERS, J. J. W. **History of Continents in the Past Three Billion Years.** Journal. of Geology, Chicago, v.104, p. 91-107. 1996.

SAALMANN, K.; REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A. **Structural evolution and tectonic setting of the Porongos belt, southern Brazil,** Geological Magazine, v. 143, p. 59-88, 2006.

SOLIANI, JR. E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SOUSA, C. S.; SILVA, R. C. S. **Integração de dados aerogeofísicos (magnetometria) e de sensores remotos para a extração de lineamentos da região ao norte de Carajás, Província Maroni-Itacaiúnas.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, p. 2199-2206, 2007.

STRECKEISEN, A. L. **Classification and nomenclature of igneous rocks. (Final report of an inquiry).** Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen, 107, 144-240, 1967.

TONIOLO, J. A., GIL, C. A. A., SANDER, A. **Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-Eopaleozóicas do Sul do Brasil: Bacia do Camaquã.** Projeto BANEIO, CPRM, 2007.

TRAVASSOS, R. P. **Interpretação estrutural regional do escudo Sul-Rio-Grandense – Rio Grande do Sul – Brasil, com base em aeromagnetometria.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

WILDNER, W.; ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B.; COSTA, V. S.; CARRILHO, J. C.; LONGO, E. G.; CANTARINO S. C.; SANDER, A.; PERROTTA, M. M.; SOUZA FILHO, C. R. **Texto explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná.** Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Curitiba, 2006.