



LETÍCIA FERREIRA FERNANDES

**A GEOLOGIA DA PORÇÃO NORDESTE DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE INTEGRADA À AEROMAGNETOMETRIA**

PORTO ALEGRE

2017

LETÍCIA FERREIRA FERNANDES

**A GEOLOGIA DA PORÇÃO NORDESTE DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE INTEGRADA À AEROMAGNETOMETRIA**

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 parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Carla Cristine Porcher

Co- Orientador: Prof. Dr. Koester

Supervisor: Geofísico Renato Luiz da Silveira

PORTO ALEGRE

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Fernandes, Letícia Ferreira

A Geologia da Porção Nordeste do Escudo Sul-Rio-Grandense integrada à aeromagnetometria. / Letícia Ferreira Fernandes. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.
[85 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). -
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão
do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS -
BR, 2017.

Orientador(es): Carla Cristine Porcher

Edinei Koester

1. Anomalia magnetométrica. 2. Geotectônica. 3. Interpretação
Estrutural. 4. Interpretação Geofísica. I. Título.

CDU 55(816.5)

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila Francine T. Binotto

CRB 10/1743

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **A GEOLOGIA DA PORÇÃO NORDESTE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE INTEGRADA À AEROMAGNETOMETRIA** elaborado por LETÍCIA FERREIRA FERNANDES, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Leonardo Cardoso Renner

Dr. Nelson Amoretti Lisboa

Dr^a. Silvana Bressan Riffel

Eu dedico esse trabalho às melhores parceiras de vida que alguém pode ter; minhas amigas Bárbara, Larissa e Thaysa. Dedico também aos meus pais, Bruno, Maria Helena e Zilma.

Agradecimentos

Como é bom poder ser grata, reconhecer com a memória do coração todos os encontros que a vida me proporcionou ao longo desses seis anos de UFRGS. Realmente, sou uma pessoa de sorte, nesse caminho, estiveram comigo pessoas incríveis e amigos de alma; isso, por si só, já faria tudo valer a pena. Sou muito feliz por ter tanto a agradecer!

Agradeço à minha família, que não é convencional, não é perfeita, mas é única e cheia de amor. Mãe Zilma, Mãe Nena, Nickie e Jú, obrigada por toda a paciência, por sempre acreditarem em mim, sonharem comigo e, muitas vezes, mesmo sem compreender buscarem me entender. Eu amo muito vocês! Cori, meu amor, obrigada por dar o exemplo de força e garra desde que tu chegaste em nossas vidas e, também, por sempre fazer dos teus sorrisos o combustível para seguirmos em frente.

Ao meu pai Bruno que, a pesar de não ter tido a oportunidade de me ver entrar na universidade, é parte essencial dessa conquista; sempre incentivou meus estudos com todo o amor que um pai pode fazer.

À família que eu escolhi e que me escolheu, minhas amigas Bárbara, Larissa e Thaysa; minha gratidão sempre será pouca! Vocês foram empatia, minha força, minha coragem e minha calma nos momentos mais difíceis. Acreditaram em mim quando nem eu mesma conseguia.

Agradeço aos amigos de coração que a geologia me trouxe: Jeferson, Mari Almeida, Pri e Mari Nicolini; vocês me fortaleceram muito. Obrigada por me cuidarem, por rirem comigo de tudo, e por serem exemplos pra mim!

Obrigada às minhas biolindas Carol e Dézi, por serem exatamente quem são e por estarem na minha vida sempre trazendo abraços e sorrisos. Agradeço aos pais da Carol, Rosângela e João Carlos Alff por serem inspiração de bondade e simplicidade.

À família Giusti Osório, por todo apoio, zelo e amor desde os meus tempos da biologia, período de troca de curso -segundo vestibular, até os primeiros anos da graduação na geologia. Andrei, Nani, Nelsinho, Ronei e tia Ci, muito obrigada!

Aos meus amigos do Centro de Microscopia e Microanálise, onde fui bolsista por quatro anos; principalmente à Aline; pela amizade, aulas de química e amor pelos pets!

Aos meus colegas de apartamento-WG, em especial à Bruna, por me dar a certeza de que juntas somos mais fortes. Bruno e Bruna, obrigada por me acolherem quando eu mais precisei. Ao Márcio, principalmente, por ter o poder de simplificar a vida em simples conversas na cozinha, e estar sempre disposto a ajudar.

Às minhas amigas-barangas: Carla, Giana e Paloma pelo apoio profissional na CPRM e da vida! Ao Lucas, Tati, Natália, Gaia e Ana, meus queridos presentinhos, perto ou longe fazem meu mundo melhor.

Obrigada à Júlia, minha psicóloga, que sempre esteve ao meu lado me lembrando da minha força a hora que fosse.

E por fim, ao corpo técnico que foi fundamental para a realização desse trabalho: professores Luis Alberto Dávila Fernandes e Jairo Savian, meus orientadores Carla e Edinei, à CPRM, aos geólogos José Luciano Stropper e Rodrigo Cruz, ao geofísico William Lopes, aos meus queridos colegas Luciano Cardone e Francielle Niewinski, e mais uma vez à Bárbara, Larissa e Thaysa.

Obrigada ao universo, pelas oportunidades de todos os dias!

“First, think. Second, dream. Third, believe.
And finally, dare.”

Walt Disney

Resumo

A porção NE do Cinturão Dom Feliciano, no Rio Grande do Sul, na área de abrangência desse estudo, entre os municípios de Porto Alegre, Camaquã e Butiá- RS. tem duas unidades geológicas, o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado e a Suíte Granítica Dom Feliciano, além dos depósitos recentes da Planície Costeira. A partir de dados geofísicos de aeromagnetometria, três anomalias magnéticas de direção W-E foram identificadas nas unidades do Pré-Cambriano. Mapas detalhados com os dados de aeromagnetometria foram realizadas, fornecendo assim mapas de primeiras derivadas horizontais - x e y - primeira derivada vertical, de amplitude do sinal analítico, gradiente horizontal e um integrado às feições estruturais, ampliando as discussões sobre essas anomalias. No mapa de amplitude do sinal analítico (ASA), pode-se observar o sinal analítico relacionado à fonte da magnetização. Aliados às informações da geofísica, foram integrados dados de lineamentos estruturais obtidos a partir de imagens de relevo sombreado (SRTM - iluminação NE e NW). Desta forma, foram gerados dois mapas de densidade de lineamentos como produtos, a fim de verificar possíveis influências dos elementos arquiteturais, tectônicos e estruturais das unidades onde há o predomínio de estruturas SW-NE; a maioria dessas estruturas coincide localmente quando sobpostas às principais anomalias magnéticas da região, conforme observadas nos mapas geofísicos. As informações de campo mostram que feições como a orientação de xenólitos métricos de gnaisses ocorrem associadas a uma dessas anomalias, enquanto que corpos máficos tabulares são restritos a diques centimétricos. Quartzo, feldspatos, micas e, em menor proporção, anfibólios são os principais minerais formadores das rochas nessa região, com zircão e apatita como acessórios. A presença dos minerais magnetita e ilmenita é destacada, sendo ambos importantes na caracterização magnética dessas rochas. A integração dos dados geológicos e geofísicos permitiu a interpretação dessas estruturas, relacionadas ao i) contato de duas fácies da Suíte Granítica Dom Feliciano, ao ii) contato da Suíte Granítica Dom Feliciano e o Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado, e a iii) presença de corpos tabulares em subsuperfície.

Palavras-Chave: Anomalia magnetométrica. Geotectônica. Interpretação Estrutural. Interpretação Geofísica.

Abstract

This work covers an area located among the City of Porto Alegre and the Camaquã and Butiá counties, in the State of Rio Grande do Sul, where the northeastern portion of the Dom Feliciano Belt comprises the Granite-Gneissic Pinheiro Machado Complex and the Dom Feliciano Granitic Suite geological units, in addition to Coastal Plain recent deposits. Three magnetic anomalies in a W-E direction were identified from geophysical aeromagnometric dataset in the Precambrian units. Detailed maps were elaborated by using these data, in this case leading to first horizontal derivative – x and y - first vertical derivative, analytic signal amplitude and horizontal gradient maps, besides a map that combines geological structural features and geophysics, what foments the discussion about these anomalies. It is possible to observe that the analytic signal is related to the magnetization source in the analytic signal amplitude (ASA) map. Structural lineaments defined by shaded relief images (SRTM – light from NE and NW) were integrated based on the geophysical information. Accordingly, two lineaments density maps were elaborated, in order to verify any influences from architectural, tectonic and structural elements from the units that mostly show SW-NW structures; the majority of these structures locally match with the main magnetic anomalies of the region, as observed on the geophysical maps. The fieldwork data shows that features like oriented metric gneiss xenoliths are related to one of these anomalies, while mafic tabular bodies are restricted to centimetric dikes. The main rock-forming minerals in this region are quartz, feldspars, micas and minor amphiboles, where zircon and apatite are accessory minerals. Also, magnetite and ilmenite are important, once they are both essential to the magnetic characterization of these rocks. The integration of geological and geophysical data allowed to interpret these structures, which are related to i) two Dom Feliciano Granitic Suite's facies contact, to ii) the contact between the Dom Feliciano Granitic Suite and the Granite-Gneissic Pinheiro Machado Complex, and to iii) the tabular bodies on subsurface.

Keywords: Magnetometric Anomaly. Geotectonics. Structural Interpretation. Geophysical Interpretation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Localização	11
1.2	Problema e hipótese	13
1.3	Justificativa	14
1.4	Objetivos	14
2	ESTADO DA ARTE	15
2.1	Geologia Regional	15
2.1.1	<i>Província Mantiqueira</i>	15
2.1.2	<i>O Cinturão Dom Feliciano</i>	17
2.1.3	<i>Domínio Leste do Escudo Sul-Rio-Grandense</i>	20
2.2	Anomalia Magnética	23
2.3	Domínio Aeromagnético Leste	23
3	METODOLOGIA	27
3.1	Magnetometria	27
3.1.1	<i>Base de dados do Projeto aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul</i>	31
3.1.2	<i>Geoprocessamento dos dados magnetométricos</i>	33
3.2	Trabalho de campo	34
3.3	Petrografia	38
3.4	Geoprocessamento – delimitação de lineamentos a partir do relevo sombreado	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	Geofísica	40
4.1.1	<i>Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total</i>	40
4.1.2	<i>Derivadas em X, Y e Z</i>	42
4.1.3	<i>Amplitude do Sinal Analítico da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total</i>	46
4.1.4	<i>Mapa geofísico estrutural da área de estudo</i>	48
4.2	Geoprocessamento – Análise de lineamentos	50
4.3	Aspectos de campo e petrografia	53
	Caminhamento da Anomalia 1	54
	Caminhamento da Anomalia 2	59
	Caminhamento da Anomalia 3	67
4.4	Integração de dados geológicos e geofísicos	77
5	CONCLUSÕES	80
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

A relevância da constante busca de entendimento, síntese e propostas de integração de informações geológicas, acerca do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) é notabilizada a partir do amplo conjunto de trabalhos realizados por diferentes geocientistas. Esses têm distintas abordagens; a citar, os estudos pioneiros de Carvalho (1932) e Leinz et al. (1941) até os dias de hoje, com a contextualização de Phillip et al. (2016).

Granitoides pré-cambrianos e seus equivalentes metamórficos são os principais litodemas do ESRG. Essas ocorrências e a pequena expressão de rochas sedimentares da região estão vinculadas a diversas fases da Orogênese Brasileira.

Com o desenvolvimento das tecnologias computacionais, a melhoria dos tratamentos de dados revelou-se uma ferramenta que permitiu novas interpretações, assim como evoluções no cenário da compartimentação geológica e tectônica da colagem orogênica. Assim, o presente trabalho pretende utilizar-se da análise de compilações atualizadas e processadas de dados de aeromagnetometria – estes retirados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, CPRM (2010), principalmente, para contribuir com as discussões em torno da evolução do ESRG; mais especificamente da sua região NE.

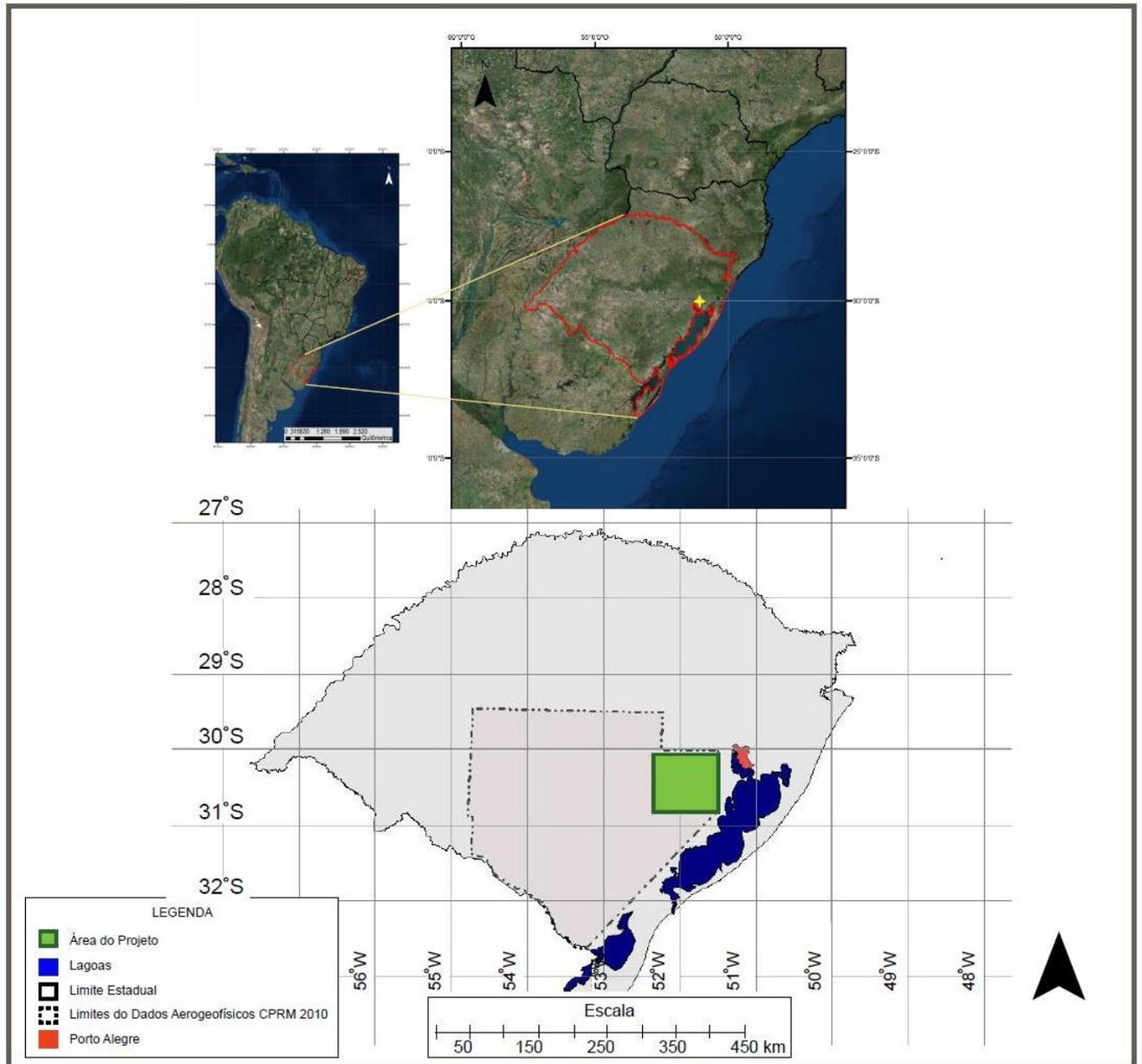
As metodologias empregadas para uma adequada convergência de ideias sobre a caracterização das relações estruturais vinculadas à aeromagnetometria são: relações de campo, petrografia e o geoprocessamento. Todas essas informações serão relacionadas, principalmente, à litologia, uma vez que é a partir dela que sinais aeromagnéticos anômalos podem ser observados.

1.1 Localização

A área de estudo, a porção nordeste do Escudo Sul- Rio-Grandense, está representada pelo polígono apresentado na Figura 1, o qual compreende a área em que três anomalias magnéticas de direção E-W foram identificadas, situando-se no extremo centro-leste do estado do Rio Grande do Sul. O acesso às localidades em estudo se dá, a partir da capital Porto Alegre, por meio das rodovias federais BR-290 e BR-116; assim como por diversas

estradas estaduais (RS-709, RS-711, RS-715 e RS-717). Na Figura 2 são apresentadas as principais vias de acesso em imagem do *Google Earth*.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, marcada pelo polígono verde, no nordeste do Rio Grande do Sul.



Fonte: adaptado de CPRM, 2010.

Figura 2 - Imagem do *Google Earth* da área de pesquisa com as principais vias de acesso.



Fonte: extraído de *Google Earth*.

1.2 Problema e hipótese

Tomando-se por base o espectro magnético resultante de estudo com os dados geofísicos de aeromagnetometria de CPRM (2010) na região da presente pesquisa, a problemática que a fundamenta, é que são ali verificadas anomalias de orientação preferencial E-W de interpretação geológica ainda não estudada. Qual seria o significado geológico dos altos magnéticos presentes na porção NE do ESRG?

Foram consideradas como hipóteses neste trabalho que as anomalias delimitam corpos rochosos de composições distintas, poderiam representar também estruturas crustais em um

mesmo conjunto de rochas, ou mesmo corpos tabulares em profundidade que não afloram em superfície.

1.3 Justificativa

Este estudo trará contribuição científica trazendo aporte para o desenvolvimento do conhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul; visto a importância de se integrar metodologias atuais – que não sejam dispendiosas em relação a custos e logística - e de precisão, como a aerogeofísica. Com a utilização da aeromagnetometria é possível verificar contrastes de propriedades físicas, em superfície e subsuperfície, em diferentes domínios geológico - estruturais.

O tratamento de dados, e também informações de natureza qualitativa poderão auxiliar para a elaboração de adequados planos para a gestão e uso – no caso de descobertas de guias prospectivos de depósitos minerais, por exemplo, da área que o presente projeto de pesquisa abrange.

1.4 Objetivos

Este estudo tem como objetivo principal a integração dos dados geológicos com os dados geofísicos de aeromagnetometria da porção NE do Cinturão Dom Feliciano, onde importantes estruturas E-W podem ser observadas nos estudos geofísicos, porém, sem um estudo do significado geológico.

Para tanto, como objetivos subordinados serão realizados trabalhos de campo, estudos geofísicos dos dados aeromagnéticos disponíveis na literatura, compilação na literatura da geologia descrita na área e análises petrográficas em lâmina delgada com microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura das fases minerais magnéticas presentes nas rochas da área em estudo.

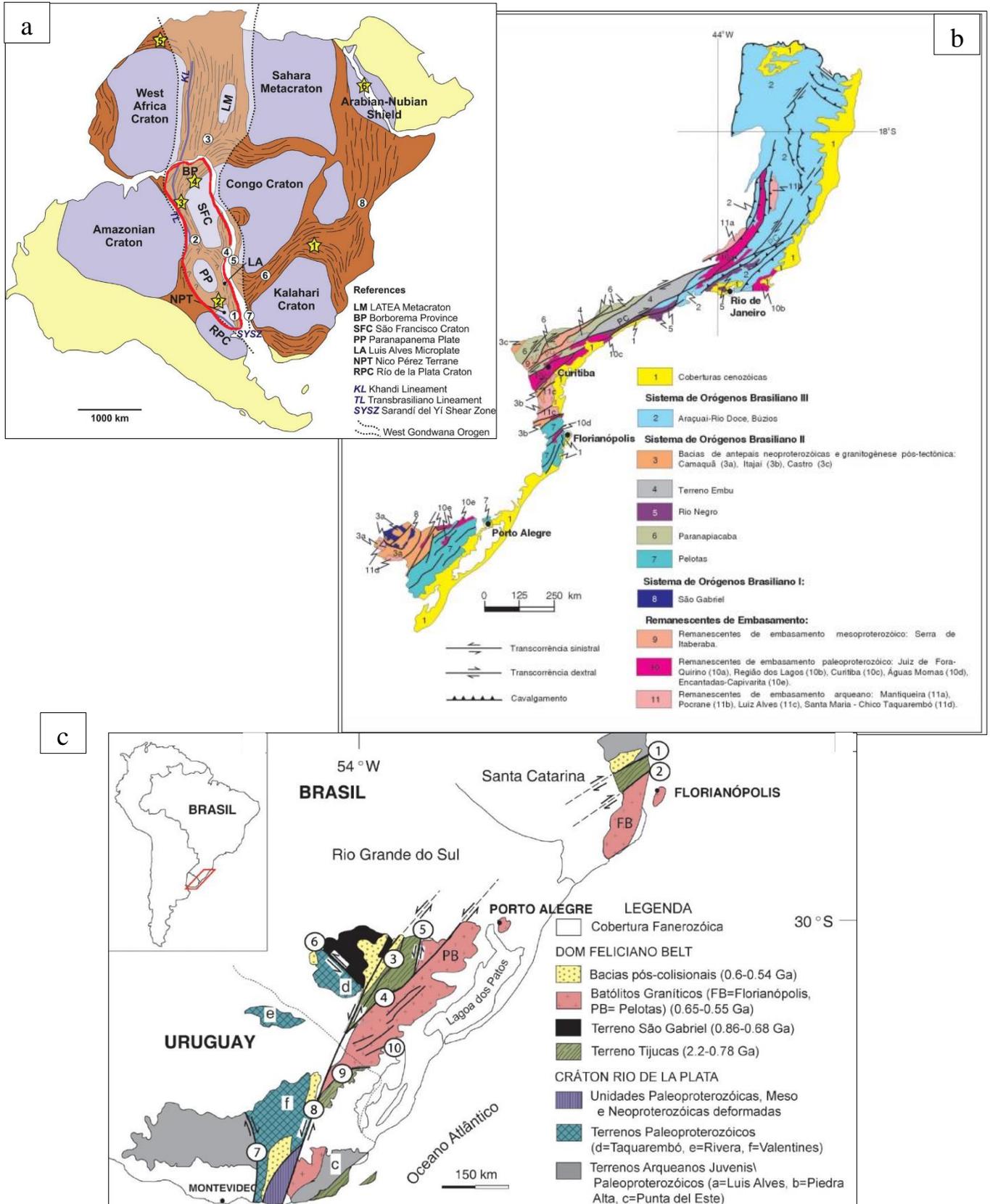
2 ESTADO DA ARTE

2.1 Geologia Regional

2.1.1 Província Mantiqueira

Situa-se a leste dos crátons do São Francisco e Rio de La Plata, tendo sua continuidade lateral com os orógenos africanos Kaoko, Gariiep e Damara interrompida pelo Oceano Atlântico (Figura 7a). A Província Mantiqueira se localiza no sul e sudeste do Brasil, bordeando sua costa leste, por mais de 3000 km, da Bahia ao Uruguai (Figura 7b).

Figura 7 – (a) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; (b) Domínios tectônicos e principais estruturas da Província Mantiqueira; (c) Localização da área de estudo na América do Sul e principais unidades geotectônicas do Sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5 Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10- Arroio Grande.



Fonte: Modificado de Chemale Jr. et al. (2000), Oyhantçabal et al. (2010) e Phillip et al. (2011).

A província é um importante sistema orogênico neoproterozoico, cuja formação ocorreu durante a colagem dos crátons São Francisco/Congo, Luiz Alves, Paranapanema, Rio de la Plata e Kalahari levando à formação do Supercontinente Gondwana Oeste (ROGERS, 1996.). Isto se deu pela justaposição diácrona dos orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (HEILBRON et al., 2004).

O Cinturão Dom Feliciano (CDF), onde está localizada a área de estudo (Figura 6c), é o orógeno mais meridional da Província Mantiqueira e está separada do Cinturão Ribeira, ao norte, pelo Cráton de Luiz Alves. O CDF (FERNANDES et al., 1995a) estende-se aproximadamente por 1100km na direção NE-SW, desde Armação (norte de Santa Catarina) até Piriápolis (Uruguai). As unidades litotectônicas desse cinturão estão parcialmente recobertas pelas sequências da Bacia do Paraná e Formação Serra Geral, de modo que o CDF pode ser observado de forma descontínua nos escudos Catarinense, Sul-Rio-Grandense e Uruguaio. A área de trabalho está situada no Cinturão Dom Feliciano, que será descrito a seguir.

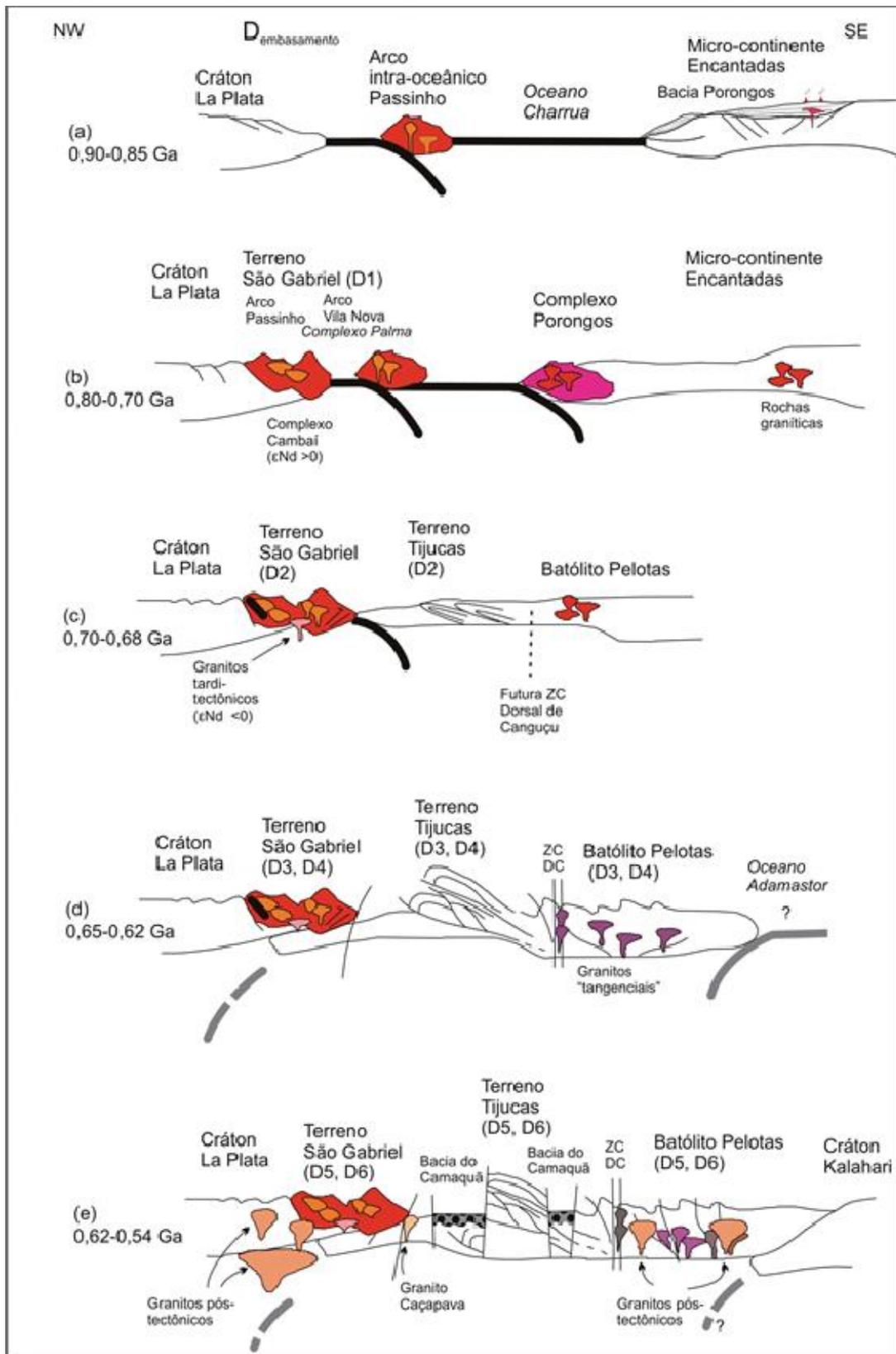
2.1.2 O Cinturão Dom Feliciano

No ESRG, o CDF é compartimentado usualmente em 4 domínios, que levam nomes distintos dependendo do autor. A Figura 7 apresenta uma compilação feita por Phillip et al. (2011) O Terreno Taquarembó, de idade Paleoproterozoica, granulítico, no extremo oeste do CDF, é um domínio cratônico - constituinte do Cráton La Plata (ALMEIDA et al., 1973). Os outros três domínios compreendem as unidades formadas durante a colagem brasileira, relacionados aos eventos pré, sin e pós-colisionais da orogênese do Cinturão Dom Feliciano-faixa móvel Neoproterozoica (FRAGOSO-CÉSAR, 1980). Com base nas unidades litotectônicas dominantes foram definidos os terrenos/domínios São Gabriel, Tijucas e Pelotas, que correspondem genericamente aos domínios geofísicos, oeste, central e leste (FERNANDES et al., 1995, COSTA, 1997), respectivamente. Mais recentemente, um quinto domínio foi definido a sudeste, abaixo da Zona de Cisalhamento Airoza - Galvão (RAMOS; KOESTER, 2016). Ainda dentro do Cinturão Dom Feliciano, há a Bacia do Camaquã, unidade formada na fase final da evolução do ESR, pós colisional; é uma bacia de retroarco, com registro magmático e sedimentar que representa estabilização da crosta.

O entendimento da formação do Cinturão Dom Feliciano (CDF) foi sintetizada por Philipp et al. (2016) como sendo a superposição de três eventos orogênicos: Passinho (0.89 – 0.86 Ga), São Gabriel (0.77 – 0.68 Ga) e Dom Feliciano (0.65 – 0.54 Ga). Em um contexto amplo sobre a evolução do ESRG, Hartmann et al. (2007) (Figura 8) propõe que, em um primeiro momento há a formação de zonas de subducção, com mergulho para leste, associadas a dois arcos magmáticos pré-colisionais - arco intra- oceânico Passinho e, um de margem ativa, Vila Nova no processo de aproximação entre os grandes blocos continentais La Plata e Kalahari. O mesmo estudo infere que, posteriormente a isso, originou-se a migração do microcontinente Encantadas em direção ao Cráton Rio de La Plata causado por uma zona de subducção também com mergulho para leste formado pela extensão da Bacia Porongos - margem oeste do microcontinente. A deformação com zonas de empurrão na pilha de rochas supracrustais da bacia porongos, foi, da mesma forma, resultado desses movimentos. Concomitantemente, na margem leste do microcontinente encantadas, desenvolveram-se os granitoides do Complexo Pinheiro Machado com mergulho para oeste (HARTMANN et al., 2007)

Para Philipp et al. (2016), entre 650 – 620 Ma, o fechamento do oceano Adamastor (Figura 8). envolveu metamorfismo de alta temperatura e pressão intermediária. E, por esse motivo, houve significativo espessamento crustal, indicando que a deformação dútil no cinturão controlou a sua evolução final com a passagem para uma tectônica de escape. Isso fundamenta o surgimento de zonas de cisalhamento transcorrentes de escala crustal. Magmas máficos ascenderam por essas estruturas e, em resposta ao gradiente geotérmico regional, impeliram o retrabalhamento crustal responsável pela formação do Batólito Pelotas / Associação de Arco Magmático I (FERNANDES et al., 1995 a).

Figura 8 - Evolução geotectônica do escudo do Rio Grande do Sul no Neoproterozoico, em 5 etapas (8a,8b,8c,8d,8e) entre 900-540 Ma.



Fonte: Hartmann, 2007

2.1.3 Domínio Leste do Escudo Sul-Rio-Grandense

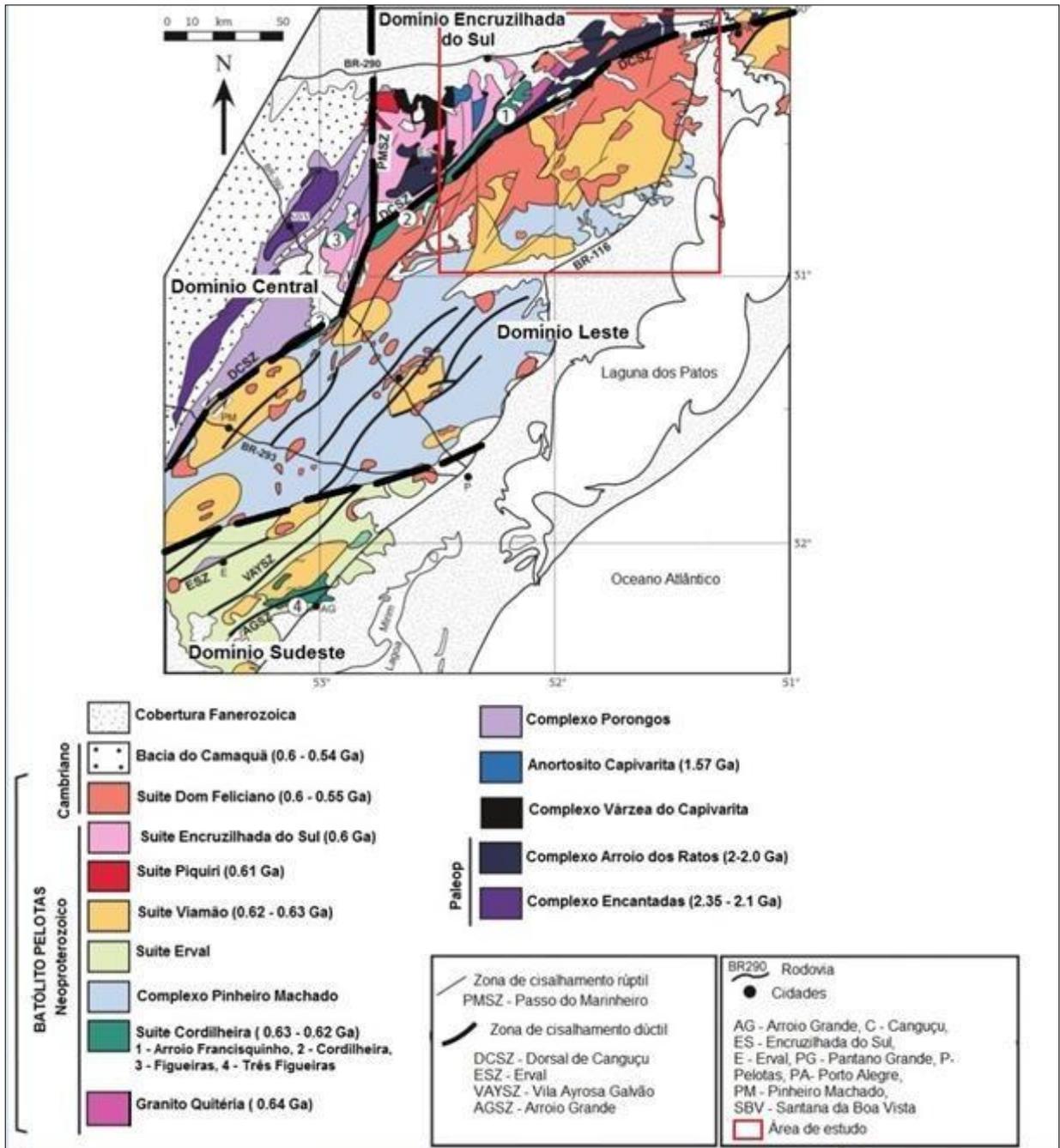
Atentando-se, especialmente, à área de estudo, é importante salientar que ela apresenta distintas denominações – conforme anteriormente citado, em função de divergências conceituais entre diferentes autores.

Neste trabalho será considerada a diferenciação utilizada por Fernandes et al. (1995) - Domínio Leste (DL); assim como, estrategicamente, por melhor se conciliar aos objetivos desse trabalho, sua divisão em domínios aeromagnéticos do ESRG.

Na descrição da geologia do DL do ESRG por Fernandes et al. (1995), são relatadas associações de rochas predominantemente graníticas, alongadas na direção NE-SW. Em síntese, são séries plutônicas, configurando um complexo multi-intrusivo, com domínio de granitoides cálcio – alcalinos, admitidos como uma sucessão de granitoides orogênicos Neoproterozoicos contendo *roof pendants* e xenólitos de sequências de rochas supracrustais de alto grau metamórfico. Esses granitoides são usualmente incluídos no Batólito Pelotas (BP).

O magmatismo do DL/BP iniciou com a geração de granitoides alto K, cálcio-alcalino e com afinidade metaluminosa a peraluminosa, seguida de magmatismo alcalino e, por fim, de intrusões menos volumosas peralcalinas (PHILIPP; MACHADO, 2005; OLIVEIRA et al., 2015). A divisão estratigráfica de Philipp (1998) entende essa região como um batólito, sendo este dividido em suítes (Figura 9), por análise de razões isotópicas e de contribuição crustal na gênese dos magmas graníticos. Esse conceito é divergente da definição adotada neste trabalho, principalmente, por discordância da denominação de “batólito” em uma área de tão amplo espaço de tempo de formação das rochas. Quanto à geologia, da área de estudo, é consenso que é dominada por volumosos corpos leucograníticos do final do Neoproterozoico. Os fragmentos do embasamento são representados por rochas metamórficas de baixo a alto grau, e afloram em grandes áreas nessa região.

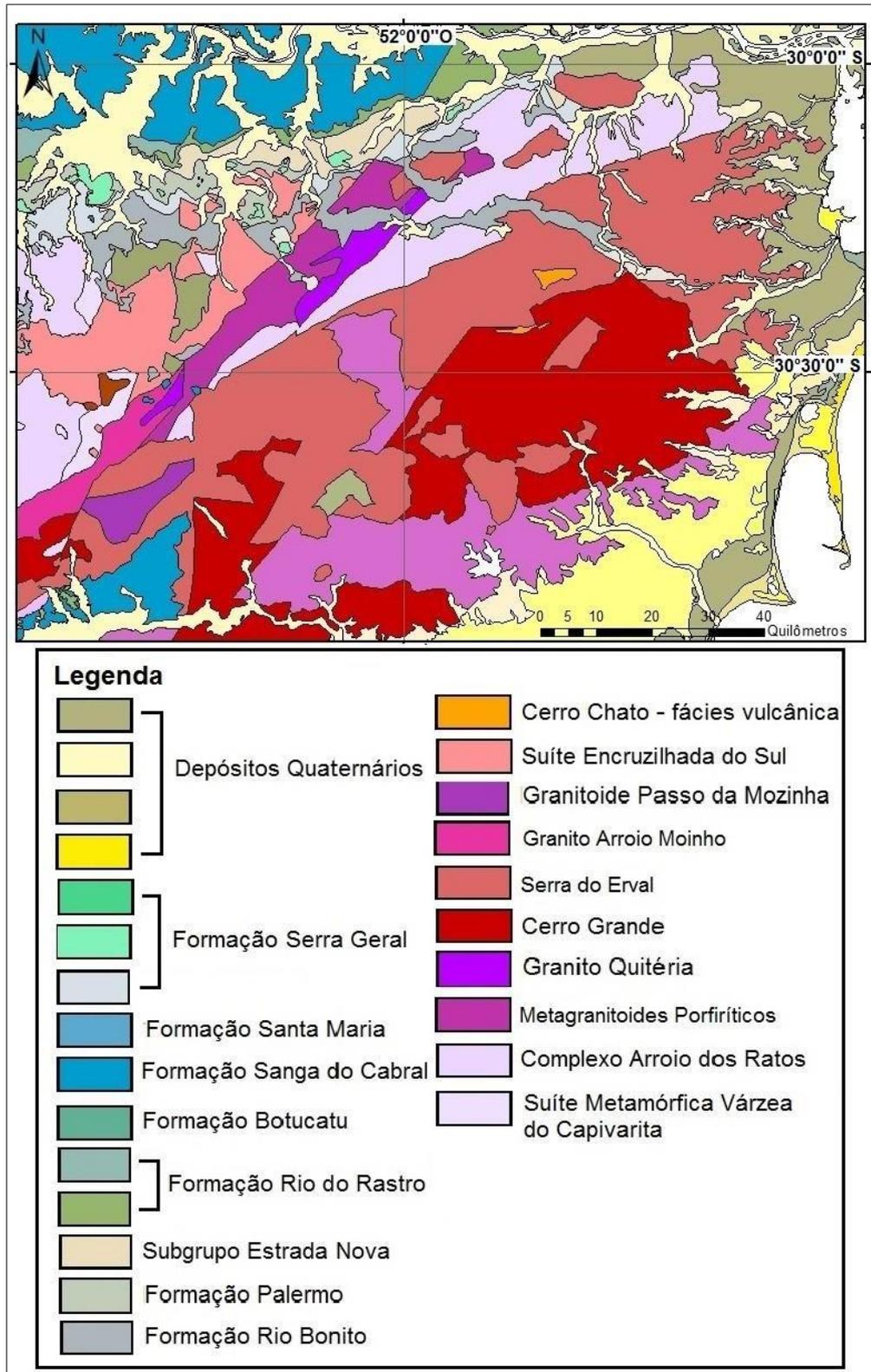
Figura 9: Mapa simplificado do Batólito Pelotas



Fonte: Modificado de PHILIPP et al. (2016 a).

A estratigrafia adotada neste trabalho é relativa às unidades definidas por CPRM (2007). Nesse contexto, a região de interesse, abrange classificações pertencentes ao Domínio Pelotas; expondo, majoritariamente, os metagranitoides do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado (Metagranitoides Porfiríticos) e da Suíte Granítica Dom Feliciano (fácies Serra do Herval e Cerro Grande) (Figura 10).

Figura 10: Mapa geológico simplificado da área de estudo



Fonte: modificado de CPRM (2007).

2.2 Anomalia Magnética

Dependendo da proporção, disposição e natureza dos minerais magnéticos das rochas próximas à superfície, pode-se esperar mudanças no campo geomagnético principal – aquele relacionado à estrutura interna da Terra; ou seja, uma superposição/ interferência de fluxo magnético que causa um efeito localizado, configurando, então uma anomalia magnética.

A intensidade desse campo secundário gerado, representado pela anomalia magnética, é dada em função da predisposição inerente à litofácies de magnetizar-e sob a ação de estimulação magnética – propriedade denominada susceptibilidade magnética.

A magnetização total de uma rocha é determinada pela soma vetorial da magnetização induzida pelo campo magnético terrestre e da magnetização retida pelos minerais ferromagnéticos à época de seu resfriamento - componente remanescente.

Em síntese, a interposição dos campos magnéticos produz perturbações locais – as anomalias, que são definidas por distintas porções desse sinal geofísico; estas, que são chamadas, então, de relevos magnéticos (SOARES, 2001). Configura-se mais acentuado o relevo magnético diretamente correlacionado à concentração de minerais magnéticos associados à extensão, comprimento, profundidade, inclinação e latitude do corpo magnético. Por essas variáveis também, define-se a forma da anomalia.

Em geral, a litologia causativa de qualquer anomalia não é identificada com certeza baseando-se apenas em dados magnéticos; mas, podem-se supor interpretações com o entendimento de que rochas sedimentares são, distintivamente não magnéticas – exceto as BIFs e que a amplitude das anomalias variam de umas poucas dezenas de nT sobre embasamentos metamórficos profundos, a várias centenas de nT sobre intrusões básicas, e podem atingir a expressividade de milhares de nT sobre depósitos de magnetita (KEAREY, 2009).

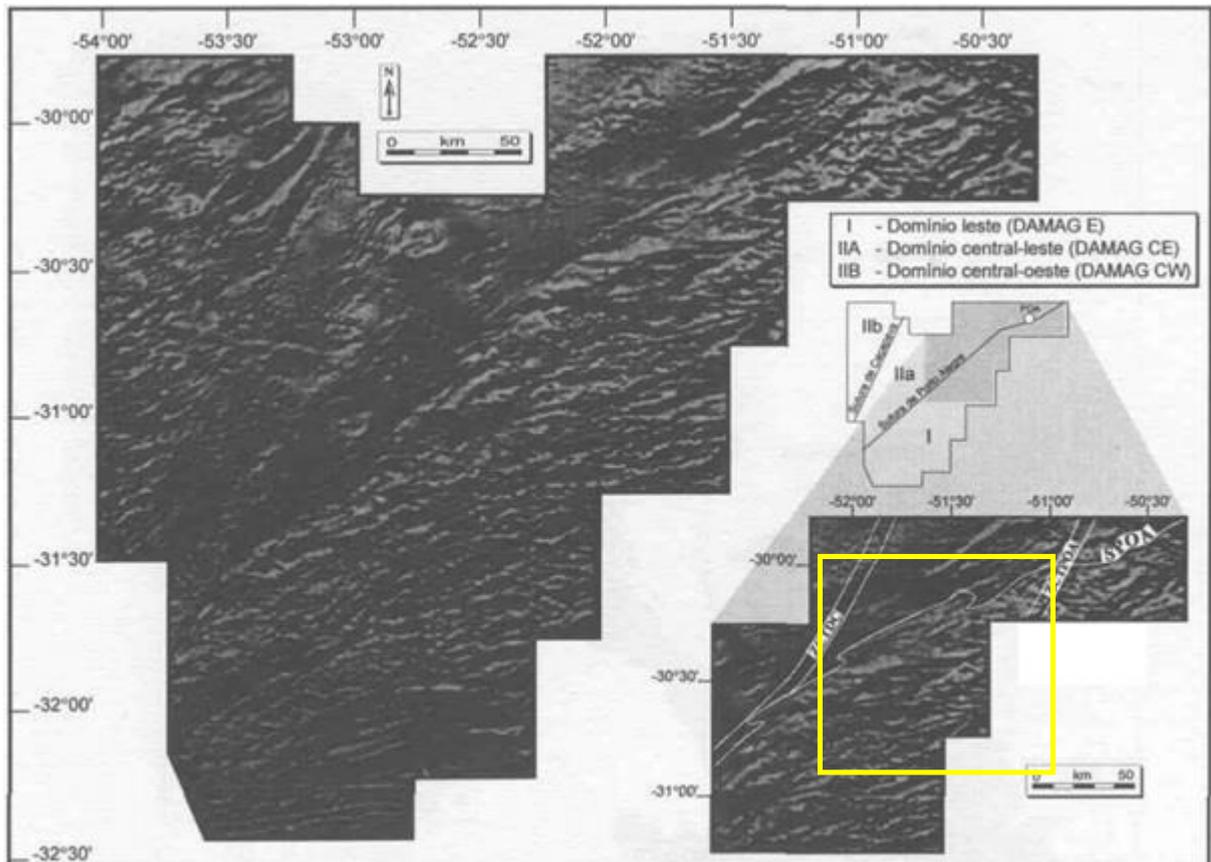
2.3 Domínio Aeromagnético Leste

A verificação das respostas dos sinais aerogeofísicos dispostos pelo Projeto Aerogeofísico Camaquã (JACKSON et al., 1973) na porção leste do meridiano 54 do ESRG, obteve três padrões preferenciais e localizados; os quais, permitiu, para Fernandes et al. (1995

b), a delimitação de três grandes domínios alongados NE-SW denominados de : Domínio Aeromagnetométrico Leste (DAMAG E), Domínio Aeromagnetométrico Central – Leste (DAMAG CE) e Domínio Aeromagnetométrico Central-Oeste (DAMAG W) (Figura 11).

Figura 11 - Mapa aeromagnetométrico de parte do Escudo Sul- Rio –Grandense com três diferentes domínios individualizados e a localização da área de estudo indicada pelo retângulo amarelo.

Fonte: adaptado de FERNANDES et al. (1995b)

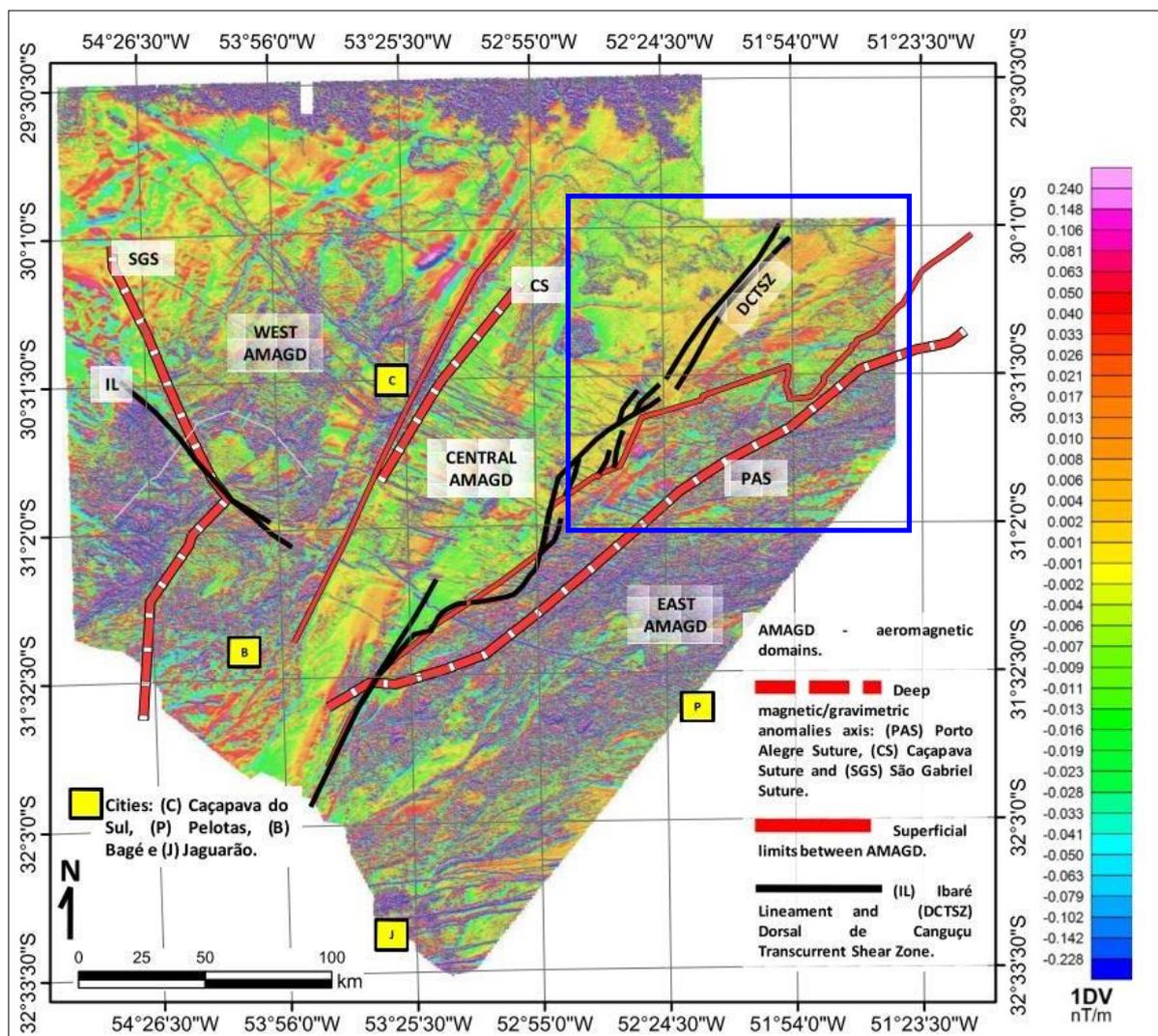


Particularmente, o DAMAG E destaca um elevado relevo magnético notado, particularmente pela alta densidade de lineamentos aeromagnetométricos. Descritivamente, Fernandes et al. (1995), apontou a geologia desse domínio; esta, então corroborada pelos autores supracitados nos itens anteriores desse capítulo; ou seja, majoritariamente, composta por granitoides orogênicos, foliados, de composições cálcico- alcalinas e com xenólitos de rochas supracrustais. Zonas de cisalhamento transcorrentes, de orientação NE, afetam esse domínio (FERNANDES et al., 1992 b); elas, aparentemente, causam o deslocamento das direções estruturais da trama principal da associação de rochas ali encontrada; estas, de forma inferida, representadas pelas anomalias N70E (FERNANDES et al., 1992; COSTA; CALDASSO,

1994). Os lineamentos aeromagnetométricos desse bloco geofísico são curtos ou alongados, paralelos e ondulados com direções predominantes entre N70E e E-W.

Costa (1997) definiu três domínios geofísicos, como atualização/ releitura de Fernandes et al. (1995 a; b): Domínio Leste – área de interesse da presente contribuição, Central e Oeste (Figura 12). Tais blocos foram separados por anomalias magnéticas regionais profundas e delimitaram suturas; nomeadas, de leste para oeste: Sutura Porto Alegre (SPA), Sutura Caçapava (SC) e Sutura São Gabriel (SSG).

Figura 12 – Domínios geofísicos de Costa (1997) em mapa da primeira derivada vertical do levantamento da Lasa Prospecções S.A. (2010). São eles: Domínio Leste, Domínio Central e Domínio Oeste, individualizados por eixos de anomalias geofísicas profundas com seus respectivos rebatimentos em superfície, coincidentes ou não com grandes estruturas aflorantes. O retângulo azul escuro abrange a área de estudo.



Fonte: adaptado de TRAVASSOS (2014).

Frantz e Fernandes (1994), da mesma forma, descreveram as grandes intrusões ali encontradas como de litologias graníticas cálcico-alcálicas, alto K e alcalinas tardias a pós-transcorrentes; as quais, ditas por Fernandes et al. (1995 a; b), aparentemente não influenciadoras do padrão magnético geral. Em contrapartida, intrusões básicas, de menores extensões, são, aparentemente, responsáveis por anomalias magnéticas elipsoidais, intensas e de eixos curtos. Existem ainda, longas anomalias, mais jovens - datadas do Mesozoico, que atravessam todos os domínios e que têm direção N70W. Estas correspondem a estreitos e contínuos diques de diabásio.

A SPA (Figura 11 e 12) delimita os domínios aeromagnetométricos leste e central e é representado por um alongado alinhamento com direção N45E nos segmentos sul e central que inflete para N60E, na porção norte.

No que se refere a propostas de segmentações litológicas anteriores a Fernandes et al. (1995 b), o DAMAG E corresponderia ao Complexo Canguçu (SANTOS et al., 1989), excluindo-se as rochas da região de Encruzilhada do Sul, à Associação de Arco Magmático I (FERNANDES et al., 1992 a; b) e, ao Bloco Dom Feliciano/ Complexo Granito-gnáissico Pinheiro Machado (RAMGRAB; WILDNER.,1997).

3 METODOLOGIA

O presente estudo fundamenta-se em uma pesquisa aplicada, que visa relacionar a geofísica e a geologia. Em vista disso, os resultados serão apresentados sobre forma quantitativa e qualitativa a partir da coleta e tratamento de dados de fontes primárias – informações originais - e secundárias – utilização de referências da literatura disponível.

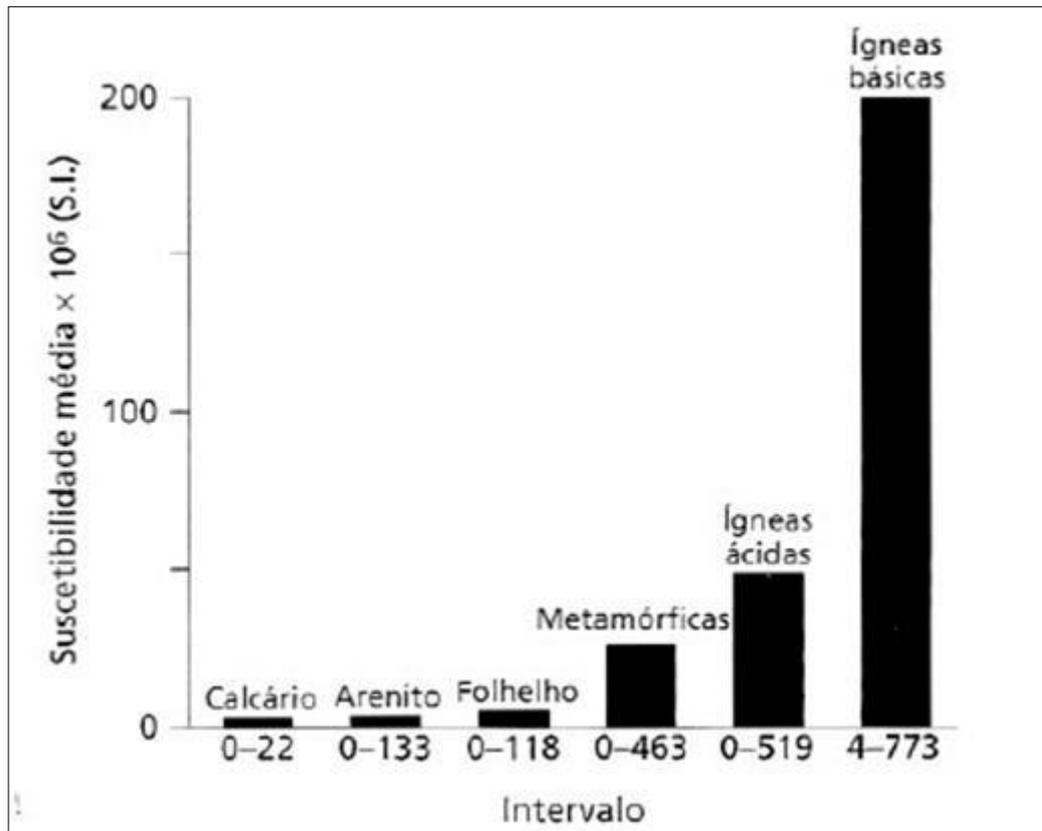
A planificação da pesquisa incluiu, primeiramente, o levantamento dos dados de revisão bibliográfica; isso por que a sistemática aplicada na interpretação dos produtos magnetométricos baseia-se, fundamentalmente, na atualização de trabalhos com proposta similar – análise e associação de mapas geológicos e geofísicos. A lógica metodológica objetivou ser direcionada ao contexto que configura o objeto de estudo, de modo que os objetivos sejam atingidos. As ferramentas específicas para tanto serão: magnetometria, petrografia e geoprocessamento.

3.1 Magnetometria

O objetivo de um levantamento magnético é explorar a geologia com base nas variações locais do campo magnético, as chamadas anomalias magnéticas; essas, que são resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. Cada rocha magnetiza-se de acordo com a sua susceptibilidade magnética, que é a medida adimensional que responde à tendência de um material em se magnetizar.

Kearey (2009) apresenta que essa propriedade dentre os minerais formadores de rocha exibe valores muito baixos; a parcela de minerais magnéticos contida nas rochas responde pelos seus caracteres magnéticos. A Figura 3 apresenta um histograma ilustrando as susceptibilidades dos tipos de rocha mais comuns.

Figura 3 – Histograma dos valores médios e intervalos de susceptibilidade magnética dos tipos de rocha mais comuns.



Fonte: Extraído de KEAREY (2009).

As anomalias originam-se da soma dos vetores do campo magnético produzido por dois processos (GUNN, 1998):

(1) Indução Magnética: gera-se um fluxo magnético a partir da influência do campo magnético da Terra com os minerais magnéticos dos corpos rochosos. Quanto maior a susceptibilidade do material, maior será tal fluxo; este que sempre possui o mesmo sentido do campo magnético terrestre.

(2) Magnetização Remanescente Natural: Assimilada ao longo do tempo de cristalização da rocha. Esta magnetização pode diferir fortemente em magnitude e direção do momento magnético induzido, pois podem ter sido adquiridas de diferentes maneiras e em diferentes épocas.

Em ambos os projetos utilizados como base para interpretação geofísica no presente estudo, assim como em qualquer projeto oficial de aeromagnetometria, os dados obtidos já estão tratados para que sejam consideradas informações úteis – os chamados “dados brutos”, na comparação e interpretação fidedignas.

A chamada redução dos dados magnéticos é indispensável para que as causas da variação magnética; todas aquelas que não são geradas pelos efeitos magnéticos de superfície, sejam removidas e o método possa vir a apresentar resultados. Esse recurso serve, então, de embasamento para os processos posteriormente aplicados de acordo com o interesse de pesquisa.

Característico da aerogeofísica é que a aquisição de dados é feita de forma anisotrópica, ou seja, num sentido a amostragem é quase que 70 vezes, utilizando-se como exemplo o aerolevanteamento CPRM (2010), maior que no outro sentido. Por isso, também, é primordial que sejam feitos os processamentos prévios.

Abaixo são relacionadas as principais correções realizadas extraídas de Kearey (2009):

- Remoção da variação magnética diurna: eliminação das oscilações diurnas do campo magnético causadas, essencialmente pela interação de ventos solares na ionosfera. Nos projetos de levantamento aeromagnéticos Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul- CPRM (2010) e Projeto Aerogeofísico Camaquã (1973), foram utilizados dois magnetômetros sincronizados, com o mesmo tempo de leitura; um móvel, que faz as leituras em cada ponto e um instalado na base – local próximo ao aerolevanteamento. A correção se dá pela diferença dos sinais magnéticos.

- Erro de paralaxe: fundamenta-se na retirada da diferença dos tempos de medição do magnetômetro e do altímetro com o sistema de posicionamento – o ângulo de observação varia por que o avião não voa perfeitamente plano e constante. Compara - se duas linhas de voo, de sentidos distintos e executadas sobre uma anomalia magnética conhecida.

- Nivelamento: ajuste das linhas de controle com base na média das diferenças com as linhas de voo.

- Remoção do IGRF: o *Internacional Geomagnetic Reference Field* (IGRF) é a representação teórica, de campo magnético terrestre regional, remoção é necessária, para garantir maior precisão; visto que, são grandes as áreas de abrangência dos projetos.

- Micronivelamento: Segundo Luyendyk (1997), “micronivelamento” é um termo geral que se refere à suavização de imagens imperfeitas geradas através de dados aerogeofísicos após o processamento padrão e aplicação das técnicas de nivelamento. Em geral, é feita a filtragem dos grids dos dados para detectar erros residuais e posteriormente feito o ajuste.

Segundo Kearey (2009), os principais fatores que podem acarretar possíveis falhas na metodologia em magnetometria são:

- Estrutura dos minerais e posição dos minerais: a medida pode ser atenuada ou aumentada, dependendo, também, do tipo de magnetização incidente em determinada estrutura e posição dos minerais.

- Diversidade de minerais magnéticos: anomalias de um mineral específico podem passar despercebidas dependendo da relação quantitativa de minerais magnéticos em determinada área.

- Medidas próximas de cercas e redes de alta tensão: medidas de magnetometria terrestres nestas situações podem sofrer interferência e alterar os dados. Contudo, para aerolevamentos geofísicos, não se encontrou referência para essa questão. Podendo-se inferir que, em função da distância do magnetômetro, não deve haver essa distorção específica na obtenção dos dados.

- Erros do operador: erros comuns de operação.

- Não deve ser utilizado sozinho: como todo método geofísico, deve ser acompanhado do entendimento geológico.

- Ambiguidade geofísica do campo potencial a ambiguidade também vista no gamaespectrômetro, e em levantamentos elétricos. Qualquer anomalia pode ser causada por um número infinito de fontes possíveis.

Aliando-se aos objetivos específicos do trabalho, no que se refere à escala adotada, para a área de trabalho, o aerolevamento CPRM (2010) condiz para uma confiável precisão de interpretação, visto que a aquisição dos dados foi feita ponto a ponto a uma distância de 7 metros um do outro exatamente. No caso do projeto de 1973, a precisão é menos exata, com a coleta de dados variando de 6 a 10 metros.

Contrapondo-se os dados dos diferentes projetos de aerogeofísicas adotados no estudo, no que diz respeito à precisão – fator intimamente ligado à resolução dos produtos aerogeofísicos, observa-se maior qualidade dos dados obtidos no projeto mais recente; isso, por que, além de magnetômetros mais modernos, com mais filtros, neste, a malha de amostragem é menor.

Além disso, no aerolevamento Camaquã, o aeromagnetômetro utilizado é de próton e tem uma desvantagem, pois as leituras não são contínuas em razão do período finito de ciclo; isso pode acarretar em que pequenas anomalias ignoradas, uma vez que uma aeronave percorre uma distância significativa entre as medidas discretas, espaçadas por intervalos de poucos segundos (2 segundos, nesse caso).

O magnetômetro de próton é sensível a gradientes magnéticos acentuados, que podem fazer com que os prótons (núcleos de hidrogênio) entrem em precessão, que é a rotação

adicional, em função do campo magnético, à própria do átomo em diferentes partes. Nesse caso, segue taxas diferentes, com o consequente efeito adverso sobre a intensidade do sinal de precessão; o que, interfere na precisão dos dados.

A resolução dos dados aeromagnetométricos depende da malha de amostragem, esta que é inversamente proporcional à resolução. Portanto, para os dados de base da CPRM-2010 temos uma alta resolução, com maior nível de detalhamento – espaçamento de 500m das linhas de aquisição, e maior quantidade de filtros; comparativamente, ao do Projeto Camaquã, com resolução inferior, com intervalo de obtenção de dados de 2km.

3.1.1 Base de dados do Projeto aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul.

O projeto aerogeofísico apresentado por CPRM (2010) contemplou 159.789,21 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, com altura de voo fixa de 100 m sobre o terreno, linhas de vôo e controle espaçado a 500 m e 10 km respectivamente, orientadas nas direções N-S e EW, na mesma ordem. A Figura 4 mostra o polígono que envolve a área do levantamento.

Figura 4 - Mapa de localização da Área Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul.



Fonte: CPRM (2010).

3.1.1.1 Metodologia da aquisição dos dados aerogeofísicos

O Quadro 1 coloca, resumidamente, os dados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).

Quadro 1 – Dados de aquisição de voo do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, CPRM (2010).

Empresa contratante	CPRM
Empresa contratada	LASA Engenharia e Prospecções S/A
Equipamentos	Gamaespectrômetro Exploranium GR 820 – 256 canais Magnetômetro Scintrex SC-2
Espaçamento das linhas de aquisição	500 metros
Espaçamento das linhas de controle	10000 metros
Intervalo entre medições	Gamaespectrômetro – 1s / 65 metros do terreno Magnetômetro – 0,1 s/ 8 metros no terreno
Direções de voo	E-W aquisição N-S controle
Altura média do voo	100 metros
Sistema de navegação	GPS SERCEL NR 103

Fonte: Extraído de CPRM (2010).

3.1.1.2 Natureza dos dados disponibilizados

Os dados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) foram disponibilizados no formato ASCII (XYZ), GDB's, compatíveis com a plataforma do *OASIS MONTAJ GEOSOFT*, (2007) onde estão agrupadas informações de posicionamento corrigidas e todos os demais canais de informação registrados a bordo da aeronave.

3.1.2 Geoprocessamento dos dados magnetométricos

Para a obtenção dos mapas geofísicos de interesse para as finalidades aqui propostas, foram necessários a execução de geoprocessamentos. A intenção é destacar os dados específicos com a aplicação de algoritmos pré-estabelecidos por softwares.

Os mapas preliminares – disponibilizados pela empresa que realizou o aerolevantamento- são chamados de “grids” e a partir destes é feito o refinamento necessário.

Neste trabalho foi utilizado o *software Geosoft* com a extensão *Oasis Montaj* para a aplicação de diferentes filtros – amplitude do sinal analítico, derivada horizontal, derivada vertical, gradiente horizontal, modelagem matemática para caracterização de estruturas geológicas e mapa residual. A utilização desse software é elementar, pois ele possibilita o reprocessamento de dados na escala do polígono desejado.

O *software Surfer* v.11 é utilizado para a parte cartográfica do trabalho, confecção dos mapas elaborados com os pontos trabalhados em campo. O *software Global Mapper* v. 13 possibilita a confecção dos mapas que integram e permitem a análise da associação de dados geológicos, estruturais e geofísicos.

A seguir, são especificados outros processos utilizados que possibilitam a redução das observações magnéticas – além daquelas descritas no item 2.1.

- Introdução à filtragem: genericamente, as filtrações servem para descrever o efeito resultante, por uma operação matemática, nos domínios de tempo e /ou frequência e foram desenvolvidos para facilitar interpretações geológicas pela transformação de dados. O emprego dos filtros proporciona informações qualitativas que ajudam a construir um raciocínio lógico para entendimento geral da natureza das fontes.

- Continuação para cima: possibilita mostrar a influência de fontes profundas, inclusive em escala regional (PETERS, 1949).

- Derivada Horizontal: trata-se de um filtro que ressalta as altas frequências, aplicado na direção "x" ou "y", permite mostrar a tendência das principais estruturas ao realçar os gradientes das possíveis fontes anômalas (STANLEY, 1977).

Pode ajudar a definir um contato brusco entre as duas rochas tipos possuindo diferentes magnetizações (NAIDU; MATHEW, 1998).

- Derivada Vertical: filtro utilizado para encurtar os comprimentos de onda curtos, acentuando os gradientes das bordas dos corpos magnéticos rasos (PETERS, 1949).

- Gradiente Horizontal: em geral, indica mudanças laterais abruptas do campo magnético anômalo, facilitando o delineamento de estruturas geológicas rasas ou posicionadas a pouca profundidade (NABIGHIAN, 1972).

- Amplitude do Sinal Analítico (ASA): o conceito de Sinal Analítico 2-D foi desenvolvido por Nabighian, (1972,1974). Onde essa técnica é caracterizada por não ter dependência com relação à direção do vetor magnetização da fonte. Ou seja, pode ser correlacionada, à intensidade de magnetização da fonte.

Segundo Roest et al. (1992), o Sinal Analítico da Anomalia Magnética de Intensidade Total reduz os dados magnéticos a anomalias cujo sinal máximo coincide com as bordas dos corpos magnetizados e cuja forma pode ser usada para determinar as profundidades destas bordas e determina parâmetros geométricos, como localização de limites (geológicos e estruturais) (NABIGHIAN, 1972).

- Deconvolução de Euler: Algoritmo de interpretação quantitativo que permite localizar – horizontalmente e em profundidade- as fontes magnéticas do campo potencial observado.

3.2 Trabalho de campo

Essa etapa teve o propósito de buscar relações litológicas de campo e dados estruturais que estivessem vinculadas às anomalias aeromagnetométricas que o presente trabalho considera – aquelas de orientação NE/ E-W presentes na área de estudo. Complementarmente, a atividade de campo teve como propósito a coleta de amostras das associações de interesse para posteriores análises. O planejamento das saídas a campo foi realizado a partir de mapas geofísicos geoprocessados, imagens do *Google Earth*, além da utilização de cartas

topográficas da região; estas desenvolvidas pelo Ministério do Exército, Diretoria de Serviços Geográficos em escala 1:50.000, folhas de Barão do Triunfo, Serra do Herval, Vasconcelos, Cerro Negro, Santa Rita e Camaquã (SH-22-Y-B-V- 2; MI-2986/4,2986/3,2999/2,2999/1,2999/4 e 2999/3 respectivamente).

Assim, foram pré-definidos três perfis para contemplação em campo: Caminhamento da Anomalia 1, Caminhamento da Anomalia 2 e Caminhamento da Anomalia 3; estas, apresentadas nas Figura 5 e 6.

Figura 5 - Localização dos perfis de anomalia dentro da área de estudo, em imagem do Google Earth, representada pelos retângulos brancos. Os pontos pretos representam os pontos descritos em campo e os azuis são pontos da CPRM na região.

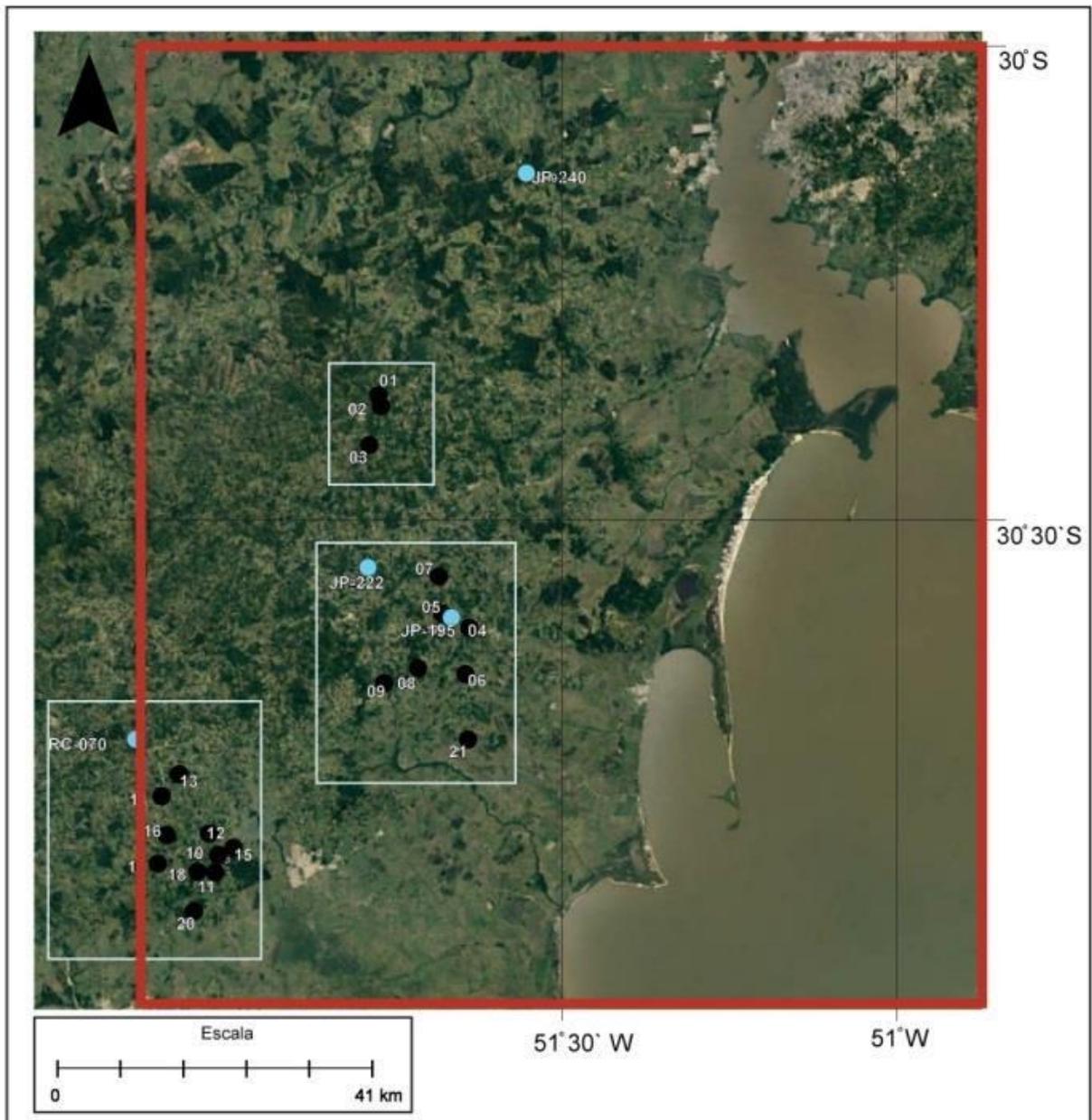
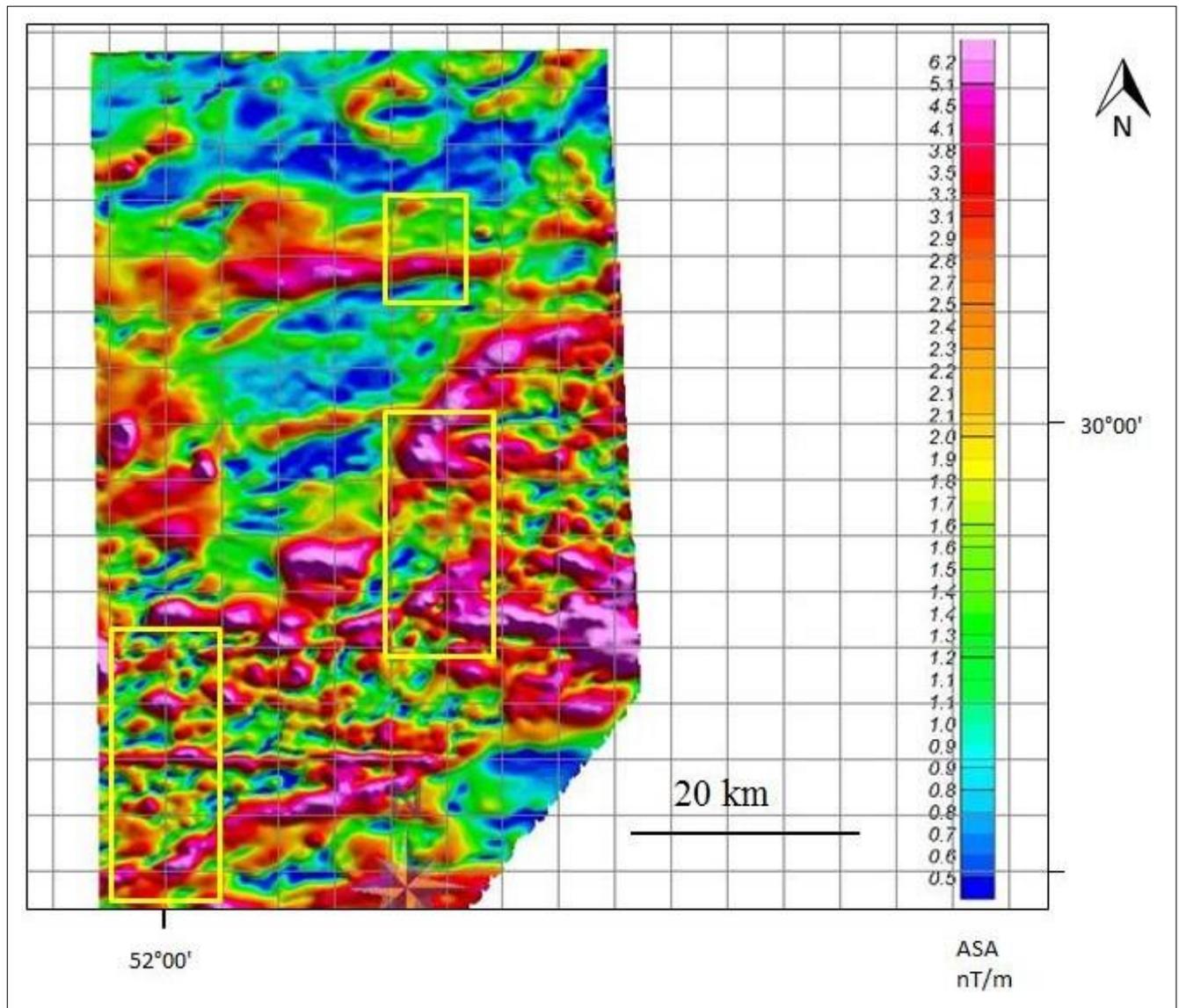


Figura 6 - Localização dos perfis de anomalia dentro da área de estudo no mapa de amplitude do sinal analítico, representada pelos retângulos amarelos. No sentido de norte para sul: Caminhamento da Anomalia 1, Caminhamento da Anomalia 2 e Caminhamento da Anomalia 3.



A saída de campo foi realizada em quatro dias seguidos em março de 2017. Efetuou-se a descrição das litofácies observadas, sendo consideradas as texturas, estruturas, relações tectônicas e a mineralogia; bem como, medidas de elementos estruturais – objetivando a correlação com mapa das anomalias magnéticas - e registro fotográfico.

O controle de campo é essencial para alcançar os objetivos aqui propostos, pois possibilita a verificação espacial, variações laterais dos litodemas e interpretações estratigráficas.

3.3 Petrografia

A análise petrográfica de lâminas delgadas de sete amostras coletadas em setores anômalos foi feita em microscópio óptico. Isto forneceu dados qualitativos, principalmente da mineralogia primária e microtexturas/ estruturas; os dados quantitativos foram obtidos apenas para inferir a porcentagem de minerais opacos. Esse reconhecimento de fases minerais teve como finalidade o auxílio para diferenciação de granitos que apresentam assinaturas magnéticas similares, mas que podem ser distintos nos aspectos petrogenéticos.

O equipamento utilizado foi um microscópio polarizador de luz transmitida da marca Meiji Techno®, série ML9000, modelo ML9720 adequado para petrologia, equipado com lentes binoculares reticuladas com aumento de 10x e três opções de objetivas de 2,5x, 10x e 40xs, bem como com câmera que possibilitou a captura de fotomicrografias. Essas atribuições classificam a técnica como sendo de alta precisão e resolução para os propósitos estabelecidos.

3.4 Geoprocessamento – delimitação de lineamentos a partir do relevo sombreado

Imagens obtidas por sensoriamento remoto e interligadas a ferramentas de geoprocessamento permitiram identificar estruturas lineares na área de estudo. A finalidade da adoção dessa metodologia foi a viabilidade de avaliar os padrões da compartimentação estrutural da região. Isso, através da geração do mapa de lineamentos e de densidade dos mesmos, a partir da interpretação do modelo digital de elevação de imagem de radar orbital da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com 30m de resolução.

O mapa de sombreamento de relevo é produto da SRTM, a qual é obtida através do site *EarthExplorer* (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Para o processamento das imagens utilizou-se o software QGIS 2.14, o qual, possibilita a obtenção de um arquivo de lineamentos vetorizados.

A extração de lineamentos se deu pelos traçados através de feições geomorfológicas positivas (cristas) e negativas (vales) de acordo com a observação de dois mapas sobrepostos de sombreamento com iluminações de azimutes 315° e 45°.

A partir disso, foram gerados dois mapas de densidades de lineamentos – um, considerando o comprimento das linhas traçadas e outro, o azimute - por meio da ferramenta *LineDensity* do programa ArcMap.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Geofísica

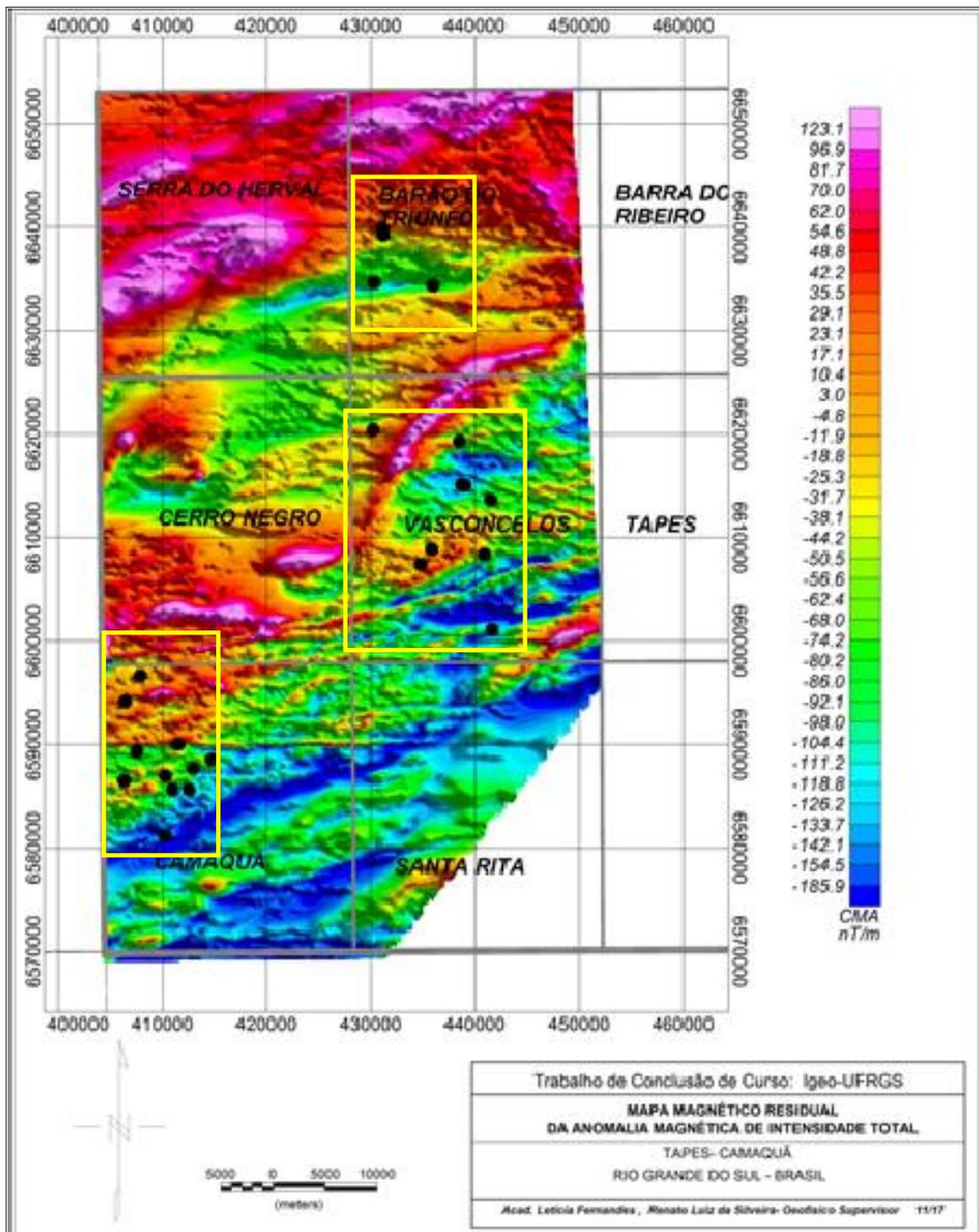
Os mapas geofísicos buscam entender a tectônica e ressaltar feições geológicas de superfície e/ou sub-superfície. Com a magnetometria são determinadas as variações da mineralogia magnética das rochas ou a magnetização crustal das mesmas.

Com a finalidade do planejamento da etapa de campo, utilizou-se a base de dados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul CPRM (2010) para gerar sete mapas geofísicos preliminares. Foram aplicados os filtros de interesse; conforme as ilustrações das figuras que seguem essa seção:

4.1.1 Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total

A partir da remoção do IGRF do campo magnético total regional, se obtém o mapa base de estudo: o de campo magnético anômalo (CMA) (Figura 13). Em cima desse produto são aplicados os filtros específicos para realce das feições geológicas pertinentes aos objetivos de pesquisa. Esse é o tratamento base que compõe um tipo de mapa que, em geral, é usado para a avaliação das anomalias em comparação com as feições geológicas da área. Esse mapa tem um caráter de pouca precisão, visto que as anomalias são apresentadas de forma assimétrica, em forma de dipolos.

Figura 13 – Mapa de imagem da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total da porção nordeste do ESRG. Gerado pelo *software Oasis Montaj, Geosoft* os pontos pretos representam o posicionamento dos afloramentos descritos na etapa de campo



A exposição da anomalia magnética residual para a região de estudo indica uma resolução superior, em termos de identificação e de realce de assinaturas anômalas, de longo comprimento de onda, na porção norte da área, associadas aos granitos Dom Feliciano - Fácies Serra do Erval, apresentando um sinal positivo ao norte e um sinal negativo ao sul. Os

valores da amplitude variam desde 123 nT a + 70.7 nT. No centro e e centro-sul da área, valores em torno -38 nT a -92 nT estão associados a fácies Cerro Grande da Suíte Dom feliciano e ao Complexo Granito- Gnáissico Pinheiro Machado segundo CPRM (2007).

A porção sul mostra baixos valores do campo magnético anômalo, na ordem de -104 nT a - 185 nT; e mostram-se associados a sedimentos recentes .

Em termos de domínios magnéticos, com os resultados do campo magnético anômalo, pôde-se identificar três domínios magnéticos correlacionáveis com as três principais unidades aflorantes em toda a area de estudo.

4.1.2 Derivadas em X, Y e Z

As Figuras 14, 15 e 16, representam, respectivamente, os mapas monocromáticos de relevo sombreado da 1ª Derivada em X, Y e Z do campo magnético anômalo. Vetorizando o sinal analítico, os filtros de 1ª derivada salientam, em determinada direção, as tendências das estruturas que estão presentes em profundidade.

No sistema de coordenadas do *Geosoft*, as derivadas horizontais realçam estruturas perpendiculares à direção de aplicação, enquanto a derivada na direção normal marca anomalias por fontes superficiais.

Figura 14 - Mapa monocromático da 1ª Derivada no eixo "X" da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total da região de estudo. O retângulos amarelos marcam as áreas correspondentes aos Perfis das Anomalias 1,2 e 3, respectivamente, de norte para sul.

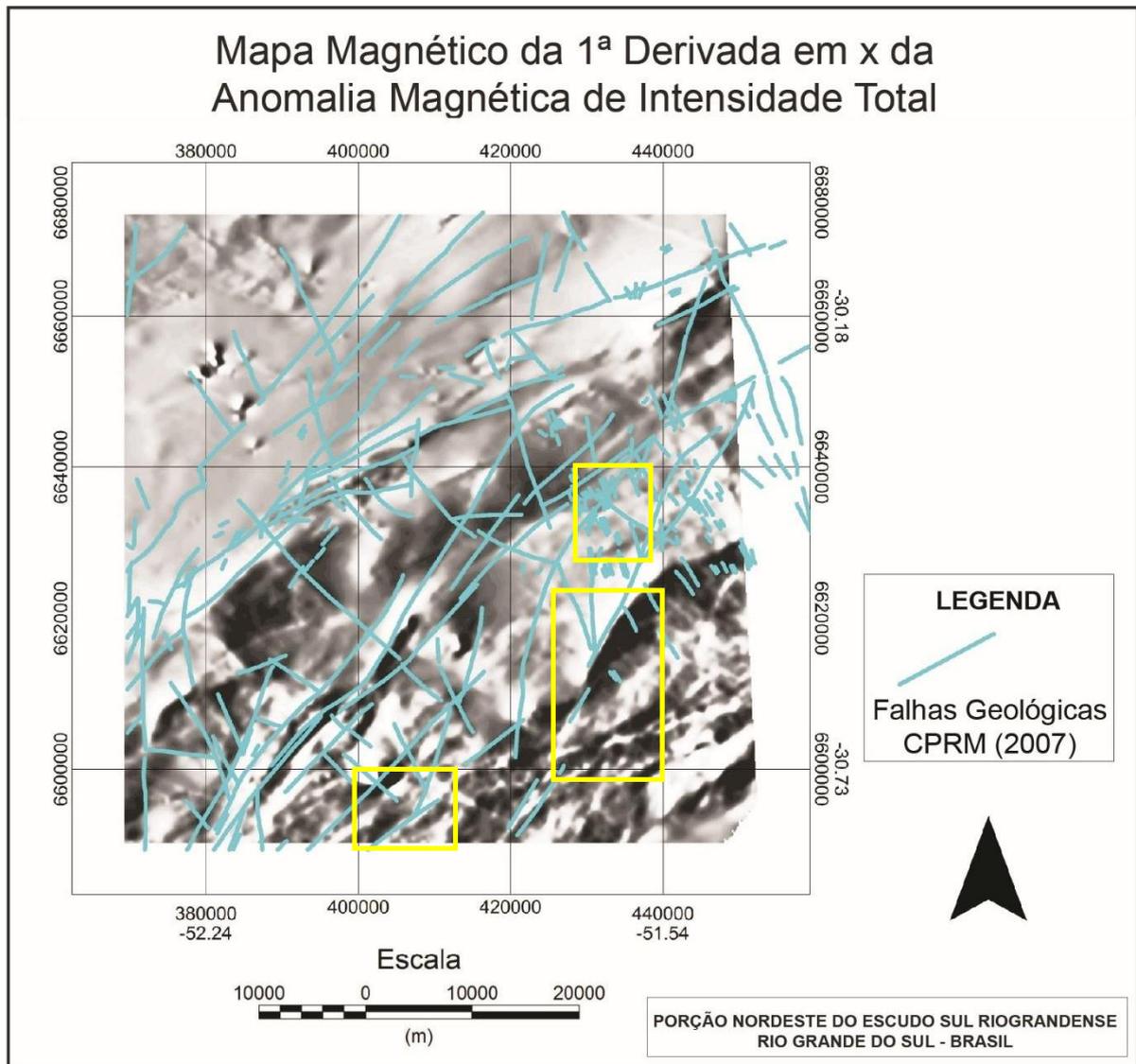


Figura 15 - Mapa monocromático da 1ª Derivada no eixo “Z” da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total; os pontos pretos representam o posicionamento dos afloramentos descritos na etapa de campo

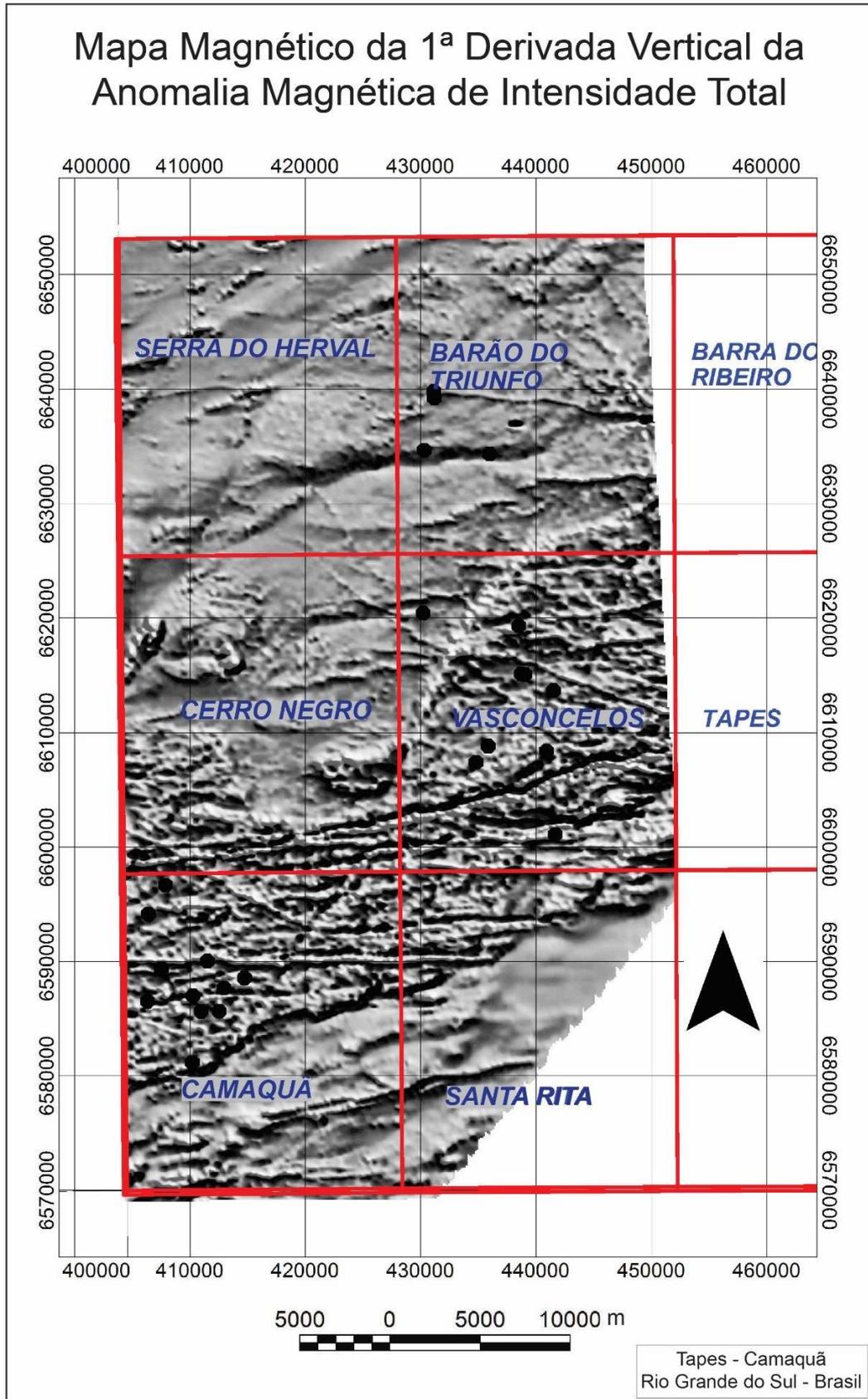
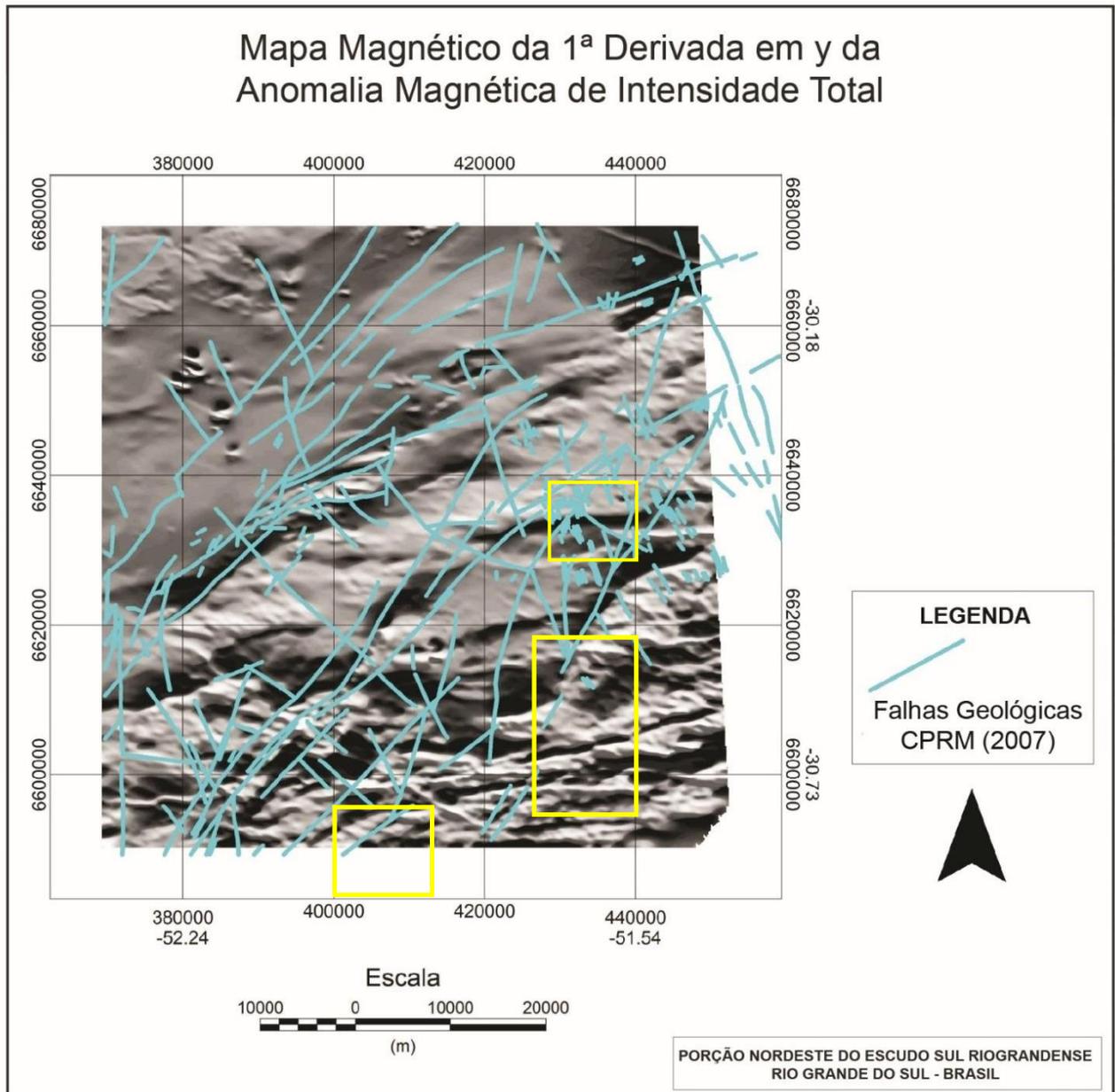


Figura 16 - Mapa monocromático da 1ª Derivada no eixo “Z” da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total; os pontos pretos representam o posicionamento dos afloramentos descritos na etapa de campo. Os retângulos amarelos marcam as áreas correspondentes aos Perfis das Anomalias 1,2 e 3, respectivamente, de norte para sul.

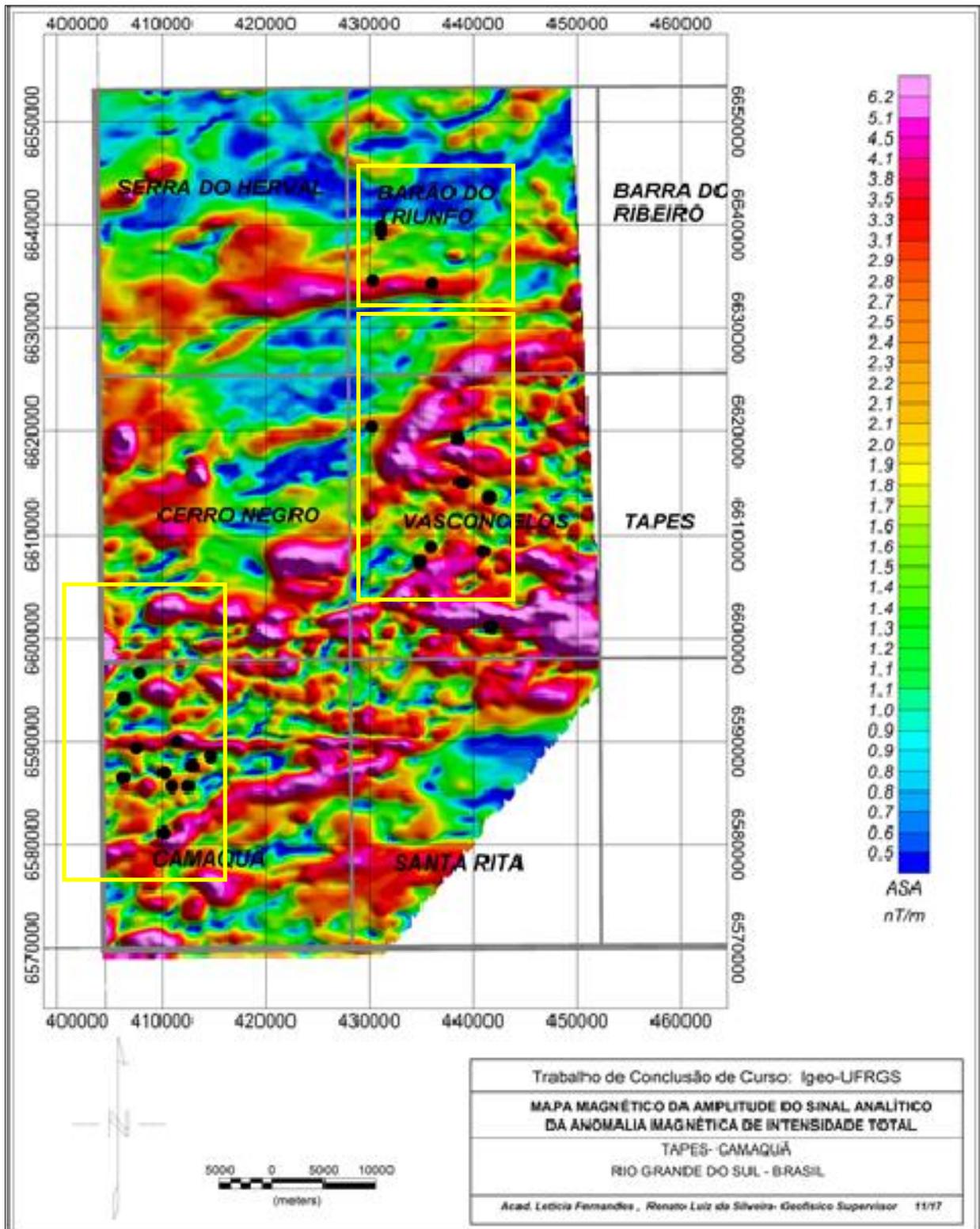


A 1ª derivada em Z (Figura 15) salienta estruturas em relação à profundidade. São ilustradas na Figura 15 porções em tons de cinza mais escuro a SE da região; estas são estruturas mais rasas do que aquelas localizadas na região NW. A partir do relevo sombreado percebem-se uma importante estrutura de possível colagem orogênica e /ou contato brusco entre duas litologias de distintas magnetizações que separa essas duas regiões do mapa.

4.1.3 Amplitude do Sinal Analítico da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total

A partir dos resultados obtidos da interpretação do mapa da anomalia magnética da Amplitude do Sinal Analítico (ASA), conforme ilustrado na Figura 17 identificou-se assinaturas magnéticas anômalas de curto comprimento de onda, de forma linear com orientação E-W, posicionado a norte da folha Camaquã e parcialmente e abrangendo a folha Santa Rita.

Figura 17 – Mapa de imagem da Amplitude do Sinal Analítico da Anomalia Residual de Intensidade Total; os pontos pretos representam o posicionamento dos afloramentos descritos em etapa de campo. Os retângulos amarelos marcam as áreas correspondentes aos Perfis das Anomalias 1, 2 e 3, respectivamente, de norte para sul.

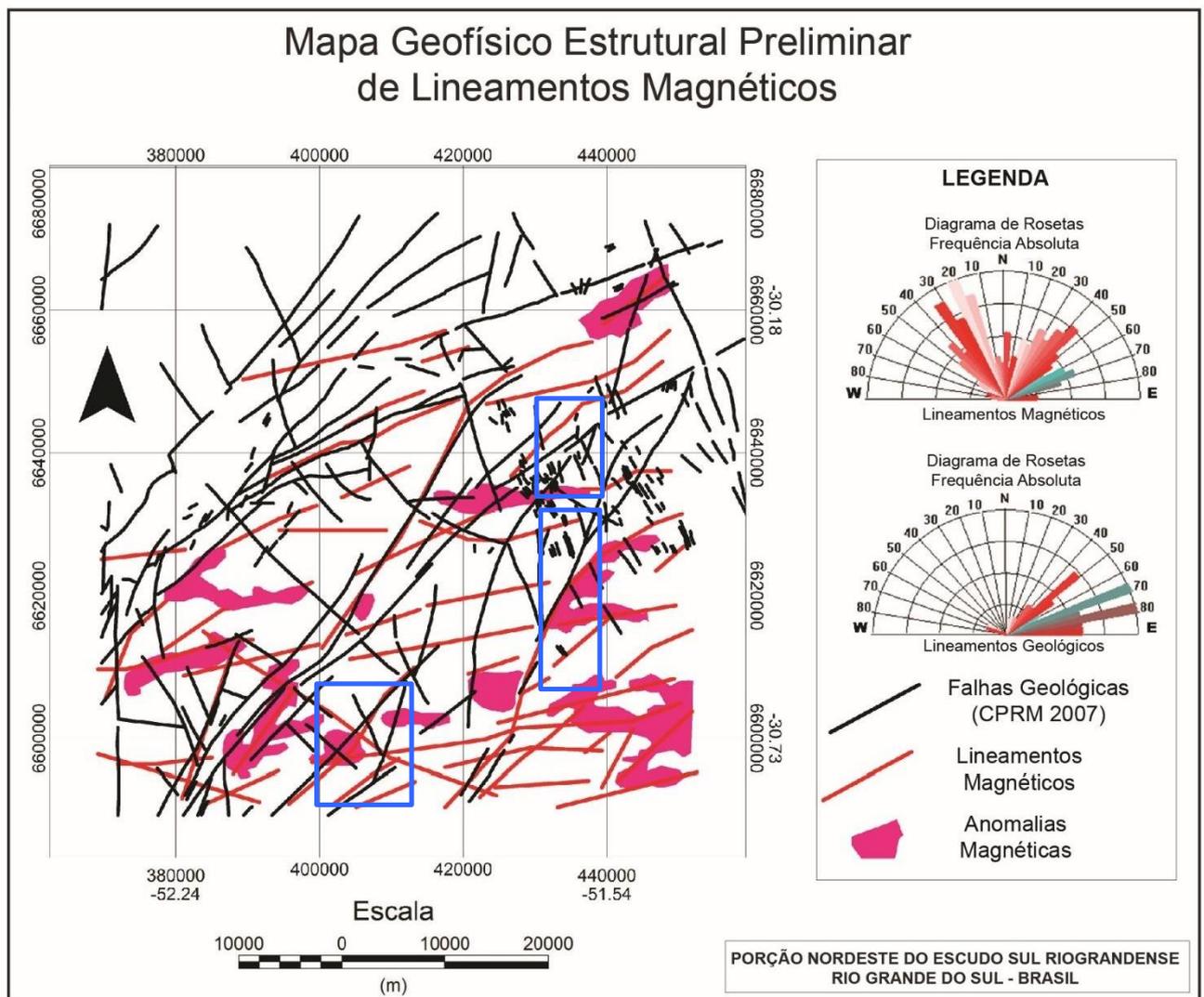


Mapa geofísico estrutural da área de estudo

A Figura 18 ilustra um mapa geofísico estrutural preliminar proposto para a área de estudo, obtido a partir das transformações do campo magnético anômalo, integrado com dados geológicos da CPRM (2007).

Figura 18 - Mapa esquemático preliminar geofísico estrutural proposto para a área de estudo. Os retângulos azuis marcam as áreas correspondentes aos Perfis das Anomalias 1, 2 e 3, respectivamente, de norte para sul.

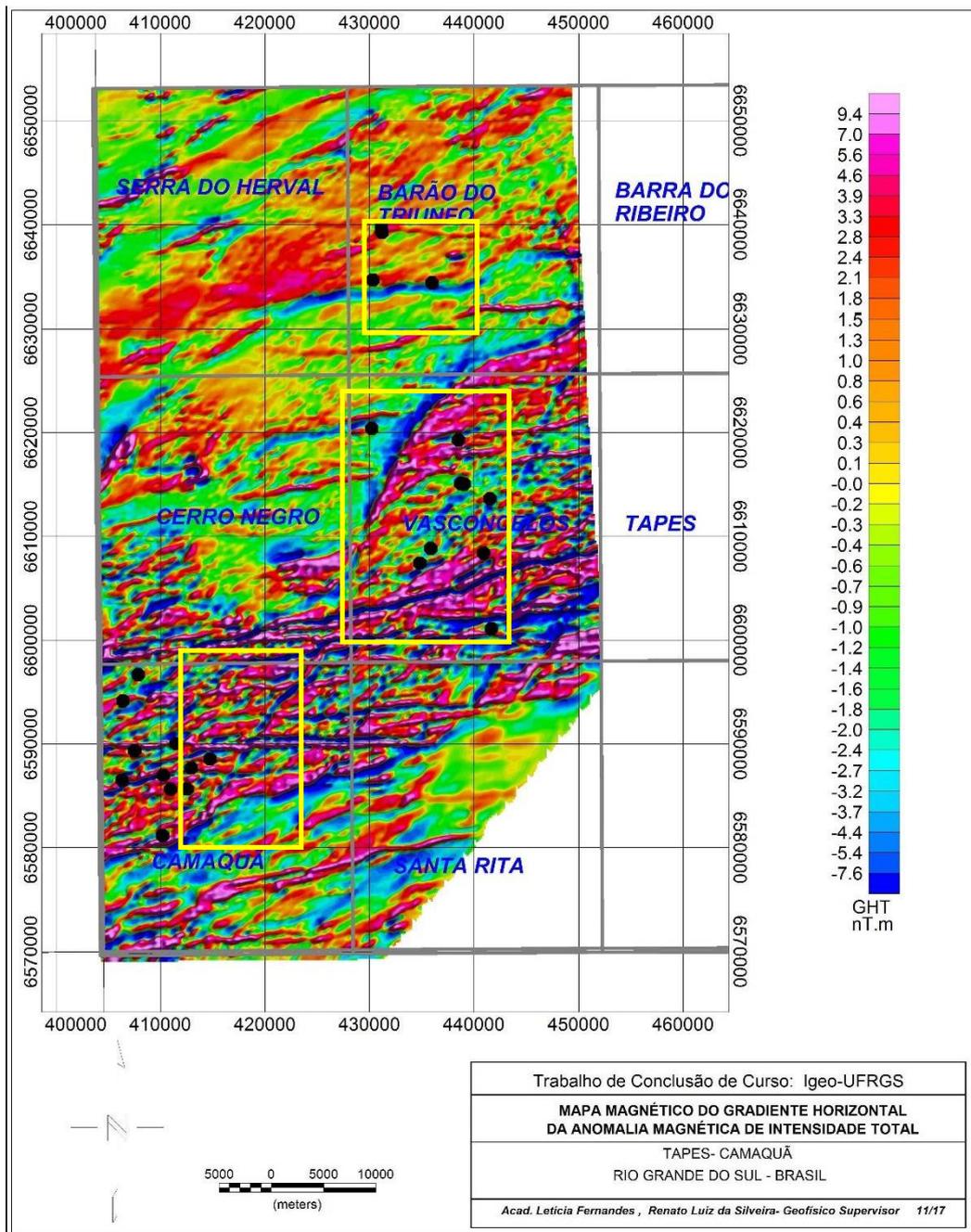
4.1.5 Gradiente Horizontal da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total



preferencialmente na direção NE-SW e secundária NW-SE, com alguns *trends* não direção E-W.

Os lineamentos magnéticos NE-SW são correlacionáveis as falhas geológicas de caráter regional documentada por CPRM (2007), além de outros lineamentos que identificam a presença de novas estruturas geológicas ainda por mapear. Observa-se na porção sul e sudeste da área algumas assinaturas magnéticas anômalas, associadas a lineamentos NE-SW e E-W.

Figura 19: Gradiente Horizontal da Anomalia Residual Magnética de Intensidade Total; os pontos pretos representam o posicionamento dos afloramentos descritos em etapa de campo.



A aplicação desse filtro possibilitou identificar a presença de assinaturas magnéticas anômalas de pequeno comprimento de onda isoladas e dispostas, especialmente, ao longo de lineamentos magnéticos regionais na parte central da área de estudo com orientação preferencial segundo NE-SW e secundária E-W. Isso pode indicar a presença de diques de composição básica intrudidos nas rochas do Complexo Pinheiro Machado e nos Granitos Dom Feliciano.

4.2 Geoprocessamento – Análise de lineamentos

Três mapas para análise dos lineamentos estruturais foram gerados nesse trabalho. Um, que permitiu a interpretação da imagem SRTM originando um mapa composto por 1814 traços de lineamentos estruturais (Figura 20); e, outros dois de densidades de lineamentos. Desses últimos, um é referente às tendências para os lineamentos considerando apenas o comprimento das linhas traçadas (Figura 21); e o outro, considerando apenas o azimute das linhas traçadas (Figura 22).

Figura 20 – (a) Lineamentos extraídos do mapa de sombreamento de relevo em duas direções de iluminação (45° e 315°); os pontos em verde representam os pontos de coleta de dados na etapa de campo.

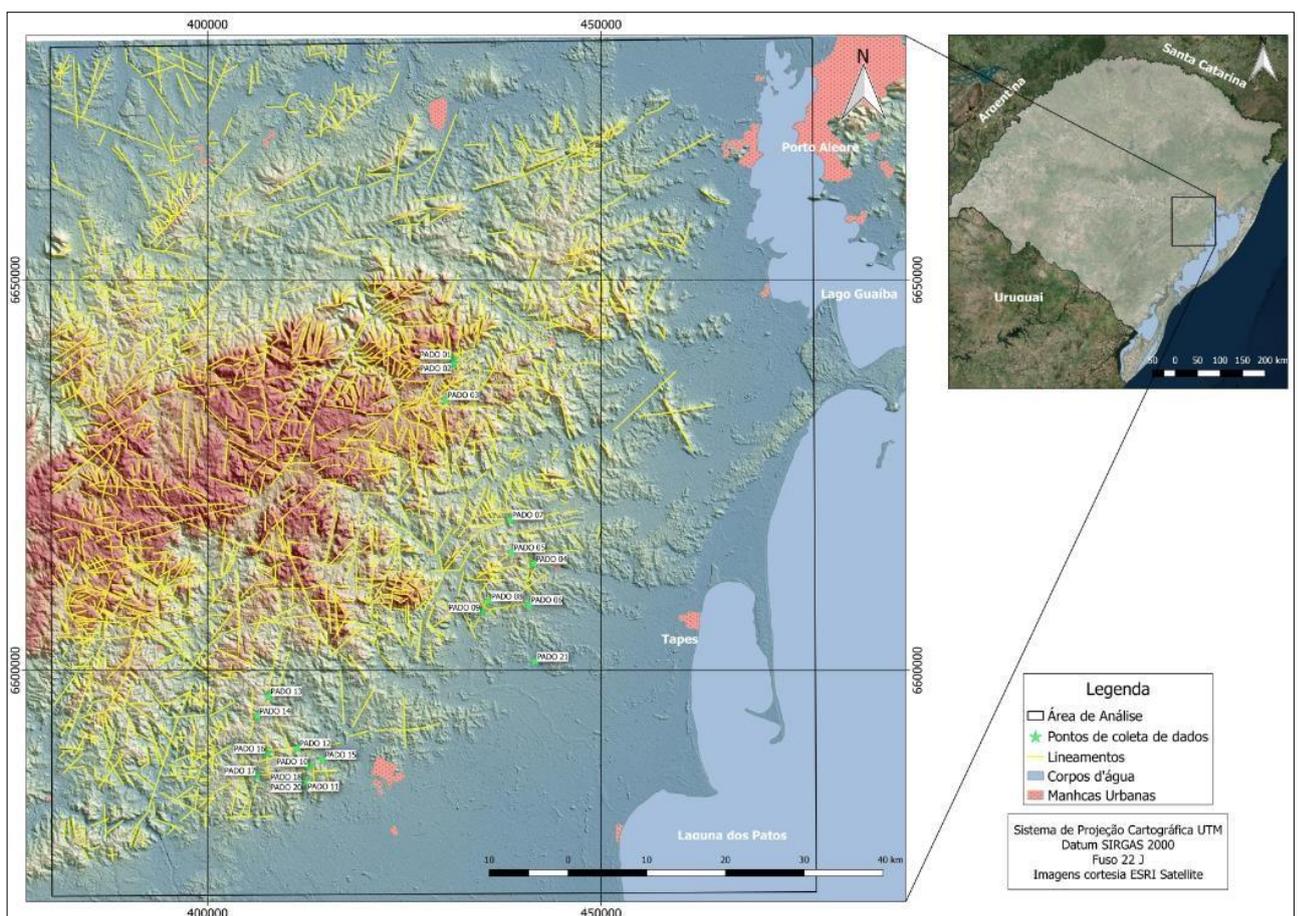


Figura 21 - Mapa de densidade de tendências delineamentos considerando o comprimento das linhas tracejadas; os pontos em verde apresentam os pontos de coleta de dados na etapa de campo.

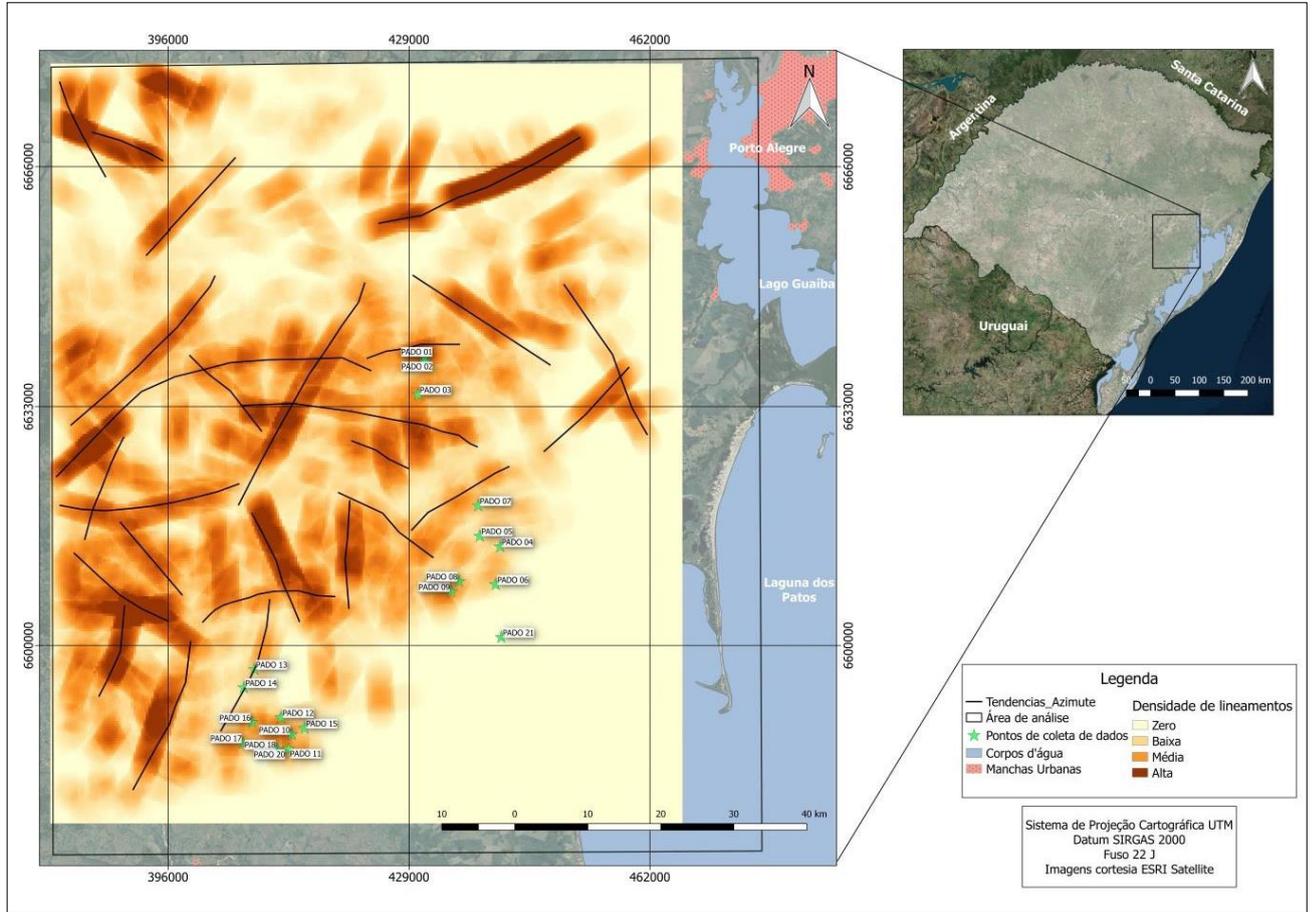
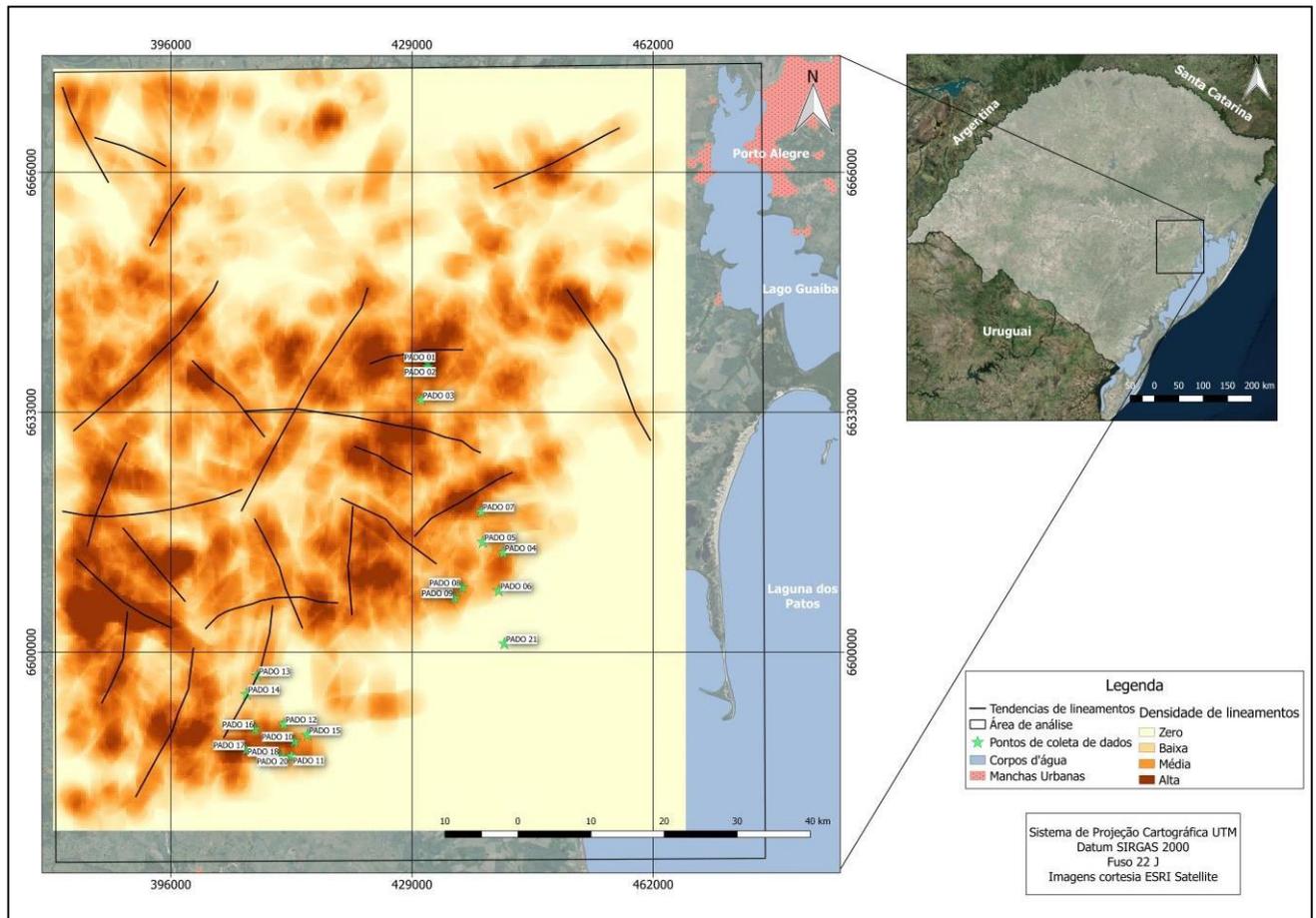


Figura 22 - Mapa de Densidade de tendência de lineamentos considerando o apenas o azimute das linhas tracejadas; os pontos em verde apresentam os pontos de coleta de dados na etapa de campo



A ferramenta LineDensity do programa ArcMap TM foi utilizada para a obtenção de ambos os mapas de densidade. A metodologia do programa faz o cálculo da densidade de cada forma linear nas redondezas de cada célula (pixel) do raster de saída. O resultado é obtido em unidade de comprimento por unidade de área (km/km^2). Efetivamente, ao redor de cada célula da imagem é desenhado um círculo, este de raio igual a 4 km (valor verificado nas propriedades da ferramenta). Os segmentos de comprimento dos lineamentos que caem na área do círculo são somados e divididos pela área do círculo.

4.3 Aspectos de campo e petrografia

De acordo com a metodologia apresentada na seção 2.2, as descrições das relações entre os litotipos foram executadas ao longo de três perfis pré-estabelecidos – Caminhamento da Anomalia 1, Caminhamento da Anomalia 2 e Caminhamento da Anomalia 3 (Figuras 5 e 6). Além disso, foi possível integrar a amostragem da região com a colaboração de dados disponibilizados pela CPRM dentro da área de interesse. Os pontos descritos no projeto e aqueles dispostos pela CPRM são apresentados na Figura 5.

Os litotipos presentes na área de estudo serão aqui descritos segundo a ordem de ocorrência em campo, dentro da área de abrangência delimitada pela articulação das cartas topográficas, em escala 1:50.000 da região.

Caminhamento da Anomalia 1.

Abrangeu a porção mais ao norte trabalhada em campo (Figuras 5 e 6), situado totalmente na Folha 1:50.000, Barão do Triunfo, e contemplou a análise de três afloramentos: PADO-01, PADO-02 e PADO-03; cujas descrições estão a seguir:

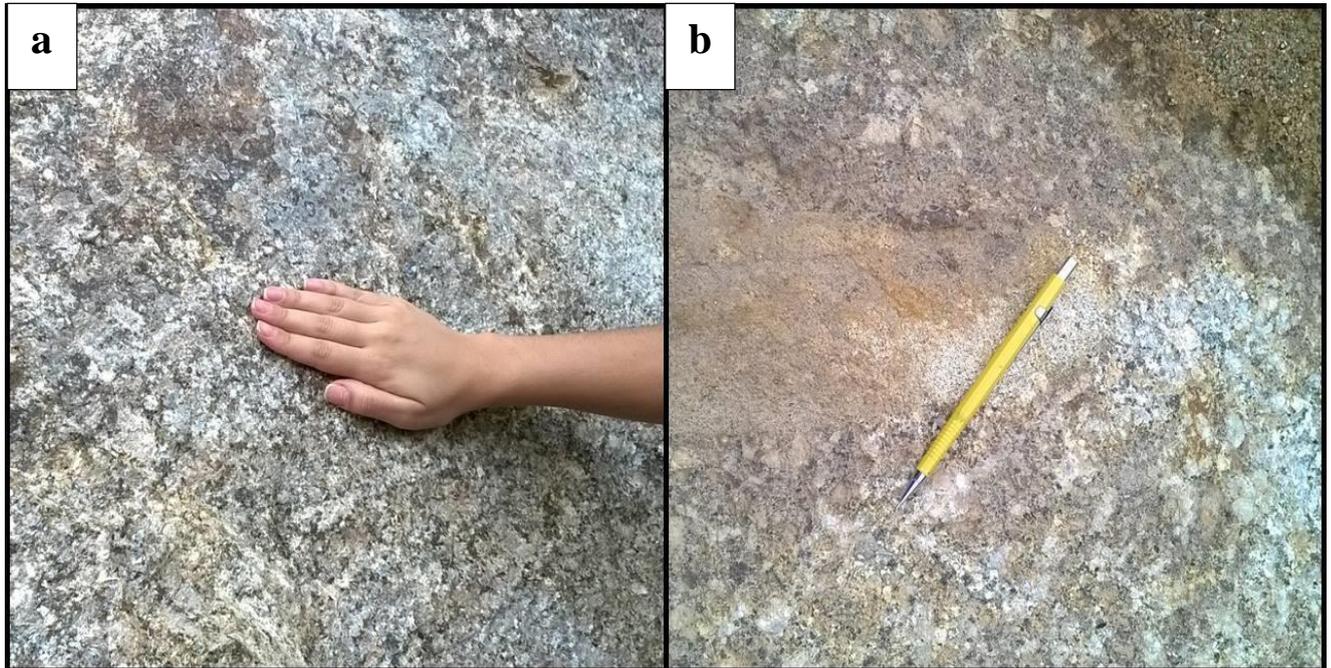
PADO-001 está a ENE da cidade de Barão do Triunfo (Figura 13), representa uma das porções de sinal negativo deste primeiro caminhamento considerado. É um sienogranito de textura inequigranular média, agregados de biotita e K- feldspato (Figura 23).

Figura 23 – Amostra de mão de PADO-001



Seguindo em direção ao centro do sinal analítico anômalo positivo, no sentido SW, em PADO-002 (Figura 5), aproximadamente 5 km da anomalia principal deste caminhamento, em um afloramento de blocos de 2x2m encontra-se o mesmo granito. Esse por vezes apresenta variação para uma textura grossa com alguma orientação magmática marcada pelos plagioclásios (Figura 24a) e fenocristais de 3-5 cm de K-feldspato com textura rapakiwi eventual e, também, fenocristais de plagioclásio com inclusões de biotita. Há intensa epidotização. Em um dos blocos, há a ocorrência de um enclave elíptico de 20cm de provável composição monzonítica (Figura 24b); apresenta granulação fina com biotita, K- feldspato e quartzo. No enclave identifica-se contatos irregulares e fenocristais de plagioclásio perpendiculares ao seu eixo de orientação.

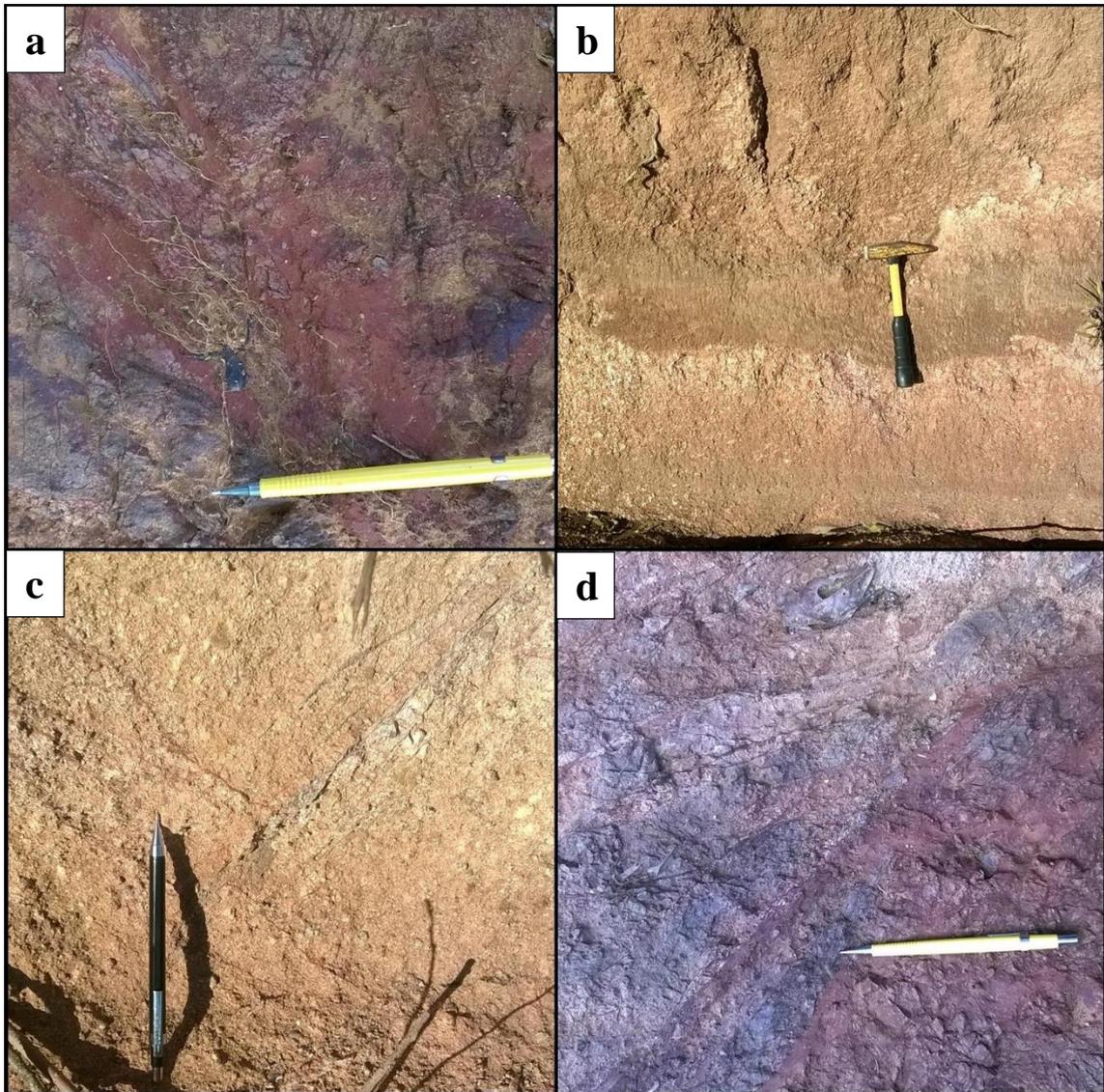
Figura 24 - (a) Orientação magmática incipiente marcada por fenocristais de plagioclásio; (b) enclave de composição granítica.



PADO-003 está localizado na anomalia do Caminhamento da Anomalia 1 de sinal analítico positivo e com orientação E-W. O afloramento é em leito de estrada de muitos blocos de variados tamanhos. Observa-se a intercalação de granito fino e granito grosso, contudo, nas porções em que aparece intacto, ele mostra grão médio-grosso e quartzo ameboide acinzentado.

Há intenso intemperismo (Figuras 25 a; b), um sistema de fraturas com uma zona de cataclase posterior, subordinada a uma zona de falha expressiva (15-20 cm) (Figura 25 c), de direção subvertical (080) com muitas fraturas internas de orientação tendendo a N-S e E-W. O sistema de falhas forma sigmoides (Figura 25 d) de sentido 162. Ocorrem brechas de granito com oxidação (Figura 25 d).

Figura 25 - (a) Leito do afloramento intemperizado; (b) parte do afloramento em pedogênese; (c) sistema de fraturas que está subordinada a uma zona de falhas maior; (d) sistema de falha em sigmoide e brecha de granito oxidado



Os três pontos de PADO descritos nesse caminhamto estão enquadrados como Granitos Dom Feliciano – Tipo Barão do Triunfo (RAMGRAB; WILDNER.,1997).

A geologia dessa seção é complementada com descrições de afloramentos realizadas pela CPRM. Os pontos do mapeamento do Projeto Batólito Pelotas – Terreno Tijuca da CPRM (em fase de elaboração)¹JP-050, situado a aproximadamente 5 km a SE de PADO-03 (Figura 5) e JP-222, localizado no extremo SW da área (Figura 5) estão espacialmente relacionados ao Caminhamto da anomalia 1 (Figuras 5 e 6).

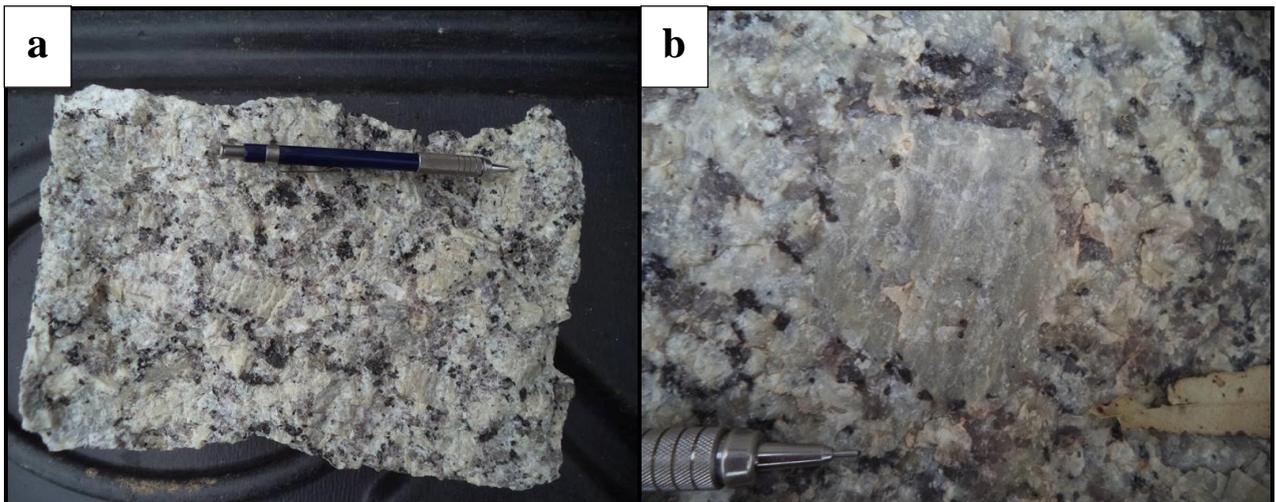
Em JP-050, é detectado sinal negativo de anomalia magnética; é ali descrita uma rocha maciça, isotrópica de granulometria grossa inequigranular - marcada por feldspato, por vezes

sobrecrescidos; rocha de coloração cinza e rica em minerais máficos (CPRM, em fase de elaboração)¹.

Em JP-222, CPRM (em fase de elaboração)¹ especifica um granito com trama grossa, por vezes de textura porfirítica marcada pelos plagioclásios (Figura 26 a), e aleatórias inclusões de biotita (Figura 26 b). Em lâmina, descreveu-se:

Rocha de granulação fina a grossa, textura equigranular com hornblenda, biotita, quartzo, K-feldspato e plagioclásio. Esse, ocasionalmente, está zonado, o ortoclásio comumente desenvolve mesopertitas, verificando-se o processo de microclinização do ortoclásio perítico sendo esta uma feição deformacional sub-solidus. Ocorre, ainda, alanita em geral euédrica, zonada, envolvida por uma borda de epidoto. A hornblenda, em geral está associada à biotita podendo esta envolvê-la parcial ou totalmente. O grau de alteração é baixo, comprovando mineralogia secundária proveniente dos processos de sericitização, oxidação, epidotização e incipiente muscovitização.(CPRM, em fase de elaboração)¹

Figura 26 –(a) Granito de composição monzonítica com textura porfirítica marcada por fenocristais de plagioclásio; (b) inclusões de biotita nos plagioclásios.

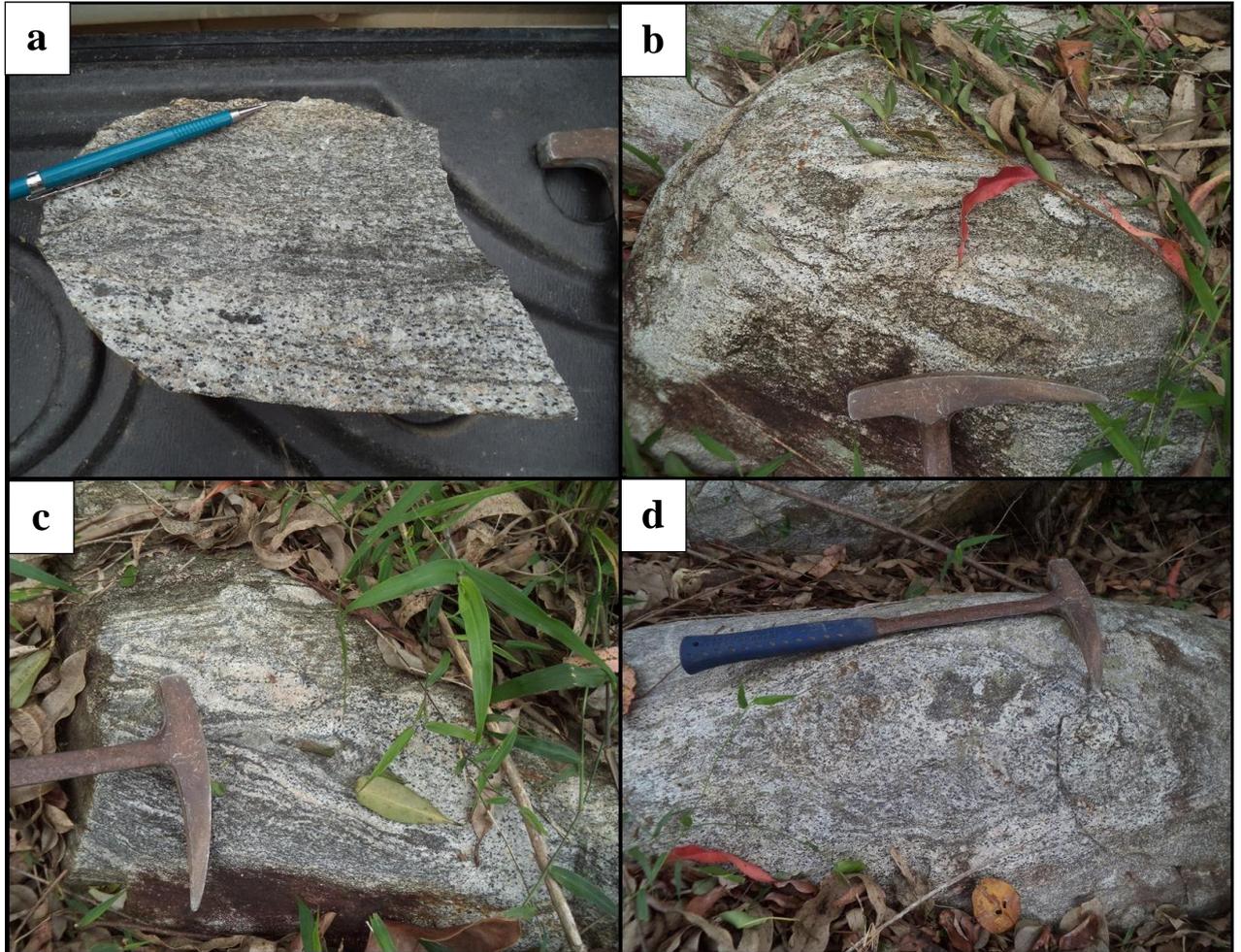


O ponto JP-240, compilado de CPRM se localiza entre as cidades de Guaíba e Eldorado do Sul – fica situado na articulação das folhas 1:50.000 Barão do Triunfo e Barra do Ribeiro. (Figura 13) Esse ponto coincide com uma anomalia magnética positiva verificada para a região. Ali, encontrou-se, em afloramento de matacões, uma rocha greisenificada de composição granodiorítica com bandas félsicas e máficas irregulares e descontínuas (Figura 27a). Injeções de material félsico indicam dobramento e deformação (Figuras 27 b- c). Há enclaves máficos com bordas irregulares (Figura 27d). A litologia foi entendida como um

¹ DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. Mapa de Integração Geológico Geofísico: Batólito Pelotas–Terreno Tijucas. PortoAlegre, escala 1:500.000.Em prep.

gnaisse *in situ*. Pela classificação da CPRM (2007), esse ponto é considerado como fazendo parte da Suíte Granítica Dom Feliciano- Litofácies Serra do Eral; contudo, pode-se argumentar, também, como sendo um enclave presente nessa unidade.

Figura 27 – (a) Rocha de composição granodiorítica com bandas félsicas e máficas irregulares e descontínuas; (b- c) injeções félsicas dobradas e deformadas; (d) enclave máfico com borda irregular.



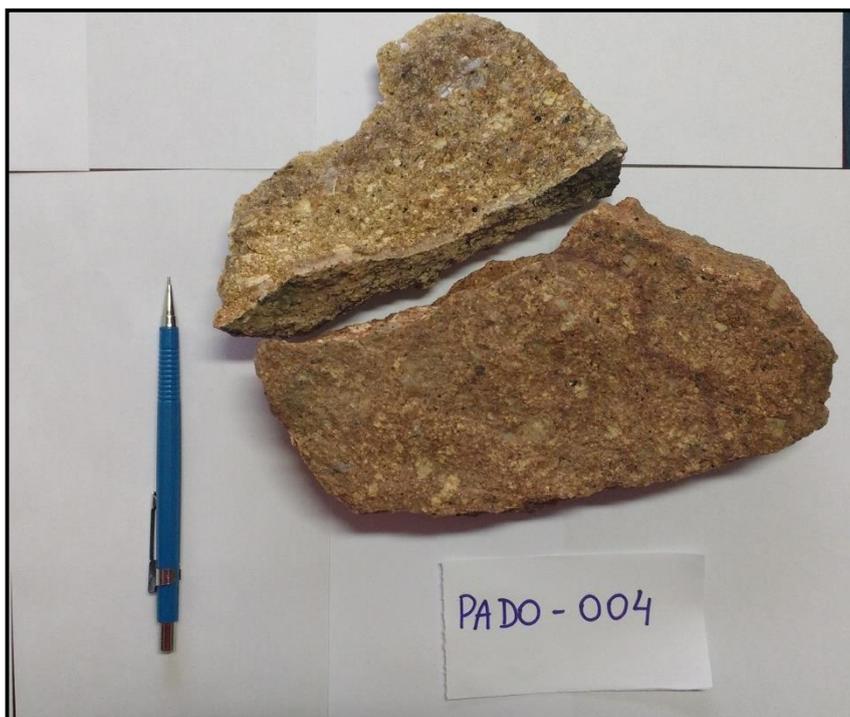
Caminhamento da Anomalia 2

Perfil perpendicular à anomalia de sinal positivo que abrange uma área contida na folha Vasconcelos 1:50.000 (Figura 13). O nome dessa carta topográfica faz referência à Vila Vaconcelos, município que hoje se denomina Sentinela do Sul. Nessa localidade, há uma interessante exposição de granitos sulfetados, na pedreira P5

Os pontos descritos foram de bordas de altos magnéticos considerando-se a escala 1:50.000. Foi observada variação moderada na trama dos granitos; de modo que, de norte para sul a textura vai ficando mais fina a partir de PADO-05 – granitoide equigranular grosso- até PADO-08 – monzogranito equigranular fino. O tamanho relativo entre os grãos desses granitos também variou: de porfirítica até equigranular fina. Em PADO-009, aflora rocha vulcânica. De PADO- 04 a PADO -09 não foi visto contato entre os diferentes corpos graníticos.

PADO-004 (Figura 5) apresenta-se em um alto topográfico, onde observa-se blocos de rocha subvulcânica, cor alaranjada (Figura 28).; representando pequeno corpo intrusivo ou dique. A rocha apresenta fenocristais de K-feldspato, euédricos a subédricos, de quartzo, subédrico e agregados de biotita. Orientação incipiente de plagioclásio e de K-feldspato pode ser interpretada como possível estrutura de fluxo.

Figura 28 – Amostra de mão da rocha encontrada em PADO-004.



Ao microscópio, tem matriz equigranular fina, com os grãos de quartzo tardio, e poucas vezes em subgrãos, plagioclásio e K-feldspato subédricos e biotita tanto bem formada, como intersticial. Há fenocristais de até 1 cm de K- feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita. A alteração é pervasiva, gerando uma mineralogia secundária definida por muscovitização sobre plagioclásio e K-feldspato, óxidos associados à biotita e pertitas no K-feldspato

Mineralogia total: quartzo 50%, plagioclásio 10%, K-feldspato 35%, biotita 3%, óxidos ~ 1% e epidoto ~ 0,8% intersticial, associado às bordas da biotita e também como grão. Portanto, classificado como sienogranito. Não há feições de recristalização e há sugestão de um fluxo magmático bastante incipiente marcado por biotita e fenocristais e plagioclásio PADO-005 (Figura 5) situa-se na cidade de Sentinela do Sul, é um lajeado de aproximadamente 10m x 10m, a 200m acima na topografia em relação à pedreira P5. Foi descrito como um granito grosso, equigranular, com textura rapakiwi (Figura 29a). JP-195 CPRM (em fase de elaboração)² é o ponto localizado no afloramento da pedreira. Esse granito apresenta ampla variedade textural (Figuras 29b-d) feições de mistura incompleta por intrusões, enclaves máficos, evidências de processos hidrotermais como sulfetação (Figura 30 a-b), epidotização (Figura 31a) e oxidação (Figura 11b). Pôde-se perceber, também, uma deformação rúptil com padrão de fraturas horizontalizadas.

² DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. Mapa de Integração Geológico Geofísico: Batólito Pelotas–Terreno Tijucas. PortoAlegre, escala 1:500.000.Em prep.

Figura 29 – (a) Amostra de mão de PADO – 005; (b-d) feições de mistura incompleta e variações texturais encontradas em JP-195.

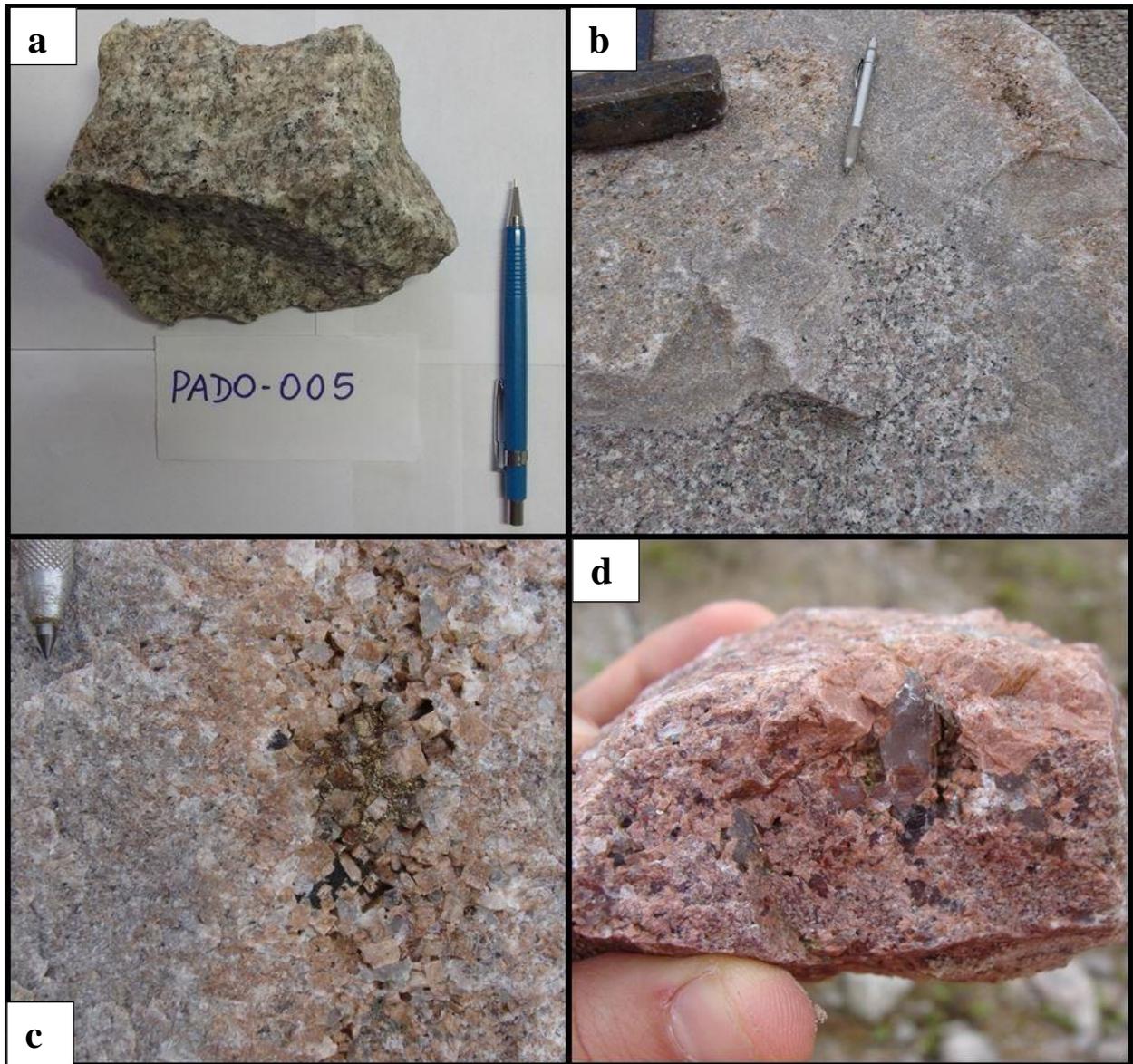


Figura 30 – (a – b) Ocorrência de sulfetos em JP- 195.

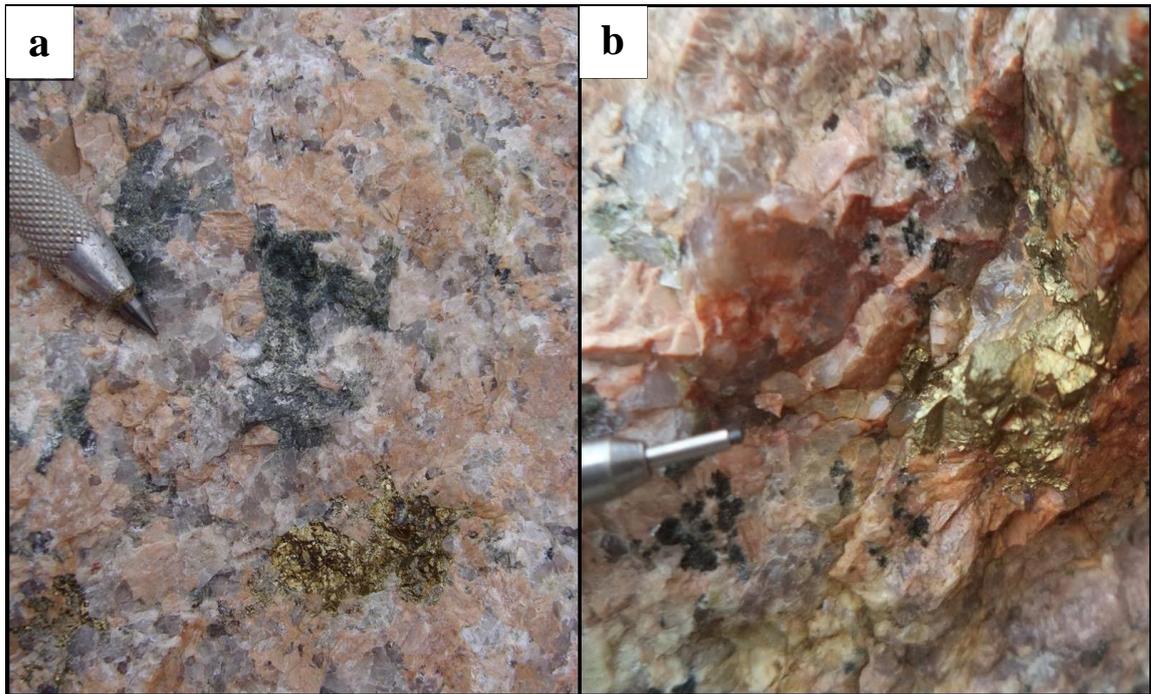
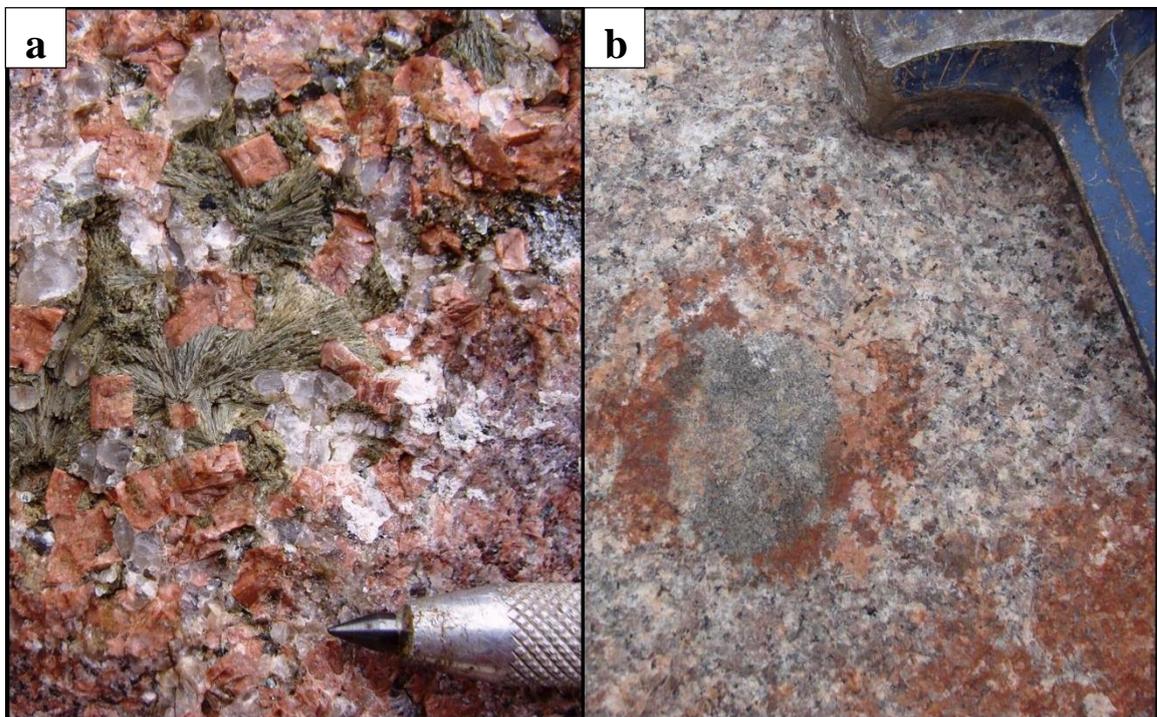


Figura 31 – (a) Epidotização em JP-195; (b) oxidação em JP-195.



Não foi possível o acesso às descrições de campo desse ponto; apenas à classificação por petrografia, que qualificou a rocha como biotita monzogranito com uma fácies leucocrática.

Descrição da lâmina a da amostra JP-195 A CPRM (em fase de elaboração)³, Biotita

Monzogranito:

Rocha de granulação fina a grossa, com grau médio de alteração, apresenta as texturas heterogranular, hipidiomórfica, poiquilítica, granoblástica poligonal e chessboard em quartzo, constituída por plagioclásio, ortoclásio do tipo pertítico onde muitas vezes verifica-se o desenvolvimento de mesopertitas, microclínio, quartzo, biotita, epidoto, apatita, zircão e minerais opacos. A mineralogia secundária é proveniente dos processos de sericitização, oxidação, muscovitização e cloritização. O plagioclásio comumente ocorre zonado, o ortoclásio em geral desenvolve mesopertitas. (CPRM, em fase de elaboração).

Amostra JP- 195 C CPRM (em fase de elaboração)³, Leucomonzogranito equigranular médio:

A rocha é equigranular fina a média com esparsos pórfiros de granulação média de quartzo e feldspatos. Apresenta as texturas equigranular, hipidiomórfica, poiquilítica e chessboard em quartzo. A mineralogia secundária é proveniente dos processos de sericitização, oxidação, muscovitização, escassa epidotização e silicificação. Os plagioclásios em geral são euédricos a subédricos, possuem contatos retos, eventualmente formam subgrãos. A muscovita ocorre como alteração dos feldspatos e da biotita, como material secundário intergranular com aspecto radial e preenchendo fraturas e vênulas. Os feldspatos alcalinos são euédricos a anédricos, ocorrem bastante alterados, em geral possuem contatos retos, ocorrem maclados segundo as leis Baveno e Carlsbad. (CPRM, em fase de elaboração).

No terceiro ponto do caminhamento, PADO-006 afloram blocos na beira da estrada, de aproximadamente 2mx 1m. É um granitoide com textura média fino, acinzentado, equigranular com raros fenocristais de plagioclásio e quartzo subédrico. Na matriz, predominantemente, ocorre biotita, plagioclásio, K-feldspato e quartzo subédrico-anédrico (Figura 32).

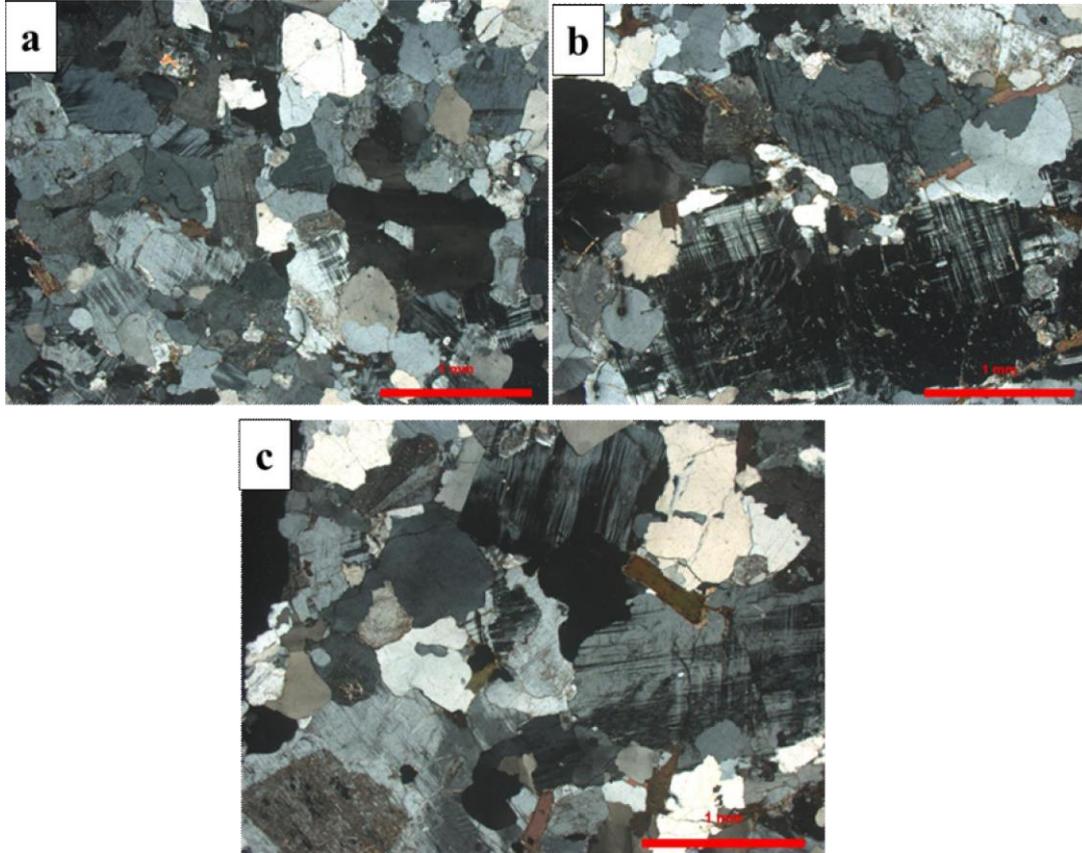
³ DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. Mapa de Integração Geológico Geofísico: Batólito Pelotas–Terreno Tijucas. PortoAlegre, escala 1:500.000.Em prep.

Figura 32 – Amostra de mão de PADO - 006



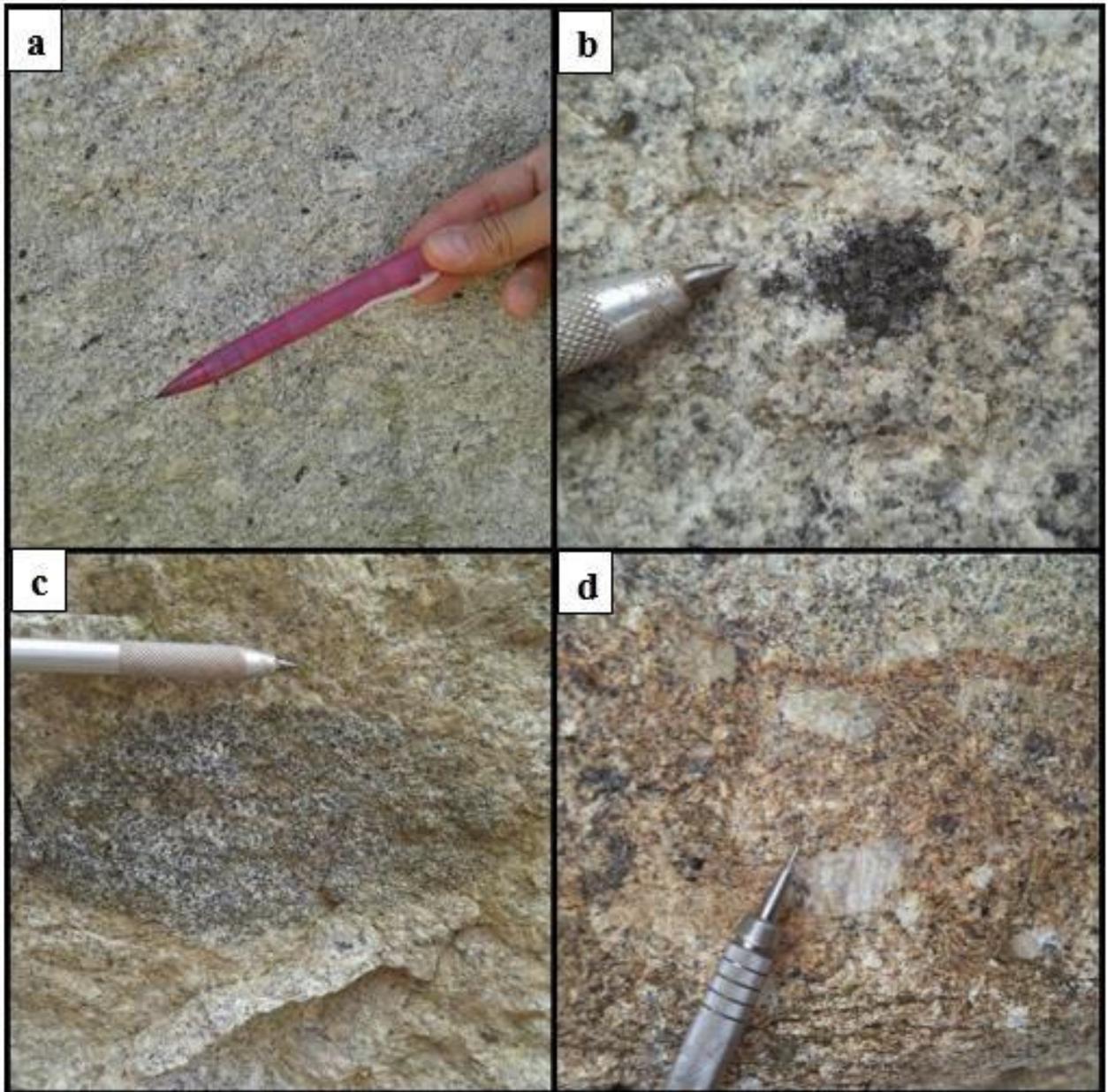
A descrição ao microscópio exibiu textura porfirítica com a matriz fanerítica média e fenocristais de até 5 mm isolados ou em agregados de plagioclásio – por vezes zonados (Figura 33 a), quartzo e K-feldspato com pertita. Há quartzo com subgrão, pertitização primária e secundária (Figura 33 b) e, também, alteração do plagioclásio evidenciada pela deformação da macla; não há foliação - feições que, sugerem deformação de acomodação/estabilização dos sítios cristalinos dos grãos, possivelmente, por uma atuação de tectônica, não intensa. Grãos de biotita bem formados (Figura 33 c) e o plagioclásio, por vezes, aparece sericitizado. A mineralogia total configura-se de: quartzo 40%, plagioclásio 10%, K-feldspato 40% - sendo considerável parte desses, microclínio, biotita 3%, muscovita como produto de alteração <1%, hornblenda marrom com bordas de biotita <1% e zircão, epidoto e óxidos como acessórios.

Figura 33 – Feições de PADO-006 ao microscópio petrográfico.(a) matriz fanerítica média e fenocristais de plagioclásio; (b) pertitização primária e secundária (pele de tigre) (c) grãos de biotita bem formados, plagioclásio zonado evidenciado pelo núcleo cálcico alterado.



Ainda na área de abrangência da folha Vasconcelos, PADO-021 é um monzogranito de textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio de até 3 cm (Figura 34 a), subédricos, tendendo à euedria, com faces lobadas, há também, fenocristais e agregados de biotita (Figura 34 b). Os feldspatos são ora euédricos, com faces bem retas e zonadas, ora com borda de reação (Figura 34 d). Matriz com textura média a fina e não há estrutura de fluxo evidente. Enclaves elípticos de 10-15 cm ocorrem, sendo ricos em máficos de grãos finos, predominantemente, de biotita e anfibólios, maciços e com estreitas bordas de reação (Figura 34c).

Figura 34 – Feições do afloramento PADO-021. (a) Monzogranito de textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio; (b) agregado de biotita; (c) enclave elíptico de minerais máficos em grãos finos; (d)



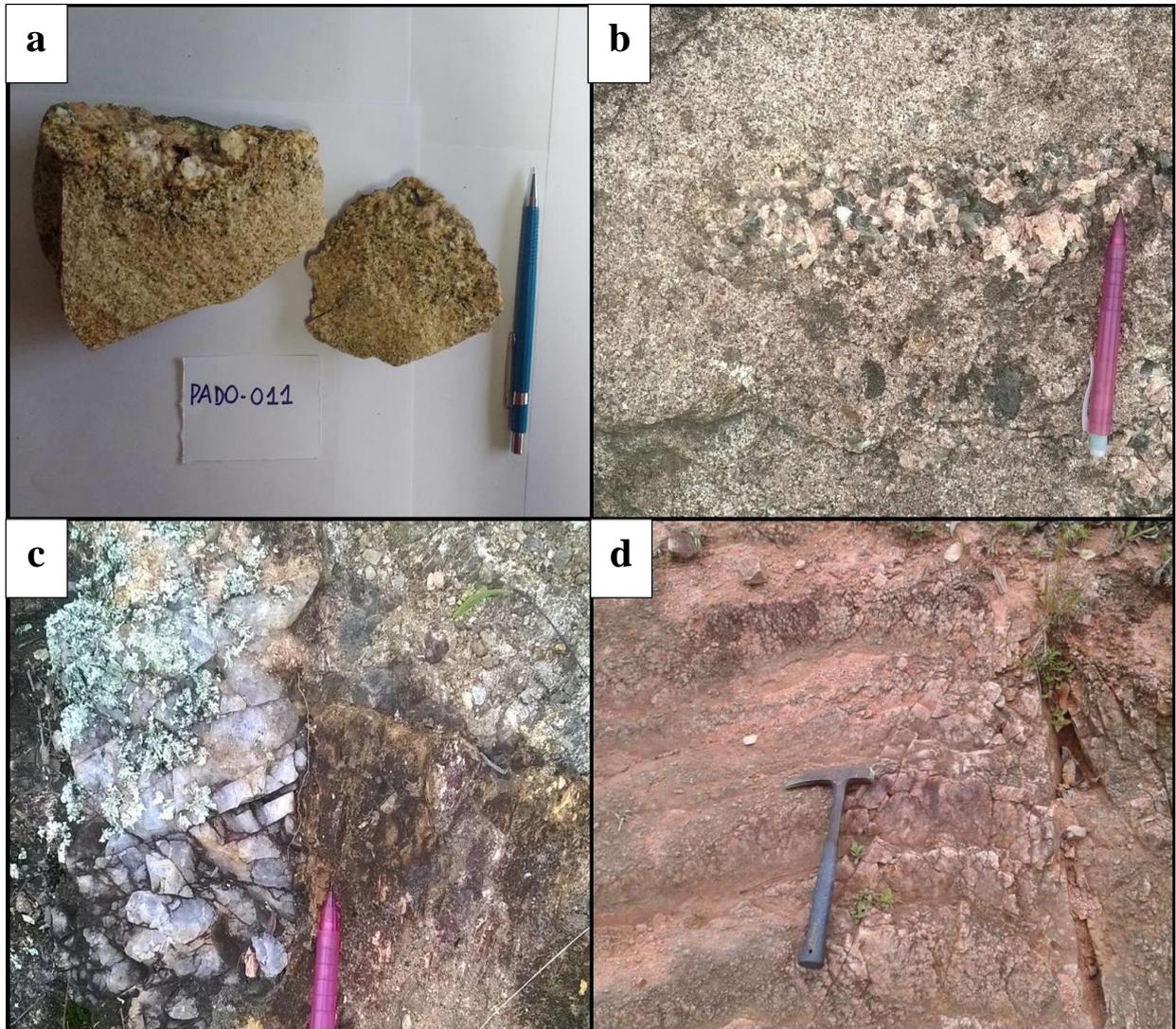
Nos mapas geológicos disponíveis da região, em escalas de diferentes níveis de detalhe – 1:250.000 e 1:750.000, este ponto é identificado como parte dos Depósitos da Planície Costeira; contudo, essa classificação é objetada pela presente pesquisa, visto que a litologia é condizente, então, com a fácies Metagranitoides Porfiríticas do Complexo Granito gnáissico Pinheiro Machado.

Caminhamento da Anomalia 3

PADO- 010 aflora como um bloco isolado de aproximadamente 2m. É um monzogranito equigranular médio, alaranjado, similar ao granito do PADO -06 com biotita, tanto dispersa como em agregados e planos de fraturas espaçadas.

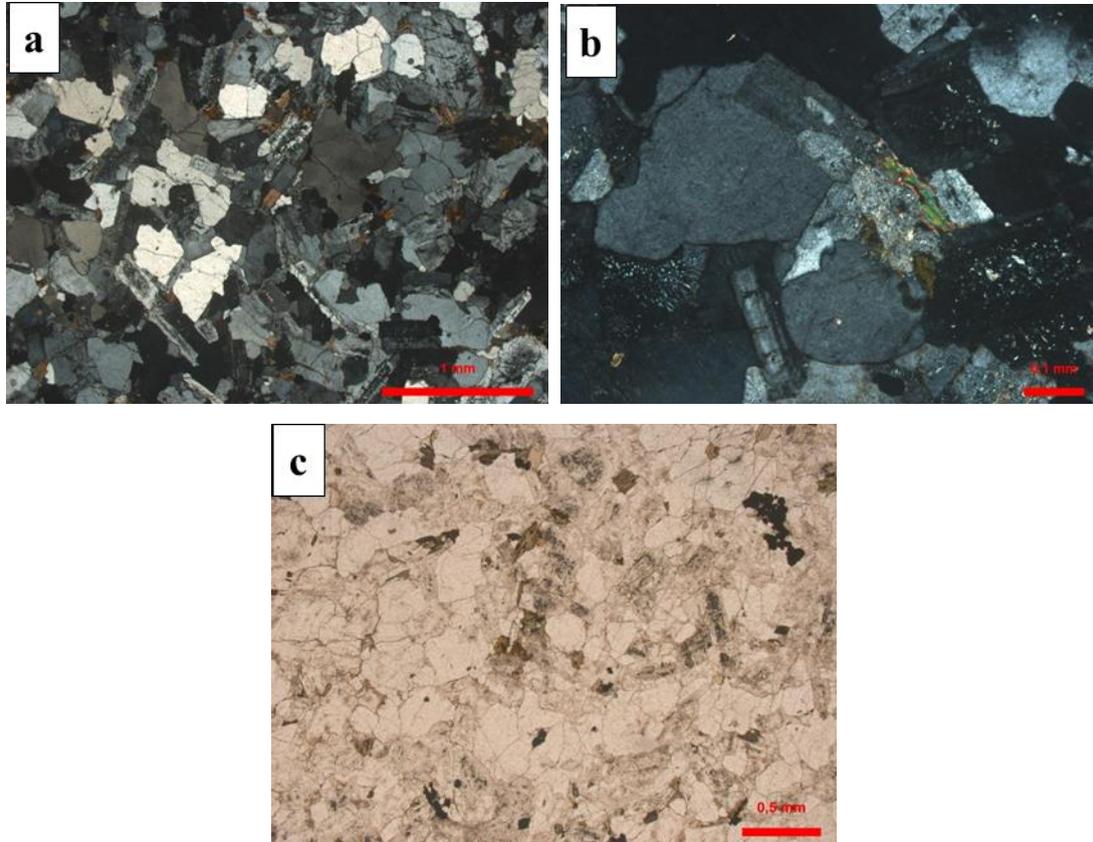
PADO-011 é um afloramento em grande lajeado de 40 m x 15 m e blocos ao redor. A rocha tem composição de sieno a monzogranítica; textura equigranular média a fina e pouca biotita. No afloramento, é possível observar diversos bolsões/ lentes de textura pegmatítica (Figura 35 a – d) com orientações e tamanhos diversos e granulometria variando de 2 cm a 8cm nas lentes maiores. As dimensões das lentes/bolsões variam bastante; desde 70 cm x 8 cm, 90cm x 70cm e veios de quartzo de 50x 300cm. Foram percebidas, também, fraturas espaçadas, em diferentes direções, com predomínio de direção aproximadamente $Az=232$; algumas delas preenchidas por quartzo.

Figura 35 – (a) amostra de mão de PADO-011 com duas texturas distintas; (b e c) bolsões/ lentes de textura pegmatítica; (d) lente métrica de quartzo pegmatítico associado à fratura no leito do afloramento.



Em lâmina petrográfica a textura mostrou-se inequigranular com predomínio de fanerítica fina, o quartzo aparece majoritariamente anédrico, os plagioclásios subédricos tendendo à euedria e a biotita como agregados, grão isolado ou preenchendo espaço intergranular (Figura 36 a) e, também em fase posterior, sobre os grãos de K-feldspato. Encontra-se textura mirmequítica, sericitização do K-feldspato (Figura 36 b) e a luz natural, óxidos (~ 1%) dispersos e, por vezes, em aglomerados (Figura 36 c). É um granito isótropo, sem evidências de deformação.

Figura 36 – Feições de PADO-011 ao microscópio. (a) biotita como agregados, grão isolado ou preenchendo espaço intergranular;(b) textura mirmequítica e sericitização do K- feldspato; (c) observação à LN dos óxidos dispersos e em aglomerados.



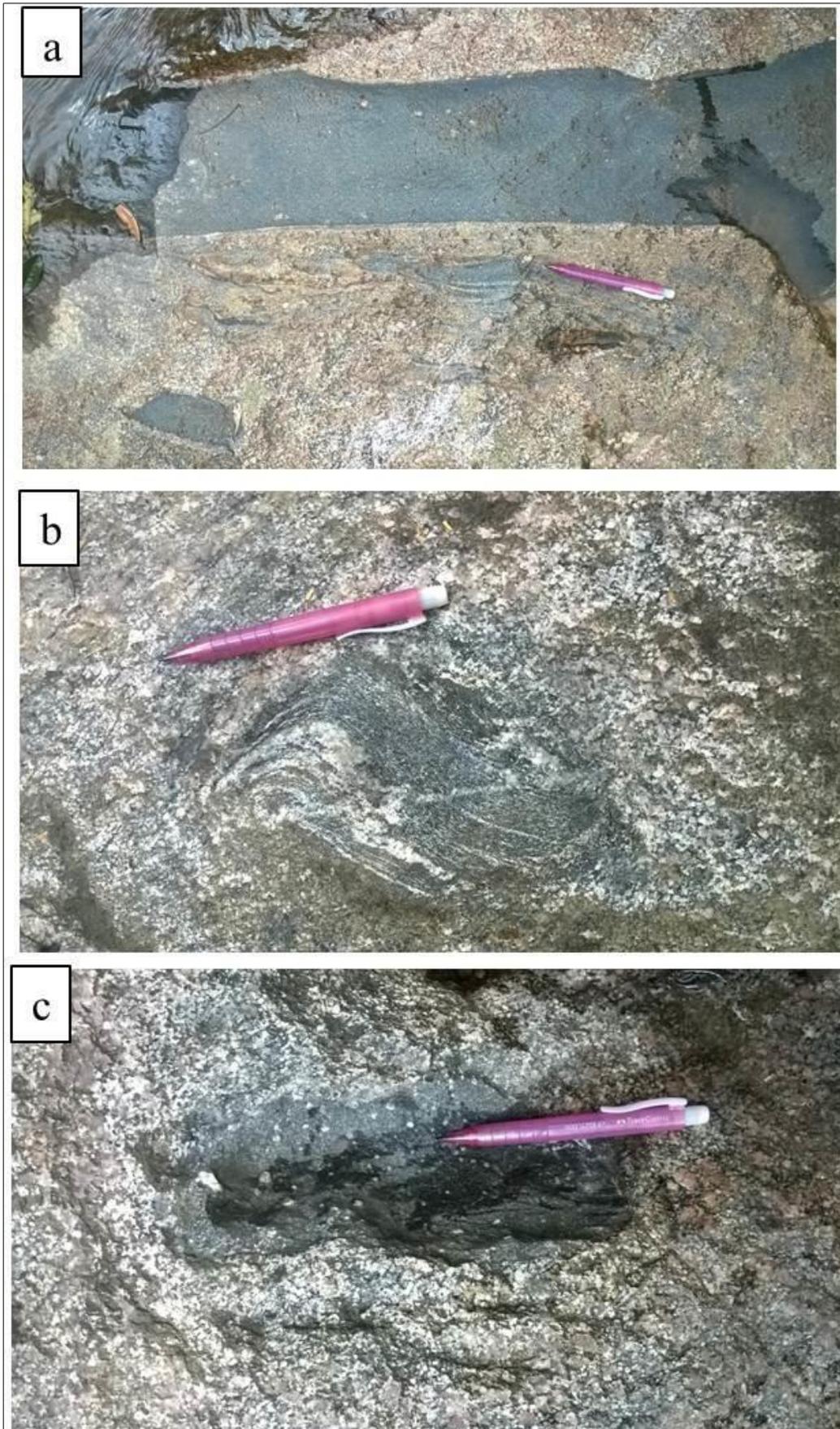
PADO-012 apresenta litologia predominante / encaixante de um sienogranito de textura inequigranular e porfírico grosso, com fenocristais de K-feldspato, subédricos, com contatos lobados, serrilhados; bastante biotita dispersa e formando agregados, ocasionais anfibólios. O plagioclásio ocorre na matriz e em grãos menores com formas subédricas a anédricas. Há variação no M' ($\sim 8-10$), com partes mais félsicas e outras mais máficas sem padrão muito visível.

Esse afloramento, durante o trabalho de campo, foi considerado a principal ocorrência (Figura 37 a), pois nele foram vistas feições *in situ* que poderiam ser o embasamento da explicação das anomalias magnéticas. Está localizado, no centro de uma anomalia (Figura 13) e foi classificado como Granito Dom Feliciano, com veios de pegmatito (Figura 37 b-c) e diversas feições que sugerem mistura e/ ou mescla de magma (xenólitos angulosos, schiliriens de até 20 cm, com certa orientação (153) e enclaves (Figura 38 a-c).

Figura 37 – (a) Visão geral de PADO-012, (b e c)veios de pegmatito em PADO-012.



Figura 38 – (a,b e c) feições sugestivas de mistura/mescla de magmas no afloramento PADO-012



Os xenólitos/ enclaves máficos variam bastante de tamanho; de cm até blocos (Figura 38 a-c). Alguns deles apresentam foliação incipiente e o bandamento bem claro, com alternância de bandas máficas e félsicas. Outros são maciços, equigranulares, de textura média com biotita, plagioclásio, quartzo e K-feldspato; com alguns pórfiros de plagioclásio e de composição diorítica/ granodiorítica (Figura 38 c). Tanto os bandados como os maciços, por vezes mostram contatos angulosos, sem interação/ reação, mas também com bordas de reação; sendo, essas últimas as mais comuns.

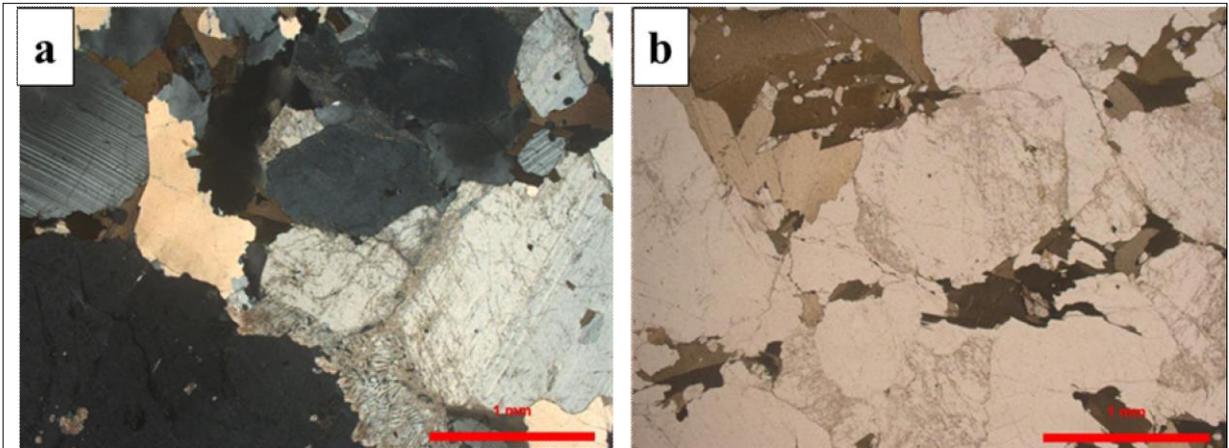
Na porção mais a norte do afloramento o granito parece apresentar alguma orientação magmática $Az= 257$ na porção máfica. Os veios de pegmatito ocorrem em todo o afloramento, mas nessa parte, são especialmente largos (1,7m) (Figura 37 b) e com diversas orientações (187 312).

Para esse ponto, foram feitas três lâminas petrográficas – uma da rocha encaixante, e outras duas de dois diferentes xenólitos/enclaves; a finalidade disso é justificada pela possível influência desses corpos nos sinais magnéticos anômalos.

Através da petrografia foi comprovada similaridade composicional da encaixante com os xenólitos/enclaves amostrados. Texturalmente, o granito encaixante é fanerítico médio a fino enquanto as outras texturas são faneríticas finas

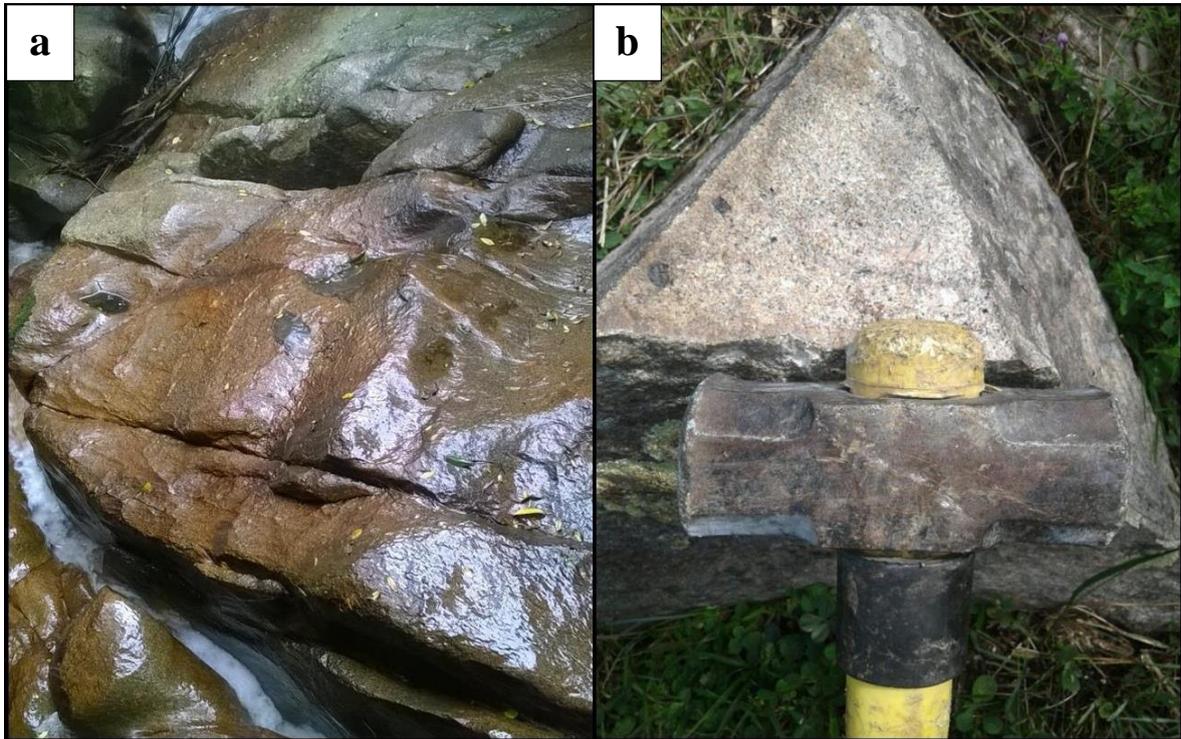
São granitos *strictu sensu*, sem feições que indiquem deformação tectônica, apenas aquelas que sugerem interação de diferentes porções e assimilações do magma. Apresentam texturas de desequilíbrio – pertitas, micrográfica e mirmequítica e também de alteração – sericitização, que pode indicar hidratação por fluidos finais da câmara magmática. Os minerais acessórios são: titanita, apatita, zircão e epidoto. Na amostra 12.1, é possível notar textura poiquilítica – óxidos e acessórios dentro dos feldspatos e maior grau de alteração (Figura 39 a e b).

Figura 39 - textura poiquilítica – óxidos e acessórios dentro dos feldspatos e maior grau de alteração



Em PADO- 013, a 7,7 km noroeste de PADO-012, observou-se um afloramento em cascata próximo a cidade de Chuvisca. Sienogranito, similar ao do PADO- 012, com xenólitos máficos (Figura 40 a). No ponto seguinte, PADO-014, à aproximadamente 3 km SW de PADO 13, encontram -se blocos de monzogranito equigranular fino com bastante biotita dispersa e em agregados mm. Textura equigranular fina a média (Figura 40 b). Seguiram sendo as mesmas feições ígneas observadas em PADO 15, 16 e 17.

Figura 40 – Afloramento em cascata (PADO-013) com xenólitos máficos; (b) Rocha de PAD- 014 evidenciando a textura equigranular fina a média.



Em PADO- 018 afloram blocos de sienogranito porfirítico com fenocristais de K-feldspato (centimétrico), matriz equigranular média a grossa (Figura 41a). Os fenocristais de K-feldspato são euédricos e medem aproximadamente 1 cm. Na matriz ocorrem quartzo, plagioclásio, K- feldspato e bastante biotita ($M' \sim 10$). O plagioclásio é anédrico, com alguns grãos euédricos, a biotita está em sua maioria dispersa, mas também forma aglomerados. A fácies é distinta dos outros vistos neste p. Segundo CPRM 2007, se enquadra na Litofácies Cerro Grande; enquanto os outros seriam Metagranitoides Porfiríticos do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado.

PADO- 019 apresenta um sienogranito porfirítico com porções mais ricas em fenocristais e porções mais inequigranulares. Nas partes com mais fenocristais, eles são de K-feldspato com inclusões de biotita, euédricos e medem até 4 cm; marcam estrutura de fluxo. A matriz é equigranular, média a grossa, com plagioclásio, quartzo e biotita dispersa ($M' 12$). Plagioclásios anédricos e subédricos. As porções com menos fenocristais são semelhantes ao granito do PADO- 018. A transição entre uma e outra porção é gradual e parece estar associado ao fluxo magmático (Figura 41b). O afloramento é cortado por veios delgados (1 a

10 cm) de K-feldspato granito com textura equigranular média (Figura 41 c) e veio de pegmatito mais largo (70 cm).

Figura 41 – (a) Amostra de mão de PADO – 018 : sienogranito porfírico com fenocristais de K-feldspato , matriz equigranular média a grossa; (b) provável transição textural observada entre PADO – 018 E PAD0-019 que parece estar associado ao fluxo magmático.



PADO- 020 é, um monzogranito equigranular médio com fenocristais de plagioclásio de ate 1 cm, menos biotita que o PADO-019 (M' 5-7), sendo elas pequenas e esparsas na matriz. Esta última contém plagioclásio, K-feldspato, quartzo e biotita; o plagioclásio eventualmente envolve o K-feldspato.

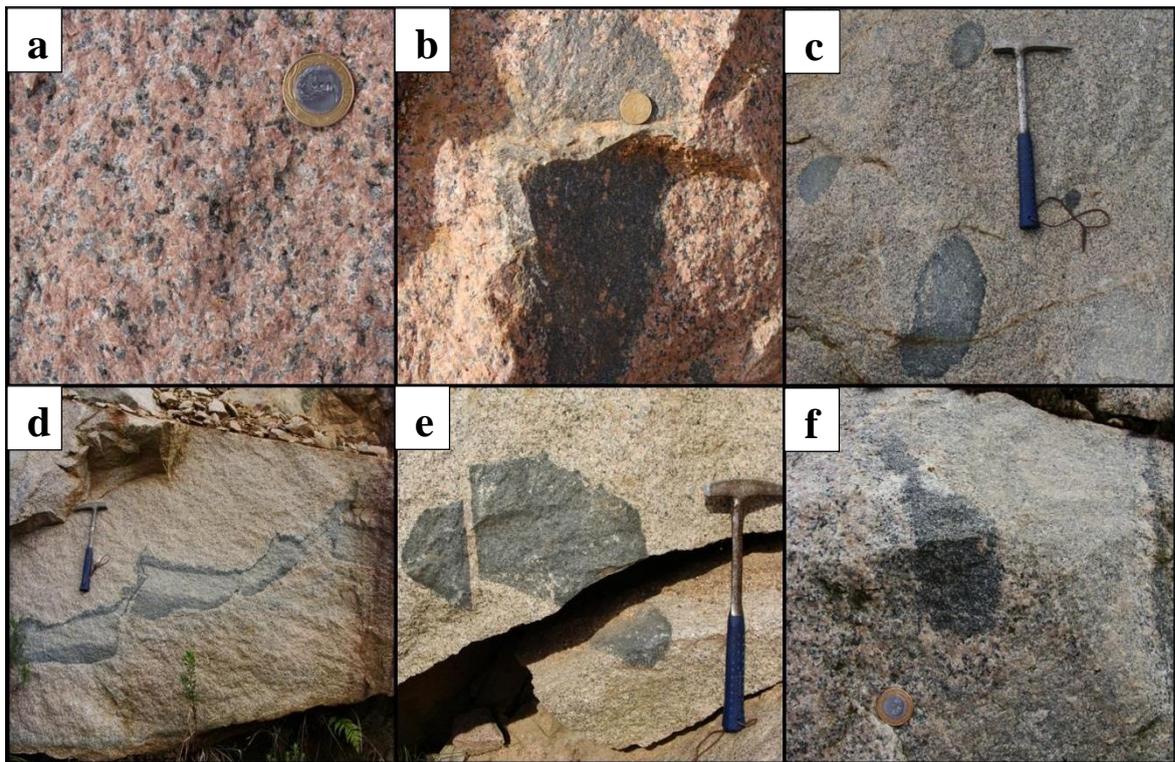
RC-070 ⁴ e JP-63 ⁴ estão na região de abrangência deste caminhamento. Ambos respondem, na aeromagnetometria, a altos magnéticos de maior intensidade do que aqueles observados, nesta

⁴ DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. Mapa de Integração Geológico Geofísico: Batólito Pelotas–Terreno Tijucas. Porto Alegre, escala 1:500.000. Em prep.

área, nos pontos do trabalho de campo executados para o presente projeto. Estas ocorrências estão a noroeste e nordeste (Figura 5), respectivamente, do Caminhamento da Anomalia 3, e estão vinculados a lineamentos geofísicos de orientação NE. (Figura 18). Considerou-se a importância de fazer a correlação do caminhamento estudado com essas rochas, visto que, da mesma forma que os pontos PADO- 12 e PADO-13 verificam-se diversos xenólitos e/ou enclaves, com resposta magnética positiva.

RC-070 ,segundo CPRM (em fase de elaboração)⁵,foi classificado como um anfibolito-biotita sienogranito com magnetita, de textura equigranular grossa (Figura 42a), com vários níveis médios. Os enclaves máficos e intrusões têm diversos tamanhos e são pouco ou muito assimilados formando schilierens, podendo estar rompidos (Figura 42 b-f). Não foi possível obter mais informações sobre JP-63.

Figura 42 – Feições do afloramento RC-070*. (a) textura equigranular grossa de rocha sienogranítica (b-f) diferentes xenólitos e suas iterações com a encaixante.

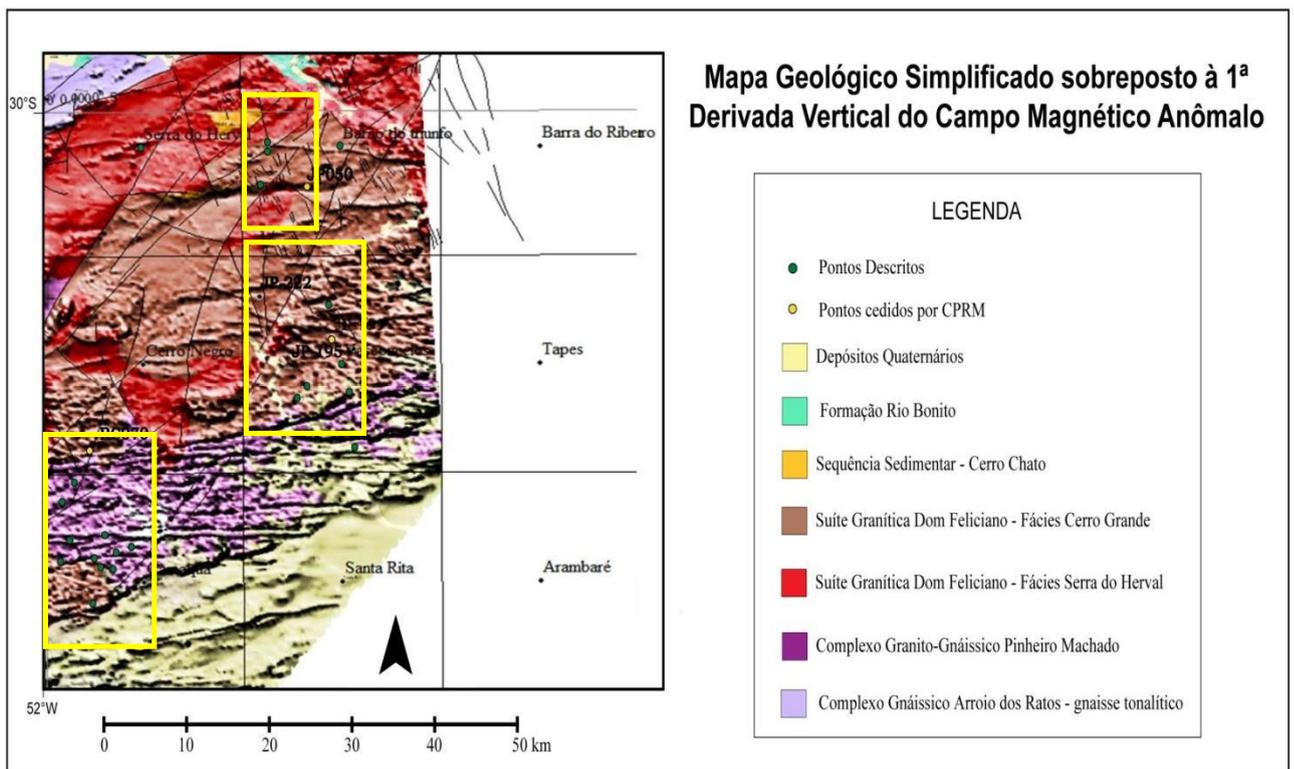


4.4 Integração de dados geológicos e geofísicos

⁵ DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. Mapa de Integração Geológico Geofísico:Batólito Pelotas–Terreno Tijucas. PortoAlegre, escala 1:500.000.Em prep.

Os produtos gráficos do processamento dos dados aeromagnéticos integrados à base geológica de CPRM (2007), permitiu uma interpretação qualitativa e semi-quantitativa da estruturação tectônica com base nas inferências geofísicas. A Figura 43. mostra a sobreposição de dados litológicos em escala 1:750.000 sobre o mapa de relevo sombreado de 1ª derivada vertical, com uma resolução equivalente a 1:60.000.

Figura 43 - mapa litológico simplificado sobreposto à 1ª derivada vertical do campo magnético anômalo. Os retângulos amarelos marcam as áreas correspondentes aos Perfis das Anomalias 1,2 e 3, respectivamente, de norte para sul.



Observa-se no mapa integrado que os lineamentos magnéticos ocorrem em maior densidade em uma faixa central e centro-leste da área; estes mantêm *trends* preferencias na direção E-W. Conforme as rochas encontradas em campo, esses lineamentos estão associados ao Complexo Pinheiro Machado e também, à fácies Cerro Grande dos Granitos Dom Feliciano.

A partir do mapa de amplitude do sinal analítico (ASA) (Figura 17) foram expressas anomalias magnéticas de curto comprimento de onda, também de forma linear com orientação E-W posicionadas na parte SW da região de estudo. Sinais magnéticos com essas

características estão, geralmente, associadas a corpos de composição básica e de geometria tabular. A partir disso, pode-se inferir que essa assinatura seja pela presença de um dique em subsuperfície intrudindo na unidade classificada pela CPRM (2007) com Pinheiro Machado.

Assinaturas anômalas, de formas elipsoidais, com eixo maior orientado na direção E- W ocorrem também na área da folha Camaquã – conforme verificação dos pontos PADO-012 e PADO-013 associadas a presença de xenólitos de gnaisses. A partir disso, faz-se a compreensão de que assinaturas de comprimento de onda em torno de 3-4 km, dispersas na porção central e centro-leste da área, possam estar associadas a fragmentos de crosta antiga na forma de mega xenólitos em subsuperfície.

Relacionando as anomalias magnéticas à análise petrográfica, pode-se afirmar que elas ocorrem em resposta ao elevado teor de minerais opacos verificados em petrografia e depreende-se que sejam de óxidos de ferro, mais especificamente de magnetita visto o elevado caráter magnético do sinal capturado comparado aos valores de susceptibilidade magnética dos minerais. Há de se considerar também, que a orientação das anomalias possa ter alguma influência da biotita. Isso por que é elevado o teor desse mineral diamagnético (que é capaz de orientar spins) em todas as correspondências de anomalias positivas

Em relação às ponderações acerca do paralelismo de dados entre as anomalias e lineamentos magnéticos (Figura 18) e os mapas de densidades de lineamentos traçados (Figuras 21 e 22), percebeu-se, uma correlação positiva, observando o mapa de densidade por comprimento das feições, na região NE da área de estudo, segundo a orientação preferencial NE.

Contudo, na porção SE – região da folha Vasconcelos, não existe correspondência entre esses dados; isso se comprova pela existência das assinaturas magnéticas anômalas e lineamentos magnéticos de orientação E-NE e a baixa/ nula densidade de feições lineares estruturais; estas observadas em ambos os mapas de densidade de lineamentos traçados (Figuras 21 e 22) como, também, fazendo a sobposição das regiões anômalas a layer de falhas geológicas de CPRM, 2007(Figura 18).

Nas demais áreas do estudo é possível perceber os padrões compatíveis da convergência das informações magnéticas e estruturais entre os três mapas (Figuras 18, 21 e 22).

5 CONCLUSÕES

A integração de dados geológicos e geofísicos mostrou que na porção NE do Cinturão Dom Feliciano as três anomalias magnetométricas, que foram objeto do presente estudo, de direção E-W têm interpretações distintas:

- A anomalia 1 (a norte) representa o contato (NE) entre as fácies Cerro Grande e Serra do Erval, fácies da Suíte Granítica Dom Feliciano;

- A anomalia 2 (no centro da área de estudo) representa o contato entre duas unidades litológicas distintas, o Complexo Pinheiro Machado e a Suíte Granítica Dom Feliciano, e pode-se deduzir que possa significar, também o contato com a Planície Costeira – a pesar de não ter sido verificado, de fato em campo;

- A anomalia 3 (a sul) representa corpos tabulares básicos em profundidade, ou seja, não aflorantes em superfície.

A análise conjunta dos mapas de densidade de lineamentos, tanto geral quanto das principais direções encontradas (tendência SW-NE), viabilizou uma interpretação clara e visual das áreas de alta densidade para essas orientações. Trends foram traçados sobre essas e, pôde-se observar que os lineamentos de direção preferencial SE presentes no Caminhamento da Anomalia 2 não individualizam as unidades Complexo Pinheiro Machado e a Suíte Granítica Dom Feliciano.

A pesar de ter sido feita conferência *in situ* das ocorrências litológicas, os resultados obtidos nesse trabalho possuem certas limitações visto que são originados a partir de apenas um método geofísico indireto. As propostas apresentadas necessitam de associação com outros métodos geofísicos para sua validação.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, PF de. Reconhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, v. 66, p. 1-72, 1932.

CHEMALE JR, F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 13-52, 2000.

COSTA, A. F. U.; CALDASSO, AL da S. Padrões do campo magnético aplicados à geologia estrutural na região de Pinheiro Machado, RS. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. p. 31-32, 1994.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-Rio-Grandense**. 1997. 2v. 291 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997

DE ALMEIDA, F. F. M. et al. The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. In: **The South Atlantic**. Springer US, p. 411-446, 1973.

DE OLIVEIRA, D. S. et al. Post-collisional subvolcanic rhyolites associated with the Neoproterozoic Pelotas Batholith, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 63, p. 84-100, 2015.

DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília, Brasil.2008, escala 1:750.000. 1 CD-Room.

DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. **Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul: Relatório Final do Levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos**. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções. Programa Geologia do Brasil (PGB).2010.

DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. **Mapa de Integração Geológico Geofísico:Batólito Pelotas–Terreno Tijucas**. PortoAlegre, escala 1:500.000.Em prep.

EARTH EXPLORER : BANCO DE DADOS DA USGS (United States Geological Survey).Disponível em: www.earthexplorer.usgs.gov.com. Acessado em, 01/11/2017.

FERNANDES, L. A. D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C. C. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 5, n. 1, p. 77-96, 1992.

FERNANDES, L. A. D. et al. EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO CINTURÃO DOM FELICIANO NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE: PARTE I-UMA CONTRIBUIÇÃO A PARTIR DO REGISTRO GEOLÓGICO. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 351-374, 1995.

_____, L. A. D. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II-uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 375-384, 1995.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. SBG Anais, Camboriú. P. 2879-2882, 1980.

_____, A. R. S. et al. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. **SBG, Enc. Estrat. RS–Escudos e Bacias**, v. 1, p. 139-144, 2003.

FRANTZ, J. C.; FERNANDES, L. A. D. Granitoides Tardi-a Pósorogênicos do Ciclo Brasileiro no Cinturão Dom Feliciano-RS. **SBG, Cong. Bras. Geol**, v. 38, p. 150-152, 1994.

GEOSOFT 2007. Geosoft mapping and processing system. Toronto.

GUNN, P. J. Interpretation of airborne magnetic and radiometric surveys. Course. 1998.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, Farid; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. **Ianuzzi R. & Frantz JC.(Org.)**, v. 50, p. 97-123, 2007.

HEILBRON, M. et al. Província Mantiqueira. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203-235, 2004.

JACKSON, V. N. et al. **Projeto Aerogeofísico Camaqua. Estado do Rio Grande do Sul**. Relatório Fina. I/II/III/IV. CPRM/CNEMCPRM. 224p. 1973.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de exploração**. Oficina de Textos, 2009.

LEINZ, V.; ALMEIDA, SC de. Gênese da jazida de cobre “Camaquam”, município de Caçapava-Rio Grande do Sul. Secretaria dos Negócios de Agricultura Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul, DPM. **Boletim n°**, v. 88, p. 56, 1941.

LUYENDYK, A. P. J. Processing of airborne magnetic data. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 31-38, 1997.

NABIGHIAN, M. N. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. **Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 507-517, 1972.

NAIDU, P. S.; MATHEW, M. P. **Analysis of geophysical potential fields: A digital signal processing approach**. Elsevier, 1998.

OYHANTÇABAL, P. et al. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano–Pan-African, Uruguay). **Lithos**, v. 98, n. 1, p. 141-159, 2007.

PETERS, L. J. The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. **Geophysics**, v. 14, n. 3, p. 290-320, 1949.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R.. The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 19, n. 4, p. 461-478, 2005.

PHILIPP, R. P.; BITTENCOURT, M. F.; JUNGES, S. L. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Vila Nova Arc, south Brazil: implications for evolution of the São Gabriel Belt. **Journal of South American Earth Sciences, Londres, v. subm., p. subm**, 2011.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 83-104, 2016.

RAMOS, R. C.; KOESTER, E. Litogeoquímica das unidades meta-ígneas do Complexo Ofiolítico Arroio Grande, extremo sul do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 1, p. 65-78, 2016.

RAMGRAB, G. E; WILDNER, W., CAMOZZATO, E. **Porto Alegre: Folha SH. 22-YB-estado do Rio Grande do Sul**. CPRM, 1997.

ROEST, W. R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**, v. 57, n. 1, p. 116-125, 1992.

ROGERS, J. JW. A history of continents in the past three billion years. **The journal of geology**, v. 104, n. 1, p. 91-107, 1996.

SANTOS, E. L. et al. Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, escala 1: 1.000. 000 e parte do Escudo Sul-Riograndense, escala 1: 600.000. **Departamento Nacional da Produção Mineral, MME, Porto Alegre, Brazil**, 1989.

SOARES, M. S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométrico e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do**

Complexo Bossoroca, São Sepé, RS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. 2001.

STANLEY, J. M. Simplified gravity interpretation by gradients—The geological contact. **Geophysics**, v. 42, n. 6, p. 1230-1235, 1977.

TRAVASSOS, R. P. Interpretação estrutural regional do escudo sul-rio-grandense-Rio Grande do Sul-Brasil, com base em aeromagnetometria. 2015