

Investigação estrutural de uma região do Cerrito do Ouro, São Sepé, RS, e relações com lineamentos geomorfológicos e magnéticos de direção NW

Ísis Caroline Moreira de SOUZA¹ & Tiago Rafael GREGORY¹

¹ Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. Av. Pedro Anunciação, 111, CEP 96570-000, Bairro Vila Batista, Caçapava do Sul, RS, Brasil. (isiscarol@live.com; tiagogregory@unipampa.edu.br)

Resumo. Em uma região do distrito de Cerrito do Ouro, São Sepé, RS, foi investigada a relação entre lineamentos magnéticos com orientação preferencial NW e ocorrências de sistemas de fraturas de mesma direção. A revisão bibliográfica sobre a tectônica rúptil da área e a integração com dados de sensoriamento remoto produzidos neste trabalho permitiram reconhecer e catalogar lineamentos geomorfológicos e magnéticos. Em campo, rochas e estruturas foram caracterizadas utilizando técnicas básicas de mapeamento geológico-estrutural e quantificação de densidade de fraturas. Os resultados indicam predominância de lineamentos geomorfológicos e fraturas de direção NE e, em seguida, de direção NW. As relações de campo mostram o sistema de fraturas NW cortando o sistema de direção NE, reativação de fraturas NE e fraturas E-W e N-S mais recentes que as demais. As anomalias magnéticas de direção NW apresentam uma assinatura mais intensa associada ao sistema de fraturamento de direção NW e, fora das mesmas, este fraturamento se torna menos frequente. Com isso, conclui-se que lineamentos magnéticos e geomorfológicos se correlacionam. Algumas ocorrências de diques de rochas máficas foram verificadas, associadas aos lineamentos magnéticos NW. Deste modo, as anomalias magnéticas NW, na área de estudo, representam zonas de fissuras NW, preenchidas por diques possivelmente alimentadores do vulcanismo Serra Geral, sendo deslocadas por sistemas de fraturas E-W mais recentes e, provavelmente, relacionados à abertura do Oceano Atlântico. O conjunto destas estruturas está inserido no Arco Estrutural de Rio Grande.

Palavras-chave: Tectônica rúptil do Escudo Sul-rio-grandense, lineamentos magnéticos, lineamentos geomorfológicos, sistemas de fraturas NW, Arco Estrutural de Rio Grande.

Abstract. STRUCTURAL INVESTIGATION OF A CERRITO DO OURO REGION, SÃO SEPÉ, RS, AND RELATIONS WITH NW MAGNETIC AND GEOMORPHOLOGICAL LINEAMENTS. In a Cerrito do Ouro region district, São Sepé, RS, we investigated the relationship between the NW preferential orientation magnetic lineaments and the occurrence of fracture systems in the same direction. The bibliographic review of the brittle tectonic study area and the integration with remote sensing data produced in this work allowed recognition and catalog of magnetic and geomorphological lineaments. In the fieldwork, we characterized rocks and structures by basic structural-geological mapping techniques and quantification of fracture density techniques. The results show NE predominance direction and subordinately NW direction to fractures and geomorphological lineaments. The field relationship displays NW fractures cutting the NE fracturing system, NE fractures reactivation, and the E-W and N-S fractures are most recent than the previous ones. The NW magnetic lineaments present a more intense signature associated with the NW fracturing system. In addition, outside of them, this fracturing becomes less frequent. Thus, we conclude that geomorphological and magnetic lineaments are correlating. Associated with NW magnetic lineaments, we verified some occurrences of mafic rock dykes. Hence, in the study area, the NW magnetic anomalies represent zones of NW cracks, filled by dykes possibly feeding the Serra Geral volcanism, displaced by most recent E-W fracturing systems, and probably related to the opening of the Atlantic Ocean. The set of these structures is inside the Rio Grande Structural Arch.

Keywords: Sul-rio-grandense Shield brittle tectonics, magnetic lineaments, geomorphological lineaments, NW fracturing systems, Rio Grande Structural Arch.

1 Introdução

O Escudo Sul-rio-grandense (ESrg) compreende complexas assembleias petrotectônicas geradas durante os ciclos orogênicos Transamazônico (2,26 – 2,0 Ga) e Brasileiro (900 – 550 Ma; Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007). As unidades do ESrg foram fortemente afetadas pelo Ciclo Brasileiro, resultando em terrenos de rochas granito-migmatítico-gnáissicas e metavulcanossedimentares supracrustais, sobrepostos por sequências vulcanossedimentares tardi- a pós-colisionais (e.g. Chemale Jr. *et al.*, 1995; Chemale Jr. 2000; Hartmann *et al.*, 2007; Paim *et al.*, 2014). As unidades do ESrg são caracterizadas em termos de petrografia, geotectônica, estratigrafia, geocronologia e metalogênese. Porém, as sucessões de eventos deformacionais desde o Neoproterozoico dificultam um detalhamento maior das estruturas regionais de aspecto rúptil. São poucos os trabalhos que abordaram de alguma forma a geologia estrutural rúptil, citando-se Ribeiro *et al.* (1966), Picada (1968), Ribeiro (1980) e, mais recentemente, Travassos (2014), que faz uma interpretação estrutural do ESrg com dados de aeromagnetometria. Trabalhos relacionando lineamentos morfológicos/estruturais e lineamentos magnéticos em escalas de maior detalhe também são escassos, apesar de já existirem trabalhos que relacionem dados aerogeofísicos e lito-estruturais (e.g. Soares *et al.*, 2001; Gastal & Ferreira, 2013; Hartmann *et al.*, 2016; Gregory *et al.*, 2019a, 2019b).

Por meio de imagens de satélite e mapas geológicos, nota-se claramente que os lineamentos NE-SW são em geral os mais expressivos e que ocorrências de lineamentos de direção NW-SE são, em geral, menos expressivas, em todo o ESrg. Porém, a partir de dados magnéticos de Travassos (2014), é possível visualizar que lineamentos magnéticos de direção NW-SE aparecem bastante ressaltados, especialmente através do mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA - Nabighiann, 1972, 1974; Roest *et al.*, 1992), indicando ocorrência de algum fenômeno importante em subsuperfície, como por exemplo, diques de rochas ricas em minerais

magnéticos. No ESrg é comum que estruturas de direção NW-SE estejam preenchidas por diques de composição básica (Ribeiro, 1980), podendo alguns deles estar relacionados à evolução do Arco Estrutural de Rio Grande e ao vulcanismo do Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná (e.g. Almeida *et al.*, 1977; Almeida *et al.*, 2000; Gregory *et al.*, 2019a, 2019b).

Neste contexto, existe um sistema de fraturas de direção NE e NW que se intersectam e afetam unidades metamórficas e sedimentares na porção norte do Terreno São Gabriel (Philipp *et al.*, 2016), na região do Cerrito do Ouro, São Sepé, RS. Essas fraturas estão muito próximas a lineamentos magnéticos de direção NW, bem visualizados no mapa de ASA. Assim, o objetivo deste trabalho é a investigação geológica e estrutural a partir de técnicas de sensoriamento remoto e caracterização das estruturas rúpteis em campo, e as relações com os lineamentos magnéticos de direção NW identificados na área. Pretende-se, assim, obter um maior detalhamento da tectônica rúptil de uma porção norte do Terreno São Gabriel, onde se identificam ocorrências de lineamentos magnéticos NW associados a diques de diabásio que cortam o ESrg.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Contexto geológico-geotectônico

A área de estudo (Figura 1) está localizada na porção oeste do ESrg e engloba unidades metamórficas do Terreno São Gabriel (Complexo Bossoroca - Gubert *et al.*, 2016) e as unidades sedimentares mais basais da Bacia do Camaquã (Alogrupo Maricá - Paim *et al.*, 1995). O ESrg é uma unidade geomorfológica composta por assembleias petrotectônicas geradas principalmente no Paleoproterozoico e no Neoproterozoico (e.g. Chemale Jr., 2000), compartimentalizada em 4 unidades geotectônicas com características geológicas e geofísicas distintas: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas (Hartmann *et al.*, 2007). As rochas paleoproterozoicas estão representadas por granulitos no Terreno Taquarembó, por gnaisses e granitoides milonitizados no Terreno Tijucas e septos do

embasamento no Batólito Pelotas. O Neoproterozoico está presente em rochas do Cinturão Dom Feliciano, um orógeno que se estende desde o Sul do Brasil até o Uruguai, formado pela colisão dos crátons Kalahari, Congo e Rio de La Plata (Philipp *et al.*, 2016) durante o Ciclo Brasileiro/Pan-Africano (Chemale Jr. *et al.*, 1995). Esta colisão ocasionou a ocorrência de diversos corpos graníticos intrusivos no Terreno Taquarembó e Terreno São Gabriel, bem como uma diversidade de granitos relacionados ao estágio pós-colisional no Batólito Pelotas (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007; Phillip *et al.*, 2016).

Sobre as unidades do ESrg, depositam-se sequências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã, um sistema de sub-bacias (Boicí-Piquiri, Guaritas, Santa Bárbara, Ramada e Taquarembó) tardi- a pós-colisionais geradas

entre o fim do Neoproterozoico e o Eopaleozoico (Janikian *et al.*, 2003; Pelosi & Fragoso-Cesar, 2003). Em geral, as unidades da Bacia do Camaquã registram uma deformação decrescente da base para o topo, de caráter rúptil-dútil nas porções inferiores, e caráter rúptil nas porções superiores da bacia (Paim *et al.*, 2000). As sequências estão englobadas nas seguintes unidades alostratigráficas (Paim *et al.*, 1995, 2000, 2014): Alogrupos Maricá (predomínio de marinho raso, intercalado com sistemas fluviais), Alogrupos Bom Jardim (rochas vulcânicas de composição andesítica, conglomerados aluviais e depósitos arenosos a lamosos), Alogrupos Santa Bárbara (rochas vulcânicas e conglomerados aluviais), e Alogrupos Guaritas (rochas vulcânicas na base, e fácies eólicas e aluviais).

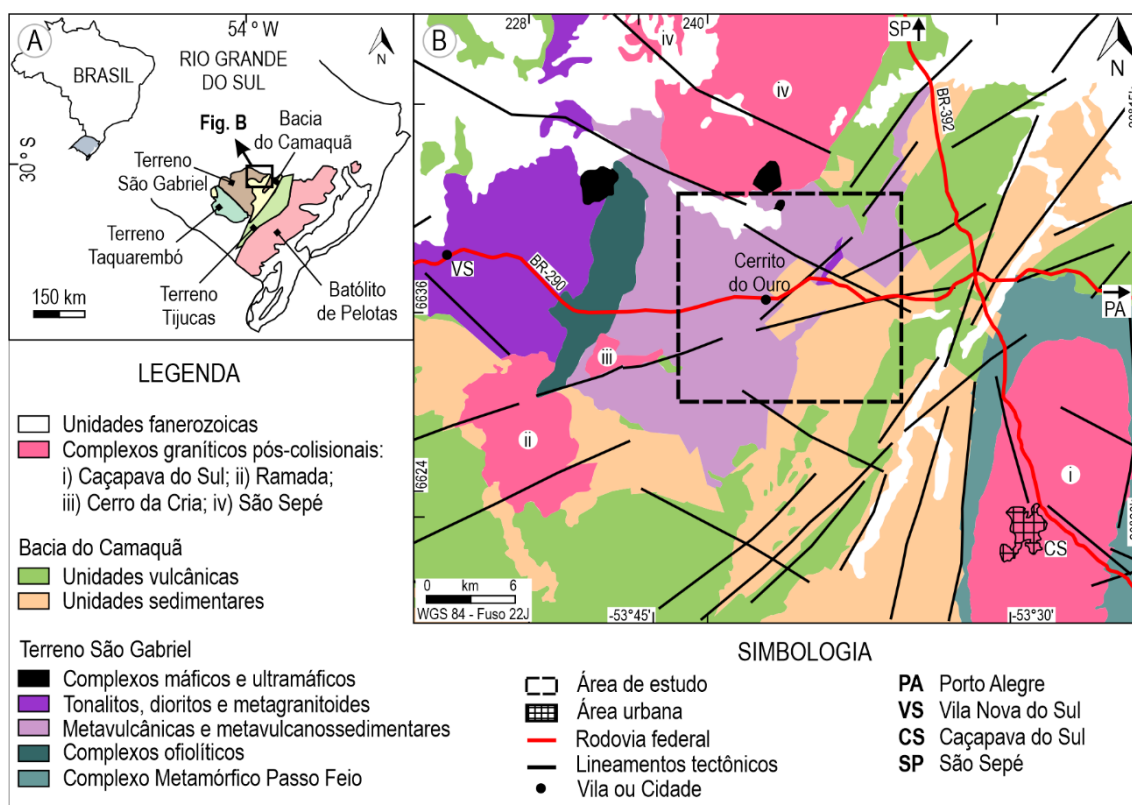


Figura 1. Localização da área de estudo. A) Contexto geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense (modificado de Philipp *et al.*, 2016); B) Geologia da área de estudo (modificado de: Wildner *et al.*, 2007; Gastal & Ferreira, 2013).

Figure 1. Study area location. A) Geotectonic context of the Sul-rio-grandense Shield (modified from Philipp *et al.*, 2016); B) Geology of the study area (modified from Wildner *et al.*, 2007; Gastal & Ferreira, 2013).

2.2 Lineamentos estruturais e magnéticos

Algumas das publicações mais antigas que abordam a tectônica rúptil do ESrg, direta ou indiretamente, são as de Ribeiro *et al.* (1966), Tessari & Picada (1966), Picada (1968, 1971), Ribeiro (1980) e Jost *et al.* (1984). Conforme Ribeiro (1980), os lineamentos regionais do ESrg (Figura 2) estão orientados predominantemente nas direções NE-50° e NW-50° e dispõem-se em uma faixa com largura entre 5 a 20 km. Essas fraturas formam redes ortogonais cujos pontos de intersecção estão separados por aproximadamente 75 km. É referido também uma segunda rede ortogonal, moderada, de fraturas N-S e E-W, posteriores às NE e NW. Ribeiro (1980) considera que as estruturas NE-50° e NW-50° são contemporâneas, mais antigas que os granitos do Pré-Cambriano e atingem o manto superior. Ainda segundo aquele autor, a direção mais proeminente é NE-50°, sendo a direção NW-50° continuamente intrudida por granitos e diabásios no Pré-Cambriano, e diabásios, rochas alcalinas e kimberlitoídes ultramáficos no Mesozoico. Almeida *et al.* (1977, 1981) e Almeida *et al.* (2000) sugerem que essas intrusões mesozoicas estariam relacionadas à reativação da Plataforma Sulamericana e à abertura do Oceano Atlântico, que vieram a dar origem aos arcos estruturais de Rio Grande e Ponta Grossa.

Na porção norte do Terreno São Gabriel, Ribeiro *et al.* (1966) separam os falhamentos conforme dois sistemas principais: Sistema de Falhas Irapuá (SFI), de direção NE, e Sistema de Falhas Cerro da Vigia (SFCV), de direção NW. O SFI controla as ocorrências minerais de Cu e são zonas de falha de grande extensão. São contadas 12 zonas de falhas no total, sendo as da Angélica e Santa Bárbara algumas das mais conhecidas. Cada uma dessas zonas de falha é composta por várias falhas individuais de tensão subsidiárias, a ângulos entre 35° a 45° da falha principal. Fazem parte desse sistema os lineamentos tectônicos expressivos que correspondem a zonas de falha de direção N15-30°E, que delimitam o alto de Caçapava

do Sul (Gastal & Ferreira, 2013). Outro lineamento importante é N60-70°E, marcada pela Zona de Falha Cerro da Cria, que controla o posicionamento dos granitos tardios Ramada e Cerro da Cria (Gastal & Ferreira, 2013). O SFCV é representado por fraturas tensionais NW, sem grande amplitude de rochas afetadas e muitas vezes são definidas em planos de falha onde as rochas são moderadamente brechadas ao longo de estreitas faixas (Ribeiro *et al.*, 1966). Muitas destas fraturas NW são preenchidas por diques de diabásio. Padrões de falhamentos E-W são identificados, porém, segundo Ribeiro *et al.* (1966), não se pode afirmar se essas estruturas fazem parte de um contexto regional devido às suas relações serem imperfeitamente conhecidas.

Trabalhos utilizando dados de levantamentos aerogeofísicos tiveram como objetivo compartimentalizar o ESrg em blocos geofísicos (e.g. Fernandes *et al.*, 1995) ou em domínios magnéticos (e.g. Travassos, 2014), baseado em descontinuidades profundas que apresentam algum sinal geofísico. Cada domínio magnético de Travassos (2014) é definido por lineamentos magnéticos regionais que podem ou não coincidir com as estruturas que delimitam as unidades geotectônicas do ESrg. Esses lineamentos magnéticos regionais têm, geralmente, orientação NE e representam estruturas que foram geradas principalmente durante a aglutinação do Supercontinente Gondwana, no Neoproterozoico (Oyhantçabal *et al.*, 2011; Passarelli *et al.*, 2011). Porém, ao analisar as imagens de Amplitude do Sinal Analítico (Figura 3A), nota-se uma importante frequência de lineamentos magnéticos de direção NW. Estas anomalias estariam relacionadas às estruturas de direção NW que cortam as rochas do ESrg, frequentemente preenchidas por diques associados ao vulcanismo da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, com trend estrutural compatível com o Arco Estrutural de Rio Grande (Gregory *et al.*, 2019a, 2019b).

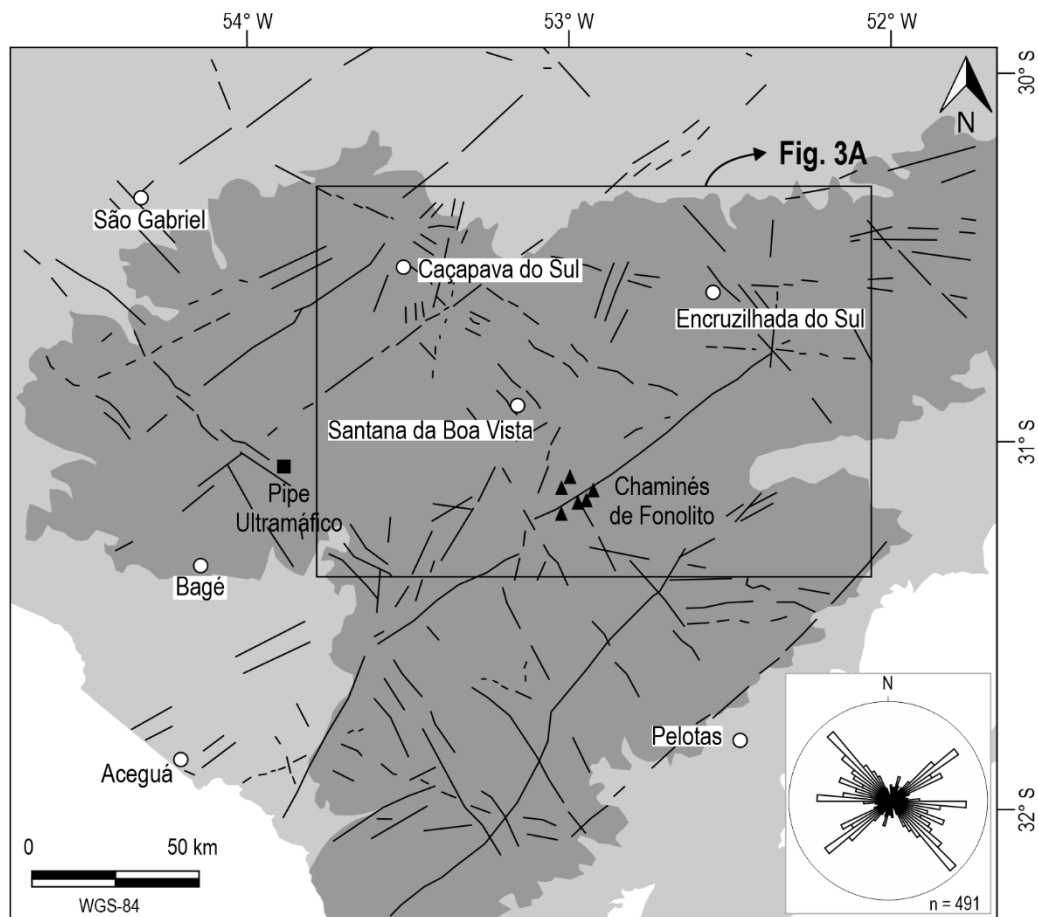


Figura 2. Lineamentos regionais do Escudo Sul-rio-grandense (em cinza escuro), segundo Ribeiro (1980).
 Figure 2. Regional lineaments of the Sul-rio-grandense Shield (in dark grey), after Ribeiro (1980).

2.3 Métodos

2.3.1 Sensoriamento Remoto

Foi elaborada pesquisa bibliográfica com foco em lineamentos geomorfológicos e anomalias magnéticas previamente reconhecidos. Por meio de imagens de satélite do software do *Google Earth Pro*®, foram marcados os principais acessos e zonas mais prováveis de ocorrências de afloramentos, delimitando assim a área de estudo. Esta etapa foi importante para o reconhecimento prévio da área e na preparação dos trabalhos de campo.

No software QGIS® realizou-se análises em modelos de relevo sombreado obtidos a partir do processamento de imagens do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). As cenas do sensor PALSAR utilizadas (ALPSRP261986560, ALPSRP261986570 e

ALPSRP271176560; resolução espacial de 12,5 m) datam de 25-12-2010 e 26-02-2011, e foram gratuitamente obtidas no endereço eletrônico:

<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. A iluminação solar do relevo sombreado utilizada foi de 045°, 090°, 315° e 360°, para melhor destacar, respectivamente, os lineamentos NW-SE, N-S, NE-SW e E-W.

Os lineamentos geomorfológicos foram manualmente interpretados em escalas 1:250.000 na área regional, e 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 na área de estudo. Dessa forma, foi possível observar se há ou não variações na frequência de direções de acordo com o detalhamento da escala. Os diagramas de rosetas dos lineamentos foram gerados pelo complemento *Line Direction Histogram*, no QGIS®.

Também foram interpretados lineamentos magnéticos em escalas de 1:100.000 e 1:50.000, a partir de dados de Amplitude do Sinal Analítico (Nabighian, 1972,

1974; Roest *et al.*, 1992). Considera-se lineamento magnético qualquer anomalia com a morfologia retilínea e alongada. Os dados magnéticos utilizados neste trabalho (Figura 3) foram identificados no reprocessamento de dados geofísicos em trabalhos anteriores (e.g., Costa, 2016; Faé *et al.*, 2017; Maran *et al.*, 2019, 2020) a partir do Banco de Dados do Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (GeoSGB – CPRM) e estudados em seu significado geológico (Tico & Gregory, 2018; Macedo, 2018; Gregory *et al.*, 2019a, 2019b; Sampaio, 2019). A escala de aquisição dos dados aeromagnéticos é de 1:50.000, devido ao levantamento aéreo do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul ter sido originalmente com linhas de voo com 500 m de espaçamento. Embora a imagem *raster* das anomalias tenha apenas uma escala, a análise de lineamentos em duas escalas diferentes torna possível comparar com os lineamentos geomorfológicos de mesma escala e verificar se há ou não uma sobreposição entre os dois tipos de lineamentos.

Todos os dados de imagens do *Google Earth Pro*® e ALOS PALSAR, a imagem *raster* das anomalias magnéticas ASA e demais arquivos em *shapefile* disponibilizados em sites específicos de geoprocessamento foram compilados e integrados utilizando o software livre QGIS®, versão 2.14.19 Essen.

2.3.2 Dados litológicos e estruturais de campo

Os trabalhos de campo realizados tiveram por objetivo caracterizar as estruturas (e.g., falhas e fraturas) superficiais que ocorrem sobre e nas proximidades da anomalia magnética principal. Trabalhos anteriores estimam uma profundidade rasa para a fonte magnética (e.g., Costa, 2016; Maran, 2019, 2020). A área de estudo caracteriza-se por relevos suaves e, conseqüentemente, a disponibilidade de afloramentos é escassa. Desta forma, os trabalhos de campo foram realizados preferencialmente ao longo das margens das drenagens e, no total, foram visitados 28 pontos, nos quais 19 apresentam dados estruturais relevantes. Os materiais básicos de

campo e transporte foram fornecidos pela Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. As rochas afloram em blocos e matacões, lajeados e em cortes de estrada, e foram descritas em escalas de afloramento e de amostra de mão. Porém, em vários pontos, encontravam-se bastante alteradas, tornando-se difícil a retirada de amostras. Durante a aquisição das medidas estruturais de fraturas e outras estruturas, optou-se pela notação *dip direction*, no qual a direção é coletada a partir da direção do mergulho (*dip*).

Para a análise estatística das famílias de fraturas, uma das metodologias mais utilizadas é a *Scanline Survey* (Priest & Hudson 1976, 1981; Watkins *et al.*, 2015), que consiste basicamente em medir o espaçamento e a densidade do fraturamento ao longo de perfis lineares (unidimensional). Neste trabalho, esta metodologia foi adaptada definindo-se uma área do afloramento com as melhores exposições de fraturas e deste modo determinou-se a densidade de fraturamento ao longo de perfis lineares, medidos com uma trena, sempre perpendiculares às famílias de fraturas. Conta-se a quantidade de fraturas de uma determinada orientação ao longo deste perfil e, assim, obtém-se o espaçamento médio. Para cada ponto foram elaborados entre dois e cinco perfis com a trena. Porém, como em cada ponto o comprimento da linha é variável, fez-se necessário, posteriormente, normalizar as medidas para um valor referencial em comum.

Com os dados estruturais de campo, foram elaboradas planilhas utilizando o software Excel®. Esta planilha foi exportada para o software Stereonet 10 (Cardozo & Allmendinger, 2013), onde foram gerados estereogramas e diagramas de rosetas de frequência absoluta de cada direção preferencial das famílias de fraturas. A projeção estereográfica de referência foi a rede de *Schmidt* (igual área). As amostras de campo foram descritas com lupa de mão e lupa de mesa do Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. Os resultados de campo foram comparados com os produtos gerados na etapa de sensoriamento remoto.

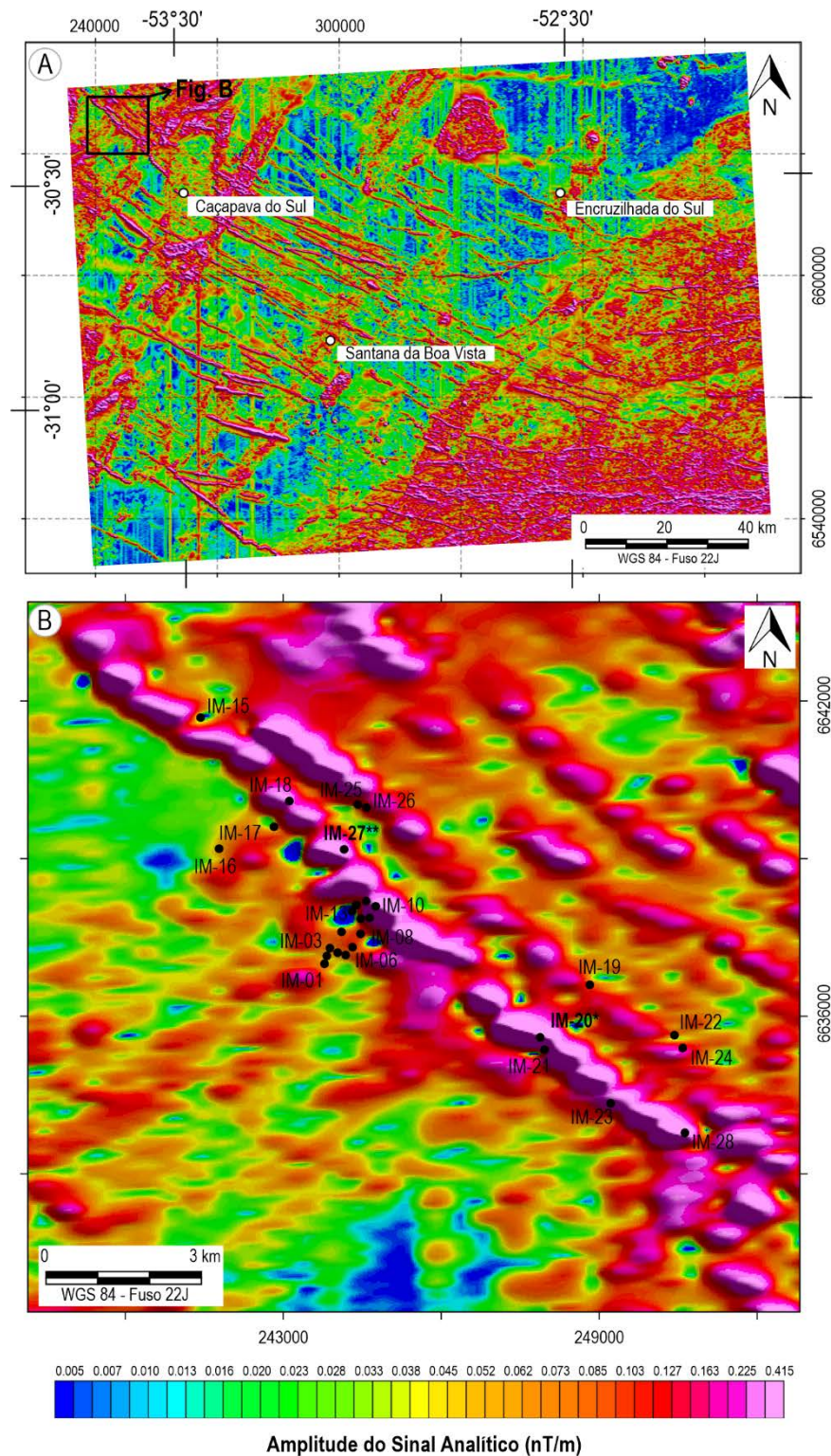


Figura 3. Mapa de imagem de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) reprocessada a partir dos dados geofísicos do Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (GeoSGB – CPRM) em trabalhos anteriores (e.g. Costa, 2016; Faé *et al.*, 2017; Maran *et al.*, 2019, 2020). A) Panorama geral; B) Detalhe da área de estudo, com os pontos visitados. *Ponto onde encontra-se o dique NW. **Ponto onde encontra-se as estruturas E-W da Figura 9I.

Figure 3. Image map of Analytical Signal Amplitude (ASA) reprocessed in previous works (e.g. Costa, 2016; Faé *et al.*, 2017; Maran *et al.*, 2019; 2020) from the geoscience system of the Geological Survey of Brazil (GeoSGB – CPRM) geophysical data. A) Overview; B) Detail of stud area, with visited points. *Location point of the NW dyke. **Location point of figure 9I E-W structures.

3 Resultados

3.1 Sensoriamento Remoto

Em todas as escalas analisadas ocorrem lineamentos geomorfológicos com um *trend* predominantemente NE-SW, seguidos de um *trend* NW-SE. Lineamentos E-W e N-S também foram verificados, porém em menor frequência com relação aos anteriores. Quanto maior o detalhamento da escala, mais frequentes tornam-se os lineamentos N-S e E-W com relação às direções NE-SW e NW-SE.

Em um contexto regional (Figura 4), os lineamentos NE-SW apresentam uma maior variedade de direções, desde N030°E até N060°E. Entretanto, há duas direções predominantes, representadas por grandes lineamentos N045°E e lineamentos N060°E mais fragmentados. Também ocorrem lineamentos N030°E bastante expressivos a leste da área de estudo. Os lineamentos NW-SE têm as direções N030°W e N045°W como as mais frequentes, sendo esta última representada por um lineamento bem marcado que corta a área de estudo, interrompida por um lineamento de direção N045°E. Ao observar a Figura 4 os lineamentos N-S tendem a ser mais extensos e mais frequentes que os de disposição E-W, que são mais compartimentalizados e menos representativos em escala regional (1:250.000).

Na área de estudo (Figura 5), em escala de 1:100.000, há maior representatividade de duas direções NE-SW: N030°E e, em seguida, N045°E. Quanto aos lineamentos NW-SE, mais prolongados do que aqueles de orientação NE-SW, prevalecem as direções N040°W e N060°W. Na escala 1:50.000, os lineamentos NE-SW variam suas direções num espectro de N030°E a N060°E, sem uma direção dominante. Existem duas direções importantes de lineamentos com orientação NW: N040°W predominante, seguida de N060°W. Na escala 1:25.000, os lineamentos NE-SW são os mais frequentes e concentram-se na direção N030-060°E, enquanto que os NW-SE estão restritos a N040-050°W. Nesta escala de semidetalhe, os lineamentos são descontínuos e há uma maior frequência de

lineamentos E-W e N-S, com relação às escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.

As anomalias magnéticas (Figura 6A e B) são feições lineares de direção predominantemente NW, onde se identificam interferências de lineamentos E-W. Na área de estudo percebe-se, frequentemente, uma sobreposição entre os lineamentos magnéticos e os lineamentos geomorfológicos.

Na escala 1:100.000 notam-se lineamentos E-W seccionando as anomalias magnéticas NW (Figura 6A). Na escala 1:50.000 é mais claro os deslocamentos das anomalias NW por estruturas E-W, que produzem um efeito "en echelon" nas anomalias NW (Figura 6B). Morfologias retilíneas, especialmente drenagens e cristas de relevo NW, estão paralelas e sobrepostas às anomalias NW. Portanto, pode-se considerar que é possível uma correlação entre os dois tipos de lineamentos (Figura 6C, D, E, F, G e H).

Os diagramas de rosetas dos lineamentos magnéticos (Figura 6E e G) apresentam em destaque a frequência de lineamentos L-W. Na escala de 1:100.000 (Figura 6E), observa-se maiores frequências de lineamentos magnéticos NW com relação à escala de 1:50.000. Entretanto, quando maior a escala de observação, mais fragmentadas e mais voltadas à direção E-W ficam as estruturas (Figura 5 e Figura 6C e D).

3.2 Aspectos geológicos e estruturais

Afloram na área de estudo rochas metavulcânicas, metaultramáficas e metacherts pertencentes ao Complexo Bossoroca (Gubert *et al.*, 2016), inclusas no Supercomplexo Vacacaí (Chemale Jr., 2000), e arenitos pertencentes ao Alogrupo Maricá (Paim *et al.*, 2014). Em campo, as rochas metavulcânicas e sedimentares são as mais comuns, enquanto os metacherts e as metaultramáficas ocorrem de forma pontual. Observam-se também zonas cataclásticas de direção NE marcadas por rochas de cor escura e brechas sedimentares com fragmentos pelíticos.

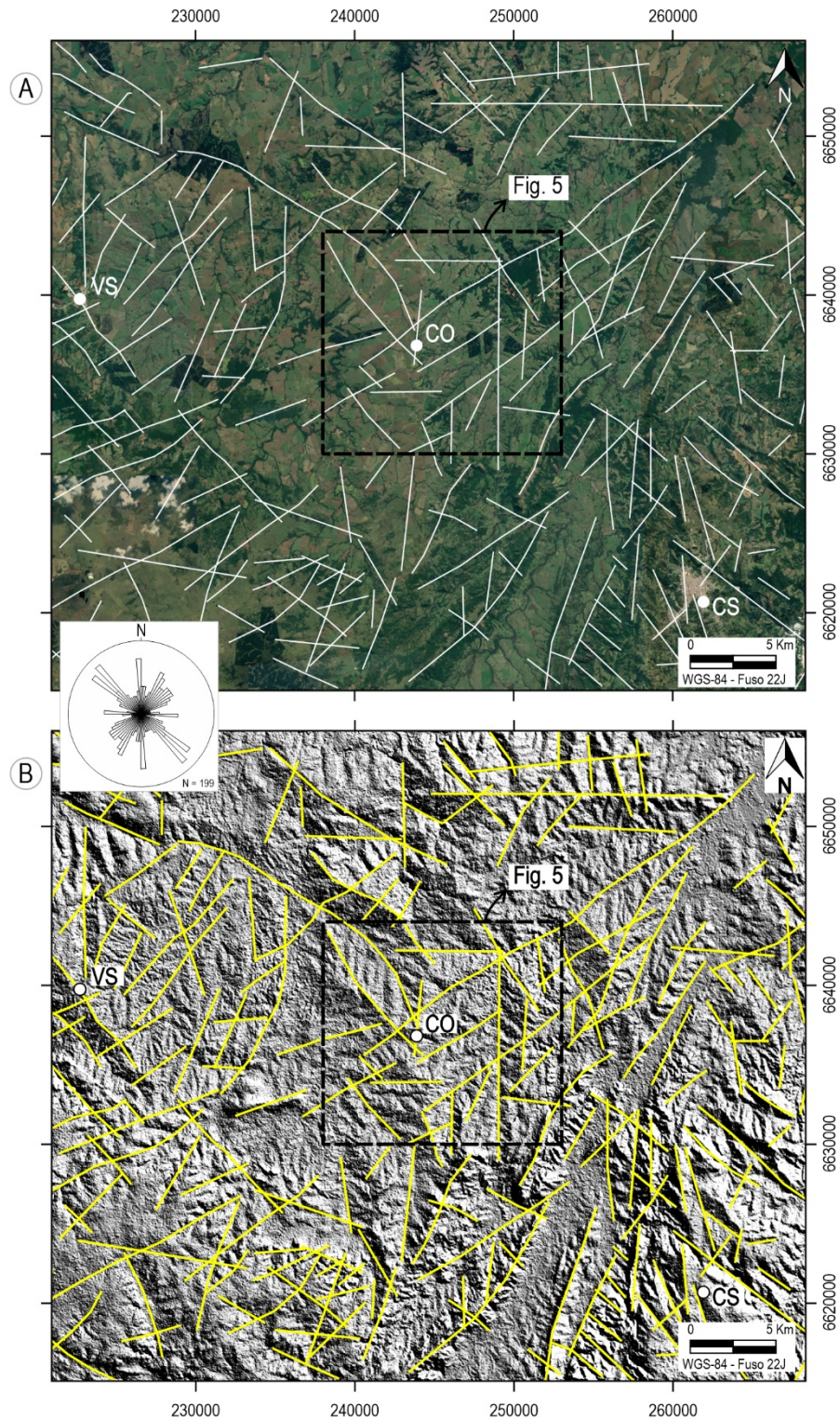


Figura 4. Lineamentos geomorfológicos interpretados em escala 1:250.000. A) Imagem do Google Earth; B) Imagem do modelo de relevo sombreado ALOS PALSAR com azimuth solar de 045° e exagero vertical em 3x. Diagrama de roseta apresenta intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%. Siglas: CO – Cerrito do Ouro; CS – Caçapava do Sul; VS – Vila Nova do Sul.

Figure 4. Geomorphological lineaments interpreted on the 1:250,000 scale. A) Google Earth image; B) ALOS PALSAR shaded relief model image with 045° solar azimuth and vertical exaggeration in 3x. Rose diagrams present 5° intervals and 10% maximum absolute frequency. Acronyms: CO – Cerrito do Ouro; CS – Caçapava do Sul; VS – Vila Nova do Sul.

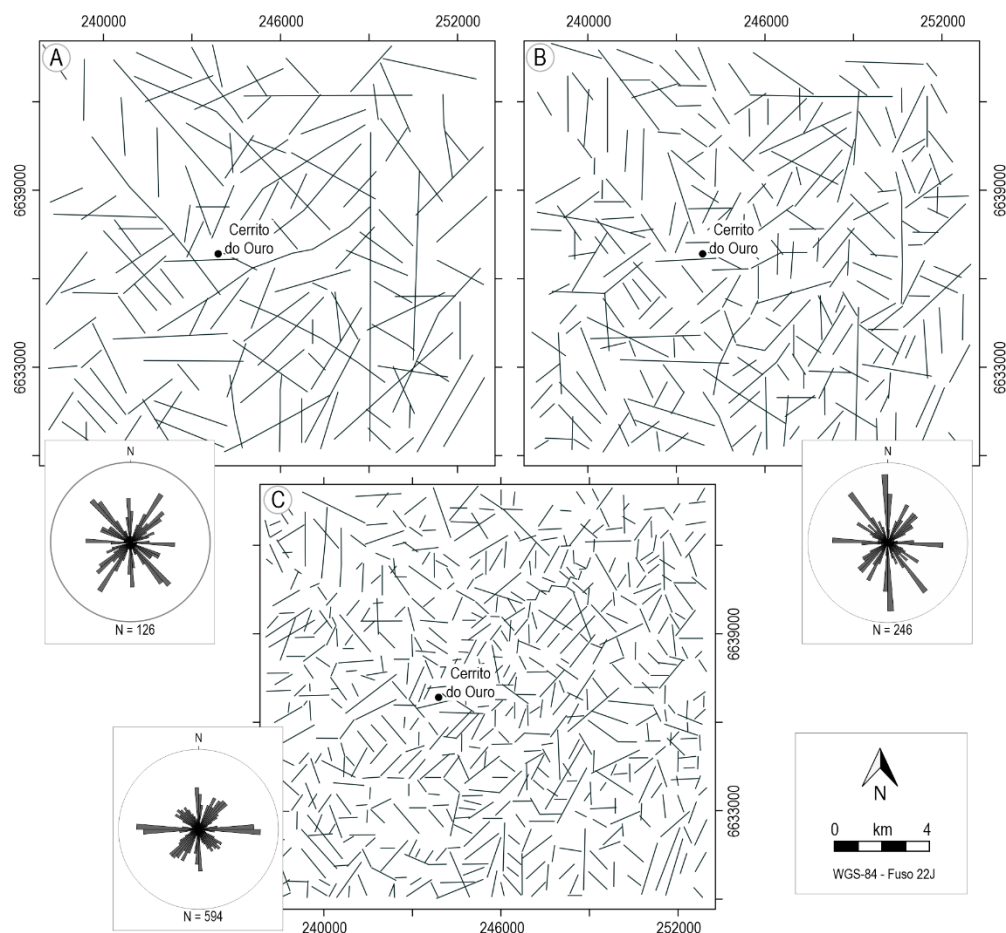


Figura 5. Lineamentos geomorfológicos interpretados na área de estudo e seus respectivos diagramas de rosetas com intervalos de 5° e frequência absoluta máxima de 10%. Escalas: A) 1:100.000; B) 1:50.000; C) 1:25.000.

Figure 5. Geomorphological lineaments interpreted in study area and their respective rose diagrams with 5° intervals and 10% maximum absolute frequency. Scales: A) 1:100,000; B) 1:50,000; C) 1:25,000.

As rochas metavulcânicas, de cor acinzentada (Figura 7A) a amarelada (Figura 7B), têm a foliação metamórfica em geral bem marcada e finamente espaçada. Em alguns pontos a textura é muito fina, semelhante a filitos (Figura 7B). As metaultramáficas, de cor que varia de alaranjado a rosado e com toque sedoso (Figura 7C), têm foliação metamórfica bem definida e afetada por dobras de crenulação, formando, por vezes, uma segunda foliação incipiente. Os metacherts (Figura 7D), de cor branca e textura granoblástica, têm a foliação metamórfica marcada por oxidações (Figura 7E) e destacam-se no relevo em lajeados e blocos de matações orientados a NE. Nas rochas metamórficas, a lineação mineral, quando ocorre, é incipiente.

Os arenitos, que variam desde finos a conglomeráticos, muitas vezes encontram-se

intercalados com pelitos e têm acamamento sedimentar basculado. A estrutura interna dos arenitos grossos a conglomeráticos intercala entre maciça e cruzada (Figura 7F) e nos arenitos de granulometria fina a média ocorre estratificação plano-paralela (Figura 7G). Além dessas rochas, há um dique máfico (Figura 7H) com aproximadamente 20 m de espessura e blocos de matação possivelmente da mesma rocha do dique. Os blocos estão dispostos nas margens de uma drenagem de orientação NW e o dique apresenta bandamento de fluxo (Figura 7I) que lembram estruturas de lava em corda. Em amostra de mão das duas rochas (Figura 7J e K), a textura é porfiritica, com uma matriz fanerítica muito fina de cor cinza escuro, com fenocristais de plagioclásio e piroxênio, de tamanho em média 1 mm, orientados aleatoriamente.

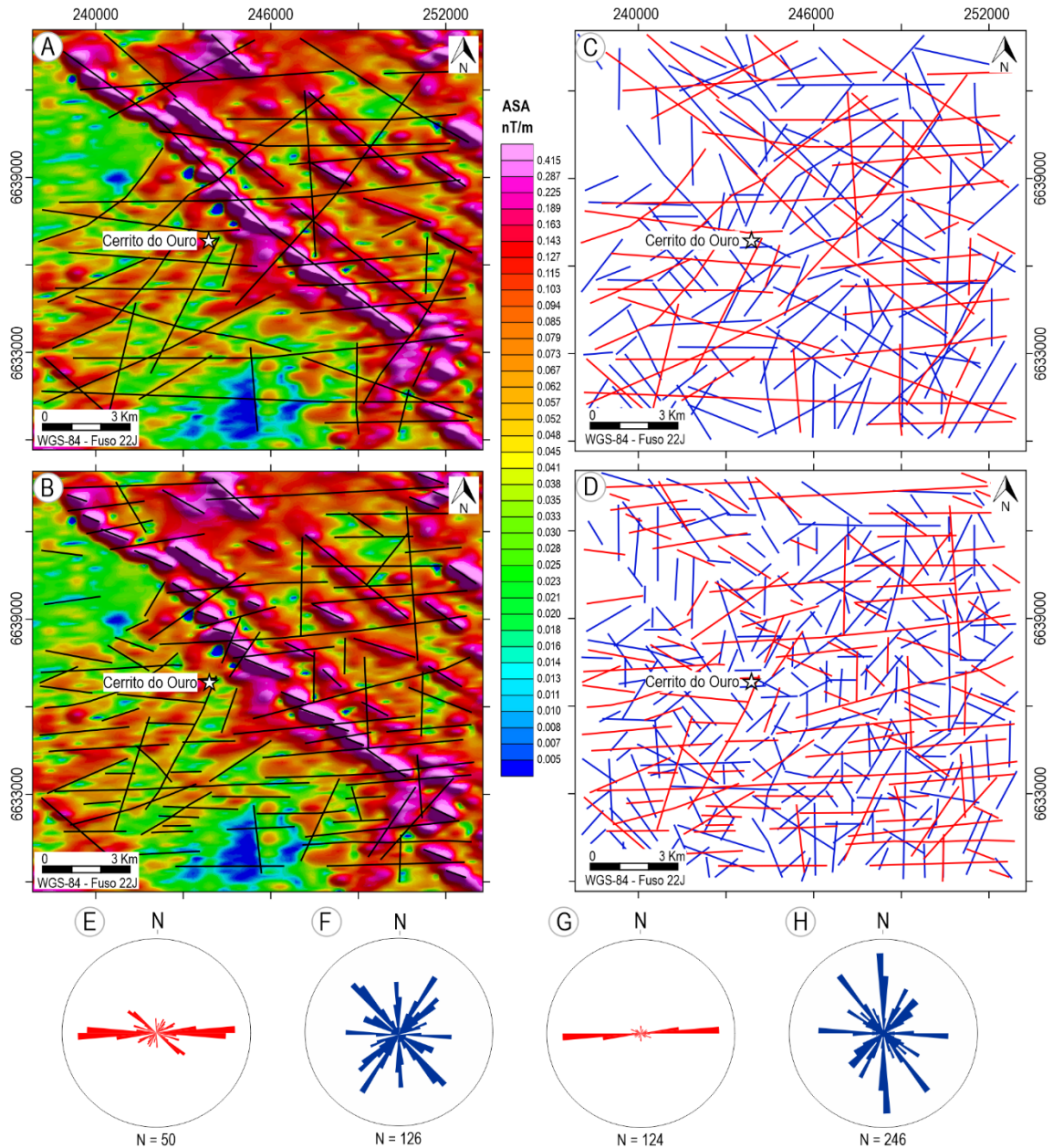


Figura 6. Interpretação de lineamentos magnéticos (mapa de Amplitude do Sinal Analítico), correlação com lineamentos geomorfológicos interpretados na área de estudo e seus respectivos diagramas de rosetas. Escalas: A, C, E e F) 1:100.000; B, D, G e H) 1:50.000. Linhas vermelhas: lineamentos magnéticos. Linhas azuis: lineamentos geomorfológicos.

Figure 6. Magnetic lineaments interpreted (Analytical Signal Amplitude map), correlation with geomorphological interpreted in the study area and its respective rose diagrams. Scales: A, C, E and F) 1:100,000; B, D, G and H) 1:50,000. Red lines: magnetic lineaments. Blue lines: geomorphological lineaments.

Independentemente do tipo de rocha, a foliação metamórfica (Figura 8A) apresenta direção preferencial de mergulho para NW e para NNW e WNW de forma secundária. O acamamento sedimentar (Figura 8A) mergulha para SE e NW, características que

indicam dobras em escala regional com eixo NE. Ambas estruturas apresentam médio a alto ângulo de mergulho. As fraturas (Figura 8B) medidas em campo têm direções preferencialmente NW-SE e NE-SW, de médio a alto ângulo de mergulho.

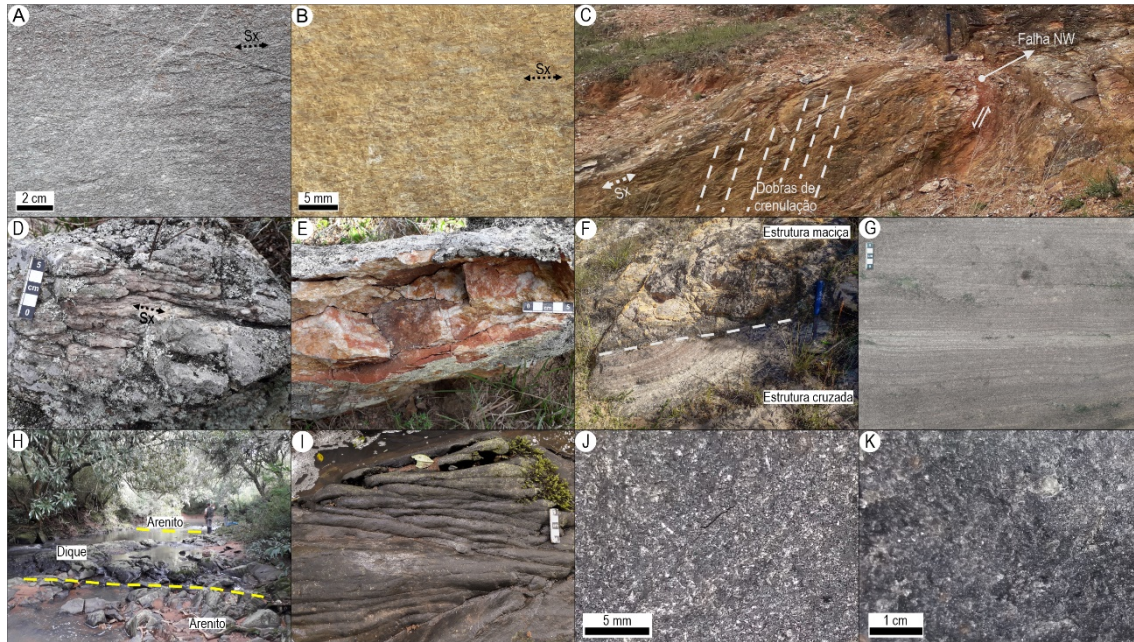


Figura 7. Aspectos de campo das rochas da área de estudo. A) e B) Detalhe de foliação metamórfica (Sx) em metavulcânicas; C) Afloramento de metaultramáfica alterada, com dobras de crenulação afetando a foliação metamórfica (Sx), e falha normal NW marcada por zona de alteração avermelhada; D) Foliação metamórfica (Sx) em metachert; E) Oxidação em metachert; F) Contato marcado pelo tracejado entre arenito grosso a conglomerático com estrutura maciça, e arenito fino a médio com estrutura cruzada; G) Estratificação plano-paralela do arenito; H) Aspecto de campo do dique máfico; I) Detalhe do bandamento de fluxo do dique, lembrando lavas em corda; J) Aspecto textural do dique; K) Aspecto textural de bloco de matacão de rocha semelhante à do dique. Pontos: A) IM-15; B) IM-27; C) IM-25; D) IM-26; E) IM-26; F) IM-07; G) IM-19; H) IM-20; I) IM-20, J) IM-20; K) IM-13.

Figure 7. Study area rocks field aspects. A) and B) Detail of metamorphic foliation (Sx) in metavolcanic; C) Outcrop of metaultramaphic altered, with metamorphic foliation (Sx) affected by crenulation folds and NW normal fault marked by alteration zone red-coloured; D) Metamorphic foliation (Sx) in metachert; E) Oxidation in metachert; F) Contact marked by tracing between the coarse to conglomeratic sandstone with massive structure, and fine to medium sandstone with cross structure; G) Parallel plane stratification in sandstone; H) Mafic dyke field aspect; I) Detail of dyke flow banding, remembering pahoe-hoe; J) Dyke textural aspect; K) Textural aspect of boulder block rock similar to the dyke. Points: A) IM-15; B) IM-27; C) IM-25; D) IM-26; E) IM-26; F) IM-07; G) IM-19; H) IM-20; I) IM-20, J) IM-20; K) IM-13.

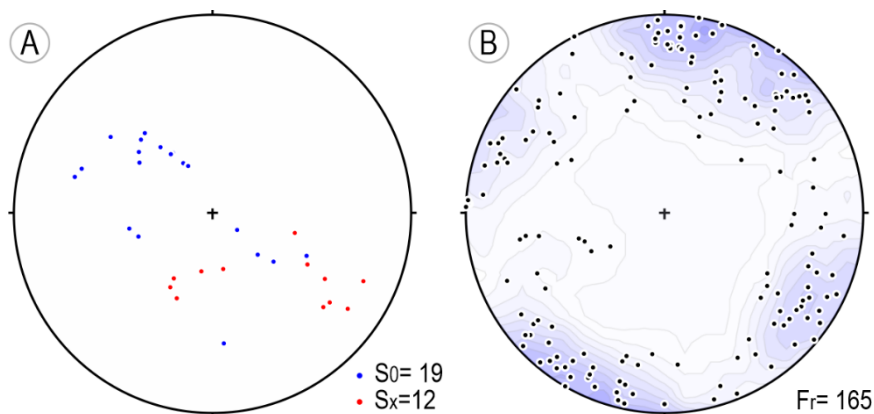


Figura 8. Estereogramas (rede equiárea) das estruturas planares medidas em campo. A) Polos do acamamento sedimentar (S0, em azul) e da foliação metamórfica (Sx, em vermelho). B) Polos das fraturas (Fr).

Figure 8. Planar structures stereograms (equal area). A) Sedimentary bedding (S0, in blue) poles and metamorphic foliation (Sx, in red) poles; B) Fractures (Fr) poles.

As relações de corte mostram o sistema de fraturas NE-SW mais antigo do que o sistema NW-SE (Figura 9A), fraturas NE-SW mais recentes que fraturas NW-SE (Figura 9B) e fraturas E-W e N-S mais recentes do que as outras anteriores (Figura 9C e D). Em zonas onde existem lineamentos magnéticos NW,

ocorrem as seguintes particularidades: as fraturas de direção NW mostram-se mais densas e com espaçamento reduzido (Figura 9E), formando clivagem de fratura, e é comum essas fraturas estarem preenchidas por minerais de calcita e quartzo (Figura 9F).

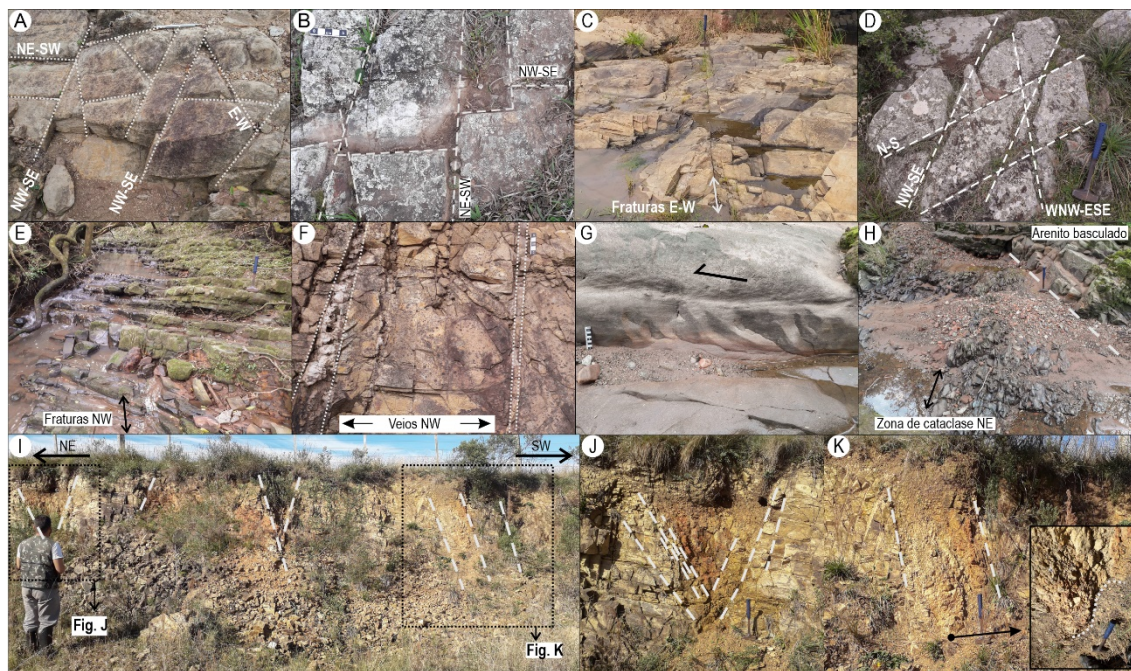


Figura 9. Fotografias com exemplos de litologias e estruturas da área de estudo. A) Detalhe das fraturas NW segmentando fraturas NE em metavulcânica; B) Fraturas NE-SW cortando e deslocando fraturas NW-SE em metachert; C) Fraturas E-W em metavulcânica, cortando todas as fraturas de outras direções; D) Lajeado com conjugado de fraturas NW cortado por fraturas N-S em arenito; E) Padrão de fraturamento NW bem marcado em arenito intercalado com siltitos, paralelo à drenagem; F) Detalhe de veios de quartzo em fraturas NW; G) Detalhe da superfície de falha NE transcorrente sinistral em arenito; H) Zona de cataclase de orientação NE em arenito; I) Estruturas de transcorrência em rocha metavulcânica. As zonas de fraturas estão destacadas pelo tracejado; J) Falha com espalhamento para cima, sugerindo ser uma estrutura em flor positiva, a NE do afloramento; K) Falha com espalhamento para cima, a SW do afloramento. O detalhe mostra uma perspectiva de cima da dobra de arraste (marcada pelo tracejado) com eixo com alto caimento aparente. Pontos: A) IM-18; B) IM-26; C) IM-17; D) IM-24; E) IM-23; F) IM-27; G) IM-19; H) IM-19, I) IM-27.

Figure 9. Photographs with examples of lithology and structures identified in the study area. A) Detail of NW fractures segmenting NE fractures in metavolcanic; B) NE-SW fractures cutting and displacing NW-SE fractures in metachert; C) E-W fractures in metavolcanic, cutting all fractures of other directions; D) Plant outcrop with NW conjugated fractures cut off by N-S in sandstone; E) NW fracturing pattern well marked in sandstone intercalated by siltstones, parallel to the stream; F) Quartz NW veins detail; G) Detail of NE transcurrent sinistral fault surface in sandstone; H) NE Cataclastic zone in sandstone; I) Transcurrent structures in metavolcanic. The fracture zones highlighted by the dash; J) Fault with up spread, suggesting that to be a positive flower structure, at NE of outcrop; K) Fault with spread up, at SW of the outcrop. The detail shows a perspective above the drag fold (dashed line) with an apparent high rake axis. Points. A) IM-18; B) IM-26; C) IM-17; D) IM-24; E) IM-23; F) IM-27; G) IM-19; H) IM-19, I) IM-27.

Ocorre uma falha normal NW destacada na Figura 7C, na porção NW da área de estudo, numa anomalia magnética secundária; a SE da

área de estudo, também numa zona de anomalia mais fraca, as fraturas que mais predominam são de direção NW, apesar de

ocorrer uma falha transcorrente NE (Figura 9G) e uma zona de cataclase NE (Figura 9H). O dique localiza-se em um pico máximo de anomalia magnética positiva enquanto os blocos de matacão possivelmente da mesma rocha do dique estão em um ponto com anomalia magnética também forte. Em uma região onde há um lineamento E-W que desloca os lineamentos magnéticos NW, verificam-se falhas de direção aproximadamente E-W, apresentando estruturas em flor com espalhamento para cima, o que pode caracterizar uma zona de transcorrência com uma componente compressional (Figura 9I).

A partir dos dados da Tabela 1, em conjunto com os diagramas de rosetas (Figura

10), nota-se uma frequência maior de fraturas NW em pontos onde há anomalia magnética NW identificada. Também se percebe que há uma frequência significativa de fraturas E-W em locais onde há deslocamentos de anomalia NW por lineamentos E-W. As fraturas mais frequentes, no total, são as de direção NW-SE, seguindo das de direção NE-SW, E-W, WNW-ESE e ENE-WSW. Fraturas NNE-SSW, NNW-SSE e N-S são as menos frequentes nos pontos onde foram medidos o espaçamento por linha. Em regiões fora dos lineamentos magnéticos, as fraturas NW-SE tornam-se menos frequentes e fraturas NE-SW são mais observadas.

Tabela 1. Densidade de fraturas nos pontos onde foram medidos o espaçamento por linha. Medidas convertidas para 1 m de linha. Em negrito, pontos sob a anomalia magnética NW.

Table 1. Fracture density at the points where line spacing was measured. Measures converted to 1 m of line. In bold, points under the NW magnetic anomaly.

Ponto	NNE	NE	ENE	E-W	WNW	NW	NNW	N-S
IM-15	-	1,1	-	4,5	1,2	-	3,3	0,1
IM-16	10,0	-	-	6,3	-	0,6	0,7	-
IM-17	3,3	3,3	-	5,2	-	8,7	-	-
IM-18	-	4,0	-	3,3	-	7,5	-	-
IM-19	-	0,6	-	0,7	-	1,2	-	-
IM-20*	-	2,5	1,7	1,8	3,5	15,0	-	-
IM-22	-	10,0	-	2,6	2,7	-	-	-
IM-23	-	2,3	-	-	-	10,3	-	-
IM-25	-	5,0	-	-	-	10,0	-	-
IM-27**	-	-	-	12,0	15,0	-	-	-
IM-28	-	-	-	-	-	8,0	-	2,0

*Ponto onde encontra-se o dique NW. **Ponto onde encontra-se as estruturas E-W.

*Location point of the NW dyke. **Location point of figure 9I E-W structures.

4 Discussões e Conclusões

A partir da análise das imagens de relevo sombreado (Figura 4 e Figura 5), em todas as escalas, os lineamentos que predominam são os de orientação NE-SW e, secundariamente, os de orientação NW-SE. Isto corrobora com o que é visto na literatura: os sistemas de falhas e fraturas desta porção do ESrg apresentam um padrão geral NE predominante, seguindo de um padrão NW menos significativo (Ribeiro *et al.*, 1966; Picada, 1968, 1971). A frequência dos lineamentos E-W aumenta de acordo com o

detalhamento da escala de análise (Figura 5). Ribeiro *et al.* (1966) mencionam um padrão E-W e N-S nesta porção do ESrg, porém não é clara a ocorrência de um sistema regional de fraturas. Não há na literatura um destaque para as ocorrências de sistemas de fraturas E-W e N-S para o ESrg, com a exceção do Sistema de Falhas Pinheiro Machado, de orientação N-S (Picada, 1968, 1971) e de expressão regional.

Ao sobrepor as imagens dos lineamentos magnéticos e geomorfológicos (Figura 6C e D), percebe-se uma correspondência entre os dois tipos de lineamentos, mais visível com relação à

direção NW. Isto sugere que há uma relação entre as anomalias magnéticas NW e lineamentos geomorfológicos de mesma direção na área de estudo. Da mesma forma, existe uma associação entre anomalias magnéticas, sistemas de fraturas e enxames

de diques para o Arco Estrutural de Ponta Grossa, no Paraná (Ferreira 1983; Ussami *et al.*, 1991; Strugale *et al.*, 2007; Hartmann *et al.*, 2016) e para o Escudo Catarinense (Jacques *et al.*, 2014), também apontado por Gregory *et al.* (2019a) para o ESrg.

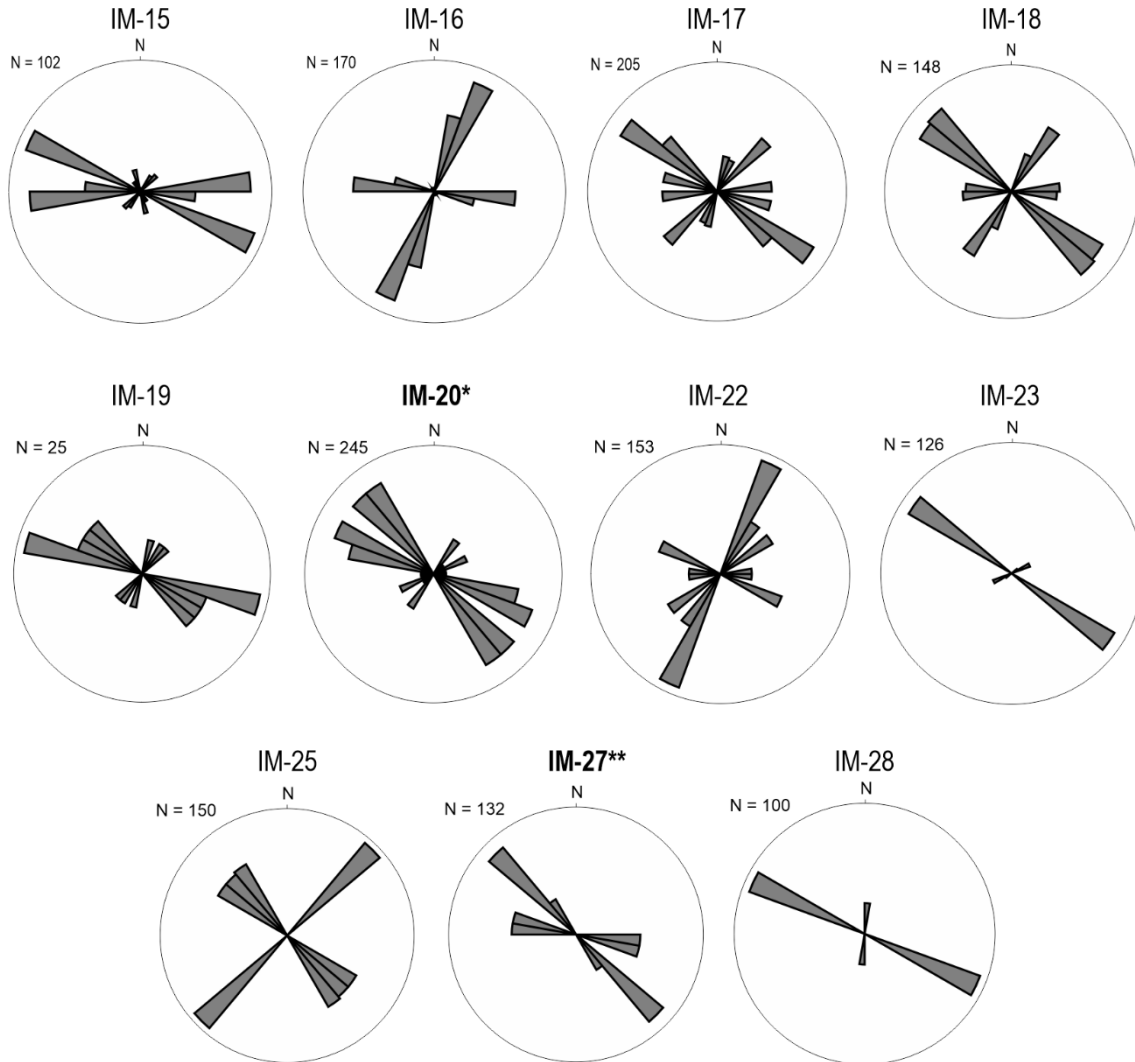


Figura 10. Diagramas de rosetas dos dados de campo normalizados para 10 m de linha (para realçar o contraste de frequência). Em negrito: pontos sobre anomalia magnética. *Ponto onde encontra-se o dique NW. **Ponto onde encontra-se as estruturas E-W da Figura 9I.

Figure 10. Rose diagrams of field data normalized to 10 m line (to emphasize the frequency contrast). In bold points above magnetic anomalies. *Location point of the NW dyke. **Location point of Figure 9I E-W structures.

Os diagramas de rosetas dos lineamentos geomorfológicos e magnéticos (Figuras 4, 5 e 6) expõem variações na frequência das direções de acordo com a escala. Estruturas que em escala regional apresentam apenas um traço longo, em escala de detalhe são compostas por vários segmentos, o que consequentemente

modifica a frequência dos lineamentos nos diagramas de rosetas, conforme também verificado por Jacques *et al.* (2010). Os diagramas de roseta de frequência das fraturas vistas em campo mostram também uma correlação com os dados de sensoriamento remoto. Os pontos onde foram identificadas maiores frequências de fraturas

correlacionam-se aos lineamentos magnéticos verificados no sensoriamento remoto (Figura 6). Em campo, onde encontra-se o dique (IM-2, Tabela 1, Figura 7H e Figura 10) e o lineamento magnético NW (Figura 3), observa-se densidade de fraturas de direção NW maiores do que em outras localidades investigadas. Também se observam maiores densidades de fraturas E-W (IM-27, Tabela 1, Figuras 3, 9I e 10) nas zonas onde identificam-se lineamentos E-W segmentando lineamentos magnéticos NW (Figura 6).

As fraturas NE e NW (Figura 9A e B) são as mais finamente espaçadas e ocorrem em maior densidade nos diagramas de rosetas (Tabela 1 e Figura 10). Densidades maiores de fraturas indicam fraturamento em escala regional, evidenciada pela zona de cataclase de direção NE (Figura 9H), bem como por uma zona de fraturas NW (Figura 9E) vista em campo e também no mapa de relevo sombreado (Figura 4). As fraturas N-S e E-W encontram-se cortando outras fraturas (NE e NW, Figura 9C e D), sendo assim mais jovens, e apresentam espaçamento maior e menor densidade (Tabela 1 e Figura 10). Porém, fraturas E-W mais frequentes em zonas onde há um deslocamento de lineamentos magnéticos NW por lineamentos E-W (Tabela 1 e Figura 10) e a presença de uma estrutura em flor (Figura 9I) verificada em campo são indicativos de que os lineamentos E-W verificados no sensoriamento remoto não devem ser negligenciados, visto o vínculo que apresentam com os dados de campo.

A fragmentação do supercontinente Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico permitiram o soerguimento de arcos estruturais do embasamento e reativações de estruturas rúpteis no sul do Brasil (Almeida, 1977, 2000; Zeffass *et al.*, 2005), sendo essas últimas preenchidas por diques de diabásio (Almeida *et al.*, 1977, 1981; Almeida *et al.*, 2000; Ribeiro, 1980). O final do Cretáceo se caracteriza por ocorrências de intenso magmatismo basáltico e alcalino logo após a quebra do supercontinente Gondwana (Campos *et al.*, 1974; Fúlfaro *et al.*, 1997; Gibson *et al.*, 1999). Assim, se as anomalias magnéticas do ESrg têm como fontes causativas minerais com alta susceptibilidade magnética que compõem os diques (Lowrie,

2007; Kearey *et al.*, 2009), os lineamentos magnéticos de direção NW indicados na área de estudo devem corresponder a zonas de fissuras orientadas na mesma direção. Essas zonas de fissuras estariam próximas ao eixo do Arco Estrutural de Rio Grande, uma flexura positiva da crosta também orientada segundo NW-SE (Stanford & Lange, 1960; Almeida, 1983, 1986; Almeida *et al.*, 1996).

As características de campo das fraturas NW (e.g., Figura 9F) permitem considerá-las como estruturas extensionais (Ribeiro *et al.*, 1966; Picada, 1971). Segundo Ribeiro *et al.* (1966) e Picada (1971), as zonas de falha e fraturas NW desta porção do ESrg são tensionais, com rejeitos predominantemente verticais, muitas preenchidas por veios de sílica e diques de diabásio. Portanto, a densidade das fraturas NW em zonas de lineamentos magnéticos (Tabela 1 e Figura 10), aliada à presença da falha normal NW (Figura 7C) e do dique máfico localizado em pico máximo de uma anomalia magnética positiva (Figura 7H), são indicativos de que os lineamentos magnéticos estudados representam zonas de fissuras.

No mapa de Amplitude do Sinal Analítico (Figura 6) foi possível visualizar lineamentos E-W que aparentemente deslocam os lineamentos magnéticos de direção NW. Considerando que as fontes causativas desses lineamentos na área de estudo e entorno são diques possivelmente associados ao vulcanismo Serra Geral da Bacia do Paraná (Gregory *et al.*, 2019a, 2019b), os lineamentos E-W devem representar sistemas de fraturas E-W obrigatoriamente posteriores às estruturas rúpteis NW-SE, provavelmente relacionados a estruturas de transcorrência decorrentes da abertura do Oceano Atlântico (Almeida, 2006). A estrutura em flor (Figura 9I) vista em campo em um ponto sob a anomalia magnética (Figura 3B) é um indicativo de que isso possa ser válido nesta escala de campo, uma vez que esse tipo de estrutura está associada a regimes de transcorrência (Christie-Blick & Biddle, 1985).

Apesar das relações de corte vistas em campo (Figura 9) e da colocação dos eventos em uma ordem cronológica no Quadro 1, não existe um consenso para a caracterização precisa das idades dos lineamentos e sistemas

de fraturas da área de estudo. Esses sistemas foram reativados (Figura 9A e B) no decorrer do tempo geológico (Picada, 1971), especialmente durante as fases de ativação da Plataforma Sul-Americana no Mesozoico e evolução da margem passiva no Cenozoico

(Almeida *et al.*, 1977, 2000; Cobbold *et al.*, 2001; Meisling *et al.*, 2001; Salomon *et al.*, 2015). Portanto, torna-se complicado considerar paleo tensores, devido à sobreposição de estruturas e uma deformação rúptil polifásica.

Quadro 1. Principais eventos tectônicos na área de estudo de acordo com as relações de campo e o seu significado tectônico.

Chart 1. The main tectonic events in the study area according to field relationship and their tectonic significance.

Principais eventos tectônicos	Descrição
Fase final de abertura do oceano e oceano aberto	• Reativação de fraturas NE antigas (Figura 9B) e fraturas N-S associadas a uma tectônica mais recente (Figura 9D); • Fraturas e lineamentos E-W cortando e deslocando fraturas NW e lineamentos magnéticos associados a diques NW possivelmente alimentadores do Vulcanismo Serra Geral (<i>e.g.</i> Figura 9I; Gregory <i>et al.</i> 2019a; 2019b); • Consolidação e espalhamento lateral do oceano Atlântico Sul (<i>e.g.</i> Asmus & Baisch; Salomon <i>et al.</i>, 2017);
Fase inicial de abertura do oceano	• Preenchimento de fraturas NW por diques possivelmente alimentadores do Vulcanismo Serra Geral (<i>e.g.</i>, Almeida <i>et al.</i>, 2000; Gregory <i>et al.</i>, 2019a, 2019b); • Reativação de Fraturas NW (Figura 9A) bem como formação de novas fraturas NW (<i>e.g.</i>, Almeida <i>et al.</i>, 2000; Salomon <i>et al.</i>, 2017); • Reativação da Plataforma Sulamericana (Almeida <i>et al.</i> 2000) no Mesozoico;
Fase Intraplaca	• Soerguimento do embasamento cristalino e formação do Arco Estrutural de Rio Grande (<i>e.g.</i>, Asmus & Baisch); • Fraturas NE e NW pré-existentes desde o Pré-Cambriano (<i>e.g.</i>, Ribeiro <i>et al.</i>, 1980).

Contudo, pode-se afirmar que os sistemas de fraturas de direção NE (Figura 9G e H) são os mais antigos, visto serem cortados pelos demais e serem os mais densamente frequentes em locais onde há lineamentos geomorfológicos de direção NE identificados na imagem de relevo sombreado em escala regional (1:250000 e Figura 4). Sua origem está relacionada à aglutinação do Supercontinente Gondwana no final do Neoproterozoico (Picada, 1968, 1971; Ribeiro *et al.*, 1980; Oyhançabal *et al.*, 2011; Passarelli *et al.*, 2011). Os sistemas de fraturas de direção NW também ocorrem desde o pré-

cambriano, mas apresentam importância secundária e subsidiária aos NE (Ribeiro *et al.*, 1966; Picada, 1968; Tessari & Picada 1968, 1970; Ribeiro, 1970, 1980) com relação à frequência observada em imagem de relevo sombreado (Figuras 4 e 5) e densidade de fraturamento visto em campo (Figuras 9E, 10 e Tabela 1). As fraturas NW foram continuamente preenchidas por diques (Figura 7H, I e J) e veios (Figura 9F), bem como novas fraturas de mesma direção também surgiram durante a abertura do Oceano Atlântico Sul (Salomon *et al.*, 2017). Os lineamentos e as fraturas E-W e N-S devem

ocorrer em resposta a um evento posterior, dado que são frequentemente encontradas segmentando fraturamentos mais antigos de outras direções (Figura 9C e D), quando o Oceano Atlântico já estava aberto e o vulcanismo Serra Geral já consolidado.

Agradecimentos. Este trabalho é o resultado do Trabalho de Conclusão de Curso de I.C.M. de Souza e é parte do Projeto de Pesquisa “Investigação de lineamentos magnéticos no Rio Grande do Sul”, coordenado pelo Professor Tiago Rafael Gregory e registrado no sistema de projetos de pesquisa da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul, a qual forneceu a infraestrutura para os trabalhos de campo. Os autores agradecem aos revisores pelas sugestões e correções que aprimoraram este trabalho.

Referências

- Almeida, F.D., Hasui, Y., Brito Neves, B.D. & Fuck, R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *In: VIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, Campina Grande, 1977. *Atas...* Campina Grande, SBG, v. 8, p. 363-391.
- Almeida, F.D., Hasui, Y., Brito Neves, B.D. & Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1): 1-29.
- Almeida, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3): 139-158.
- Almeida, F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozoico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(4): 325-349.
- Almeida, F.F.M., Carneiro, C.D.R. & Mizusaki, A.M.P. 1996. Correlação do magmatismo das bacias da margem continental brasileira com o das áreas emersas adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(3): 125-138.
- Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B. & Carneiro, C.D.R. 2000. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth-Science Reviews*, 50(1-2): 77-111.
- Almeida, F.F.M. 2006. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terræ Didactica*, 2(1): 3-18.
- Asmus, H.E. & P.R. Baisch. 1983. Geological evolution of the Brazilian continental margin. *Episodes*, 4: 3-9.
- Campos C.W.M., Ponte F.C. & Miura K. 1974. Geology of the Brazilian Continental Margin. *In: Burk C.A., Drake C.L. (Eds). The Geology of Continental Margins*. Berlin, Heidelberg, Springer, p. 447-461.
- Cardozo, N. & Allmendinger, R.W. 2013. Spherical projections with OSXStereonet. *Computers & Geosciences*, 51: 193-205.
- Chemale Jr., F., Hartmann, L.A. & Silva, L.C. 1995. Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, 10: 151-166.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. *In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p.13-52.
- Christie-Blick, N. & Biddle, K.T. 1985. Deformation and basin formation along strike-slip faults. *In: Biddle, K.T. & Christie-Blick, N. (Eds). Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 37: 1-35.
- Cobbold, P.R., Meisling, K.E. & Mount, V.S. 2001. Reactivation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, 85(11), 1925-1944.
- Costa, V.H.H. 2016. *Contribuição geofísica ao estudo de parte do Terreno São Gabriel – Escudo Sul-riograndense, Rio Grande do Sul – Brasil, através da aeromagnetometria e aerogamaespectrometria*. Caçapava do Sul, 127p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geofísica, Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul.
- Faé, Y.A., Gregory, T.R. & Guadagnin, F. 2017. Investigação de Lineamentos Magnéticos no Rio Grande do Sul: Um Estudo Preliminar. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE PESQUISA E EXTENSÃO*, 9., 2017, Santana

- do Livramento. *Anais...* Santana do Livramento, UNIPAMPA.
- Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E.E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense: Parte II - uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 375-384.
- Ferreira, F.J.F. 1983. *Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa*. São Paulo, 196p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Fulfaro, V.J., Saad, A.R., Perinotto, J.A.D.J., Etoherehere, M.L.C. & Verolavsky, G. 1997. Paraná Basin: Mineral Resource Potentials in Brazil, Uruguay, and Paraguay. *International Geology Review*, 39(8): 703-722.
- Gastal, M.C. & Ferreira, F.J.F. 2013. Discussão dos processos de construção do complexo granítico São Sepé, RS: feições geológicas e petrográficas. *Pesquisas em Geociências*, 40(3): 233-257.
- Gibson, S.A., Thompson, R.N., Leonardos, O.H., Dickin, A.P. & Mitchell, J.G. 1999. The limited extent of plume-lithosphere interactions during continental flood-basalt genesis: geochemical evidence from Cretaceous magmatism in southern Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 137(1-2): 147-169.
- Gregory, T.R., Guadagnin, F., Fae, Y.A. & Macedo, R.A.M. 2019a. Significado de lineamentos magnéticos no Escudo Sul-Rio-Grandense: Resultados preliminares. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, XI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONIS, XI SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2019, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves, UFRGS, v. 1, p. 88.
- Gregory, T.R., Guadagnin, F. & Tico, H.N. 2019b. Determinação automática de Lineamentos Magnéticos no Escudo Sul-Riograndense: Comparação com dados manuais e de campo. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, XI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONIS, XI SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2019, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves, UFRGS, v. 1, p. 347.
- Gubert, M.L., Philipp, R.P. & Basei, M.A.S. 2016. The Bossoroca Complex, São Gabriel Terrane, Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil: UPb geochronology and tectonic implications for the Neoproterozoic São Gabriel Arc. *Journal of South American Earth Sciences*, 70: 1-17.
- Hartmann, L.A., Chemale Jr., F. & Philipp, R.P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Eds.). *50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre, Comunicação e Identidade*, p. 97- 123.
- Hartmann, L.A., Lopes, W.R. & Savian, J.F. 2016. Integrated evaluation of the geology, aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-Riograndense Shield, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(1): 75-92.
- Jacques, P.D., Machado, R. & Nummer, A.R. 2010. Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM. *Pesquisas em Geociências*, 37(2): 117-131.
- Jacques, P.D., Machado, R., Oliveira, R.G.D., Ferreira, F.J.F., Castro, L.G.D. & Nummer, A.R. 2014. Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 44(1): 39-54.
- Janikian, L., Almeida, R.P., Fragoso-Cesar, A.R.S. & Fambrini, G.L. 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozoico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(4): 349-362.
- Jost, H., Frantz, J.C. & Brod, J.A. 1984. Revisão da tipologia, cronologia e significado geotectônico dos falhamentos do Escudo Sul-RioGrandense. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 3, p. 1707-1720.
- Kearey, P., Brooks, M. & Hill, I. 2009. *Geofísica de Exploração*. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos. 438 p.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 381p.
- Macedo, R.A.M. 2018. Significado geológico de uma anomalia geofísica aeromagnética no Escudo Sul-rio-grandense. Caçapava do Sul, 45p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul.
- Maran, E.A.S., Gregory, T.R. & Guadagnin, F. 2019. Contribuição geofísica na parte noroeste do Escudo Sul-rio-grandense. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 11., 2019. *Anais...* Santana do Livramento, UNIPAMPA.
- Maran, E.A.S., Gregory, T.R. & Guadagnin, F. 2020. Contribuição Geofísica na parte noroeste do Escudo Sul-rio-grandense - Parte 2. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 12., 2020. *Anais...* Santana do Livramento, UNIPAMPA.
- Meisling, K.E., Cobbold, P.R. & Mount, V.S. 2001. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, 85(11): 1903-1924.
- Nabighian M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3): 507-517.
- Nabighian M.N. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, 39(1): 85-92.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. & Passchier, C.W. 2011. The transpressional connection between Dom Feliciano and Kaoko belts at 580–550 Ma. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3): 379-390.
- Paim P.S.G., Lopes R.C. & Chemale Jr., F. 1995. Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã -Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6/ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, I., Porto Alegre, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Porto Alegre, SBG, p. 39-50.
- Paim, P.S.G.; Lopes, R.C. & Chemale Jr., F. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 231-274.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. & Wildner, W. 2014. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). *Ciência e Natura*, 36(3): 183-193.
- Passarelli, C.R., Basei, M.A.S., Wemmer, K., Siga Jr., O. & Oyhantçabal, P. 2011. Major shear zones of southern Brazil and Uruguay: escape tectonics in the eastern border of Rio de La Plata and Paranapanema cratons during the Western Gondwana amalgamation. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3): 391-414.
- Pelosi, A.P.M.R. & Fragoso-Cesar, A.R.S. 2003. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2): 137-148.
- Picada, R.S. 1968. Os sistemas de falhas da parte central do escudo Sul-Riograndense: evolução dos conhecimentos e proposição de problemas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, SBG, p. 247-253.
- Picada, R.S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense. Caracterização dos sistemas de falhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 167-191.
- Philipp, R.P., Pimentel, M.M. & Chemale Jr., F. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in southern Brazil: Geological relationships and U-Pb

- geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46: 83-104.
- Priest, S.D. & Hudson, J.A. 1976. Discontinuity spacings in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13(5): 135-148.
- Priest, S.D. & Hudson, J.A. 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18(3): 183-197.
- Ribeiro, M., Bocchi, P.R., Figueiredo, F.P.M. & Tessari, R.I. 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim do D.N.P.M.*, 127: 19-231.
- Ribeiro, M. 1970. Geologia da Folha de Bom Jardim. *Boletim do D.N.P.M.*, 247: 1-142.
- Ribeiro, M. 1980. Geossuturas do escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Anais...* Camboriú, SBG, v.1, p. 2709-2178.
- Roest, W.R., Verhoef, J. & Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57: 116–125.
- Salomon, E., Koehn, D., Passchier, C., Hackspacher, P.C., & Glasmacher, U.A. 2015. Contrasting stress fields on correlating margins of the South Atlantic. *Gondwana Research*, 28(3): 1152-1167.
- Salomon, E., Passchier, C., & Koehn, D. 2017. Asymmetric continental deformation during South Atlantic rifting along southern Brazil and Namibia. *Gondwana Research*, 51: 170-176.
- Sampaio, R.G.S.P. 2019. *Petrologia de rochas hipabissais básicas relacionadas a lineamentos magnéticos no Escudo Sul-rio-grandense*. Caçapava do Sul, 85p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul.
- Sanford, R.M., & Lange, F.W. 1960. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. *AAPG Bulletin*, 44(8): 1316-1370.
- Soares, M.S. 2001. *Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS*. 2001. Porto Alegre, 187p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Strugale, M., Rostirolla, S.P., Mancini, F., Portela Filho, C.V., Ferreira, F.J.F., & de Freitas, R.C. 2007. Structural framework and Mesozoic–Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 24(2-4): 203-227.
- Tessari, R.I. & Picada, R.S. 1966. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral DNPM*, 124: 1-147.
- Tico, H.N. & Gregory, T.R. 2018. Investigação de Lineamentos magnéticos no Rio Grande do Sul: Localizando os diques de direção NW em uma área do sudeste do Rio Grande do Sul. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO, 10., 2018, Santana do Livramento. *Anais...* Santana do Livramento, UNIPAMPA.
- Travassos, R.P. 2014. *Interpretação estrutural regional do Escudo Sul-rio-grandense, Rio Grande do Sul, Brasil, com base em aeromagnetometria*. Brasília, 64p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Ussami, N., Kolisnik, A., Raposo, M.I.B., Ferreira, F.J.F., Molina, E.C. & Ernesto, M., 1991. Detectabilidade magnética dos diques do Arco de Ponta Grossa: um estudo integrado de magnetometria terrestre/aérea e magnetismo de rocha. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(4): 317-327.
- Watkins, H., Bond, C.E., Healy, D. & Butler, R.W. 2015. Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. *Journal of Structural Geology*, 72: 67-82.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2007. *Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000*. Porto Alegre: CPRM, 2007. 1 DVD-ROM. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.

Zerfass, H., Chemale Jr., F. & Lavina, E. 2005. Tectonic control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná Basin, southernmost Brazil, and its correlation to the Waterberg Basin, Namibia. *Gondwana Research*, 8(2): 163-176.