



Zona de Cisalhamento (Sutura) de Arroio Grande e o novo Domínio Geofísico Sudeste (Escudo Sul-Rio-Grandense): discussões baseadas em dados geofísicos e de campo

Rodrigo Chaves Ramos* – Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
João Angelo Toniolo – Serviço Geológico do Brasil
Luis Gustavo Rodrigues Pinto – Serviço Geológico do Brasil
Edinei Koester – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

This work presents some discussions and interpretations concerning geophysical data produced by the Escudo do Rio Grande do Sul Aerogeophysical Project (1100), conducted in 2010 by the CPRM – Geological Survey of Brazil, covering the Sul-Rio-Grandense Shield area. The magnetometry and gamma-spectrometry data, altogether with fieldwork data from recent researches in Southeastern Sul-Rio Grandense Shield (which have discovered slices of an ophiolitic complex) allowed the interpretation of a new suture in that region, the Arroio Grande Suture, and the proposal of a new geophysical domain, the Southeastern Geophysical Domain.

1. Introdução

Na década de 1990, estudos geofísicos foram de fundamental importância para embasar algumas hipóteses a respeito das divisões tectônicas do Escudo Sul-Rio-Grandense. A partir de técnicas gravimétricas e aeromagnetométricas, Fernandes *et al.* (1995) e Costa (1997) dividiram o Escudo em três domínios geofísicos principais (Oeste, Central e Leste), separados por descontinuidades gravimétricas e aeromagnetométricas denominadas de Sutura de Porto Alegre (que separa os domínios Leste e Central), Sutura de Caçapava (que separa os domínios Central-Leste e Oeste) e Sutura de São Gabriel (que separa o domínio Central-Oeste do Oeste). Essas divisões auxiliaram na definição mais precisa dos limites das associações petroectônicas reconhecidas no Escudo até aquele momento. Esses autores ressaltaram ainda que a região sul do Domínio Geofísico Leste apresentava importantes anomalias geofísicas que deveriam ser investigadas com mais atenção, numa região que coincidentemente carecia na época de informações geológicas detalhadas.

Em 2010 o Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (Projeto 1100) atualizou as informações geofísicas do Escudo. Essas informações, aliadas às recentes descobertas de Ramos e Koester (2014 a, b), que reconheceram na região sudeste do Escudo fragmentos ofiolíticos encaixados em uma zona de cisalhamento de escala regional, levantaram a discussão de que essa região possa corresponder a um domínio geofísico distinto do Domínio Geofísico Leste, separados por uma possível sutura representada pela referida zona de cisalhamento. O presente trabalho apresenta dados referentes ao Projeto 1100 e discussões sobre uma possível nova compartimentação

geofísica do Escudo, baseada nos dados geofísicos e geológicos aqui apresentados.

2. Interpretação aerogeofísica qualitativa

No Projeto 1100, desenvolvido na área apresentada na Figura 1A, as linhas de voo (LV) apresentaram direção N-S com espaçamento de 500 m entre as mesmas e linhas de controle (LC) espaçadas de 5 km com direção E-W. A frequência de leitura dos dados foi de aproximadamente uma leitura a cada segundo para os dados gamaespectrométricos (equivalente a 70 m ao longo da LV) e de dez leituras por segundo para os dados magnetométricos (equivalente a 7 m ao longo da LV), sendo a altura de voo de 100 m com relação ao solo.

O processamento de dados teve por objetivo a geração de diferentes temas sob a forma de *grids*. Nesse processamento adotou-se como espaçamento na interpolação dos dados o valor de $\frac{1}{4}$ do espaçamento das LV de 125 m.

Na geração dos *grids* utilizou-se o *software* Oasis Montaj (Versão 8.1) da Geosoft. Os mapas gerados foram os magnetométricos: Campo Magnético Residual (nT – nanoTesla), Primeira Derivada Vertical (nT/°) e Sinal Analítico do Campo Magnético Residual (nT/°); e os Gamaespectrométricos: Contagem Total (μ R/h) – microRoentgen/h, Tório (ppm), Urânio (ppm), Potássio (%) e de Composição Ternária dos três elementos (U, Th, K). Estes mapas foram utilizados nas interpretações aqui realizadas.

De modo geral, o estudo restringiu-se à análise de feições geofísicas circunscritas, a partir dos contrastes laterais de propriedades físicas de minerais (susceptibilidade magnética e emissão de radiação gama – elementos Th, U e K) que compõem as litologias do terreno sobrevoado recoberto pelo levantamento. Os sinais físicos foram emitidos pelo terreno e registrados por sensores posicionados diretamente abaixo da linha do levantamento aerogeofísico. A partir de tabelas de propriedades físicas das rochas, juntamente com as intensidades e as formas das feições geofísicas obtidas no processamento dos dados aéreos (imagens dos *grids*), pode-se sugerir a existência de determinados tipos litológicos e/ou estruturas geológicas nos terrenos.

2.1. Magnetometria

Os mapas magnetométricos contribuíram com informações relacionadas à geologia estrutural da área, e se mostraram úteis para a definição do arcabouço tectonoestrutural da região.

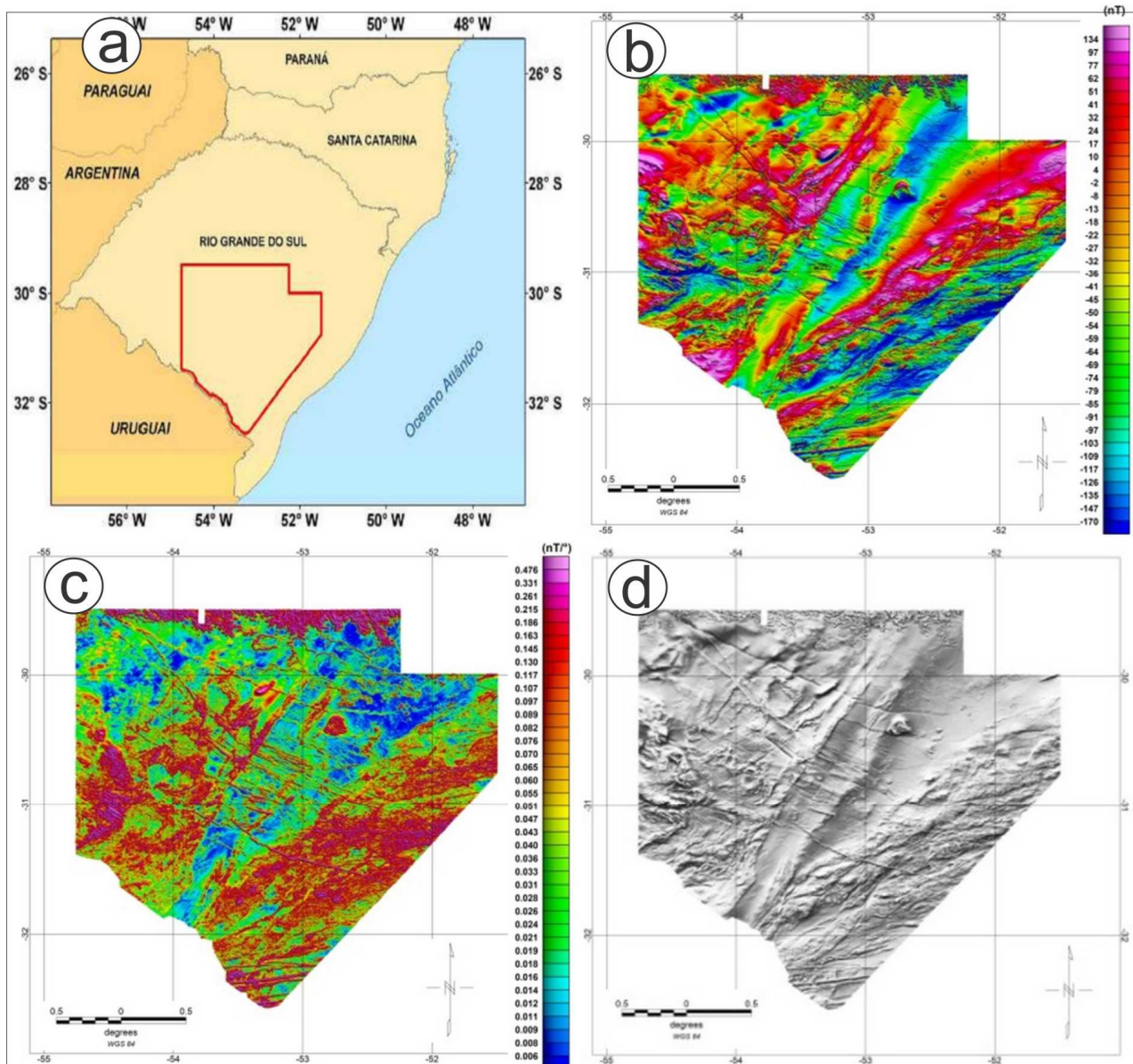


Figura 1 – (A) Área do levantamento geofísico (polígono vermelho) do Projeto 1100; (B) Mapa magnetométrico do campo total reduzido do IGRF; (C) Mapa do sinal analítico do campo magnético total. Anomalias em magenta/vermelho representam rochas com alta magnetização e, em azul, rochas com pouca ou ausentes de magnetização; (D) Mapa da primeira derivada vertical do campo magnético total.

2.1.1. Campo magnético total

A Figura 1B mostra o mapa de campo magnético total reduzido do *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Nota-se uma característica comum a esse tipo de mapa, que é a bipolaridade. Esta reflete a existência de valores positivos (em magenta/vermelho) associados a valores negativos (em azul) representando um único corpo magnético.

2.1.2. Sinal analítico

A realização do sinal analítico em um mapa magnetométrico do campo total reduzido do IGRF é um artifício matemático utilizado para que as anomalias magnéticas, que inicialmente possuem um caráter bipolar, passem a ser monopolar (Figura 1C). Outra

utilidade deste método é que a amplitude do sinal fica posicionada imediatamente acima dos limites das estruturas/corpos, facilitando assim a identificação e o posicionamento dos corpos magnéticos ou não-magnéticos.

2.1.3 Primeira derivada

A aplicação da primeira derivada vertical do campo magnético total reduzido do IGRF caracteriza-se por realçar as estruturas magnéticas (falhas/fraturas e diques magnéticos). Na Figura 1D nota-se que, na área, a predominância de alinhamentos magnéticos associados a falhas/fraturas e diques magnéticos dá-se na direção SW-NE.

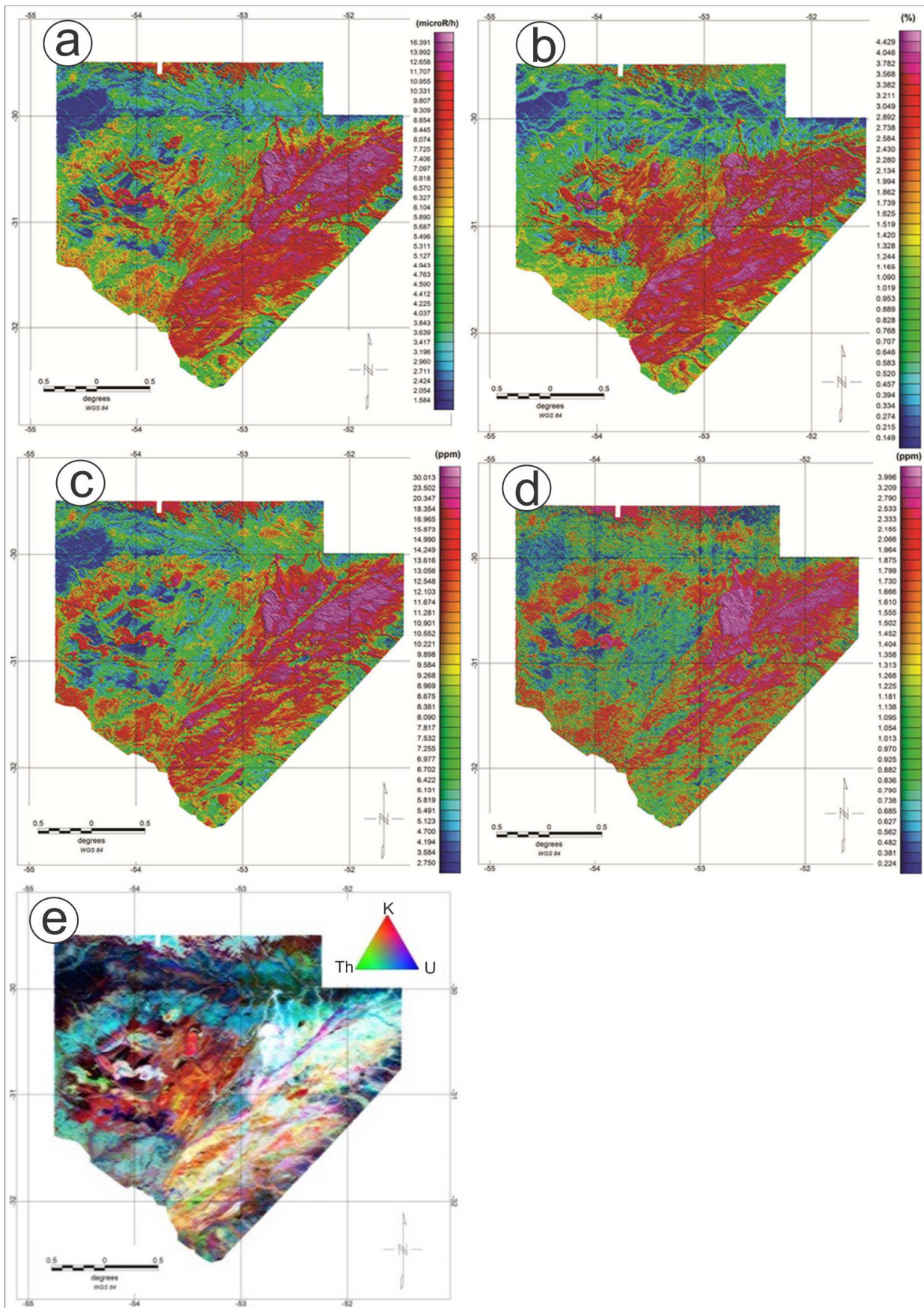


Figura 2 – Mapas gamaespectrométricos de (A) Contagem Total, (B) Potássio, (C) Tório, e (D) Urânio; (E) Mapa de composição ternária dos respectivos elementos.

Existem, porém, outros alinhamentos magnéticos perpendiculares, cortando o *trend* principal dos alinhamentos predominantes. Destaca-se ainda no extremo sul do levantamento aerogeofísico o domínio de alinhamentos N80°W a E-W.

2.2 Gamaespectrometria

Os mapas dos radioelementos Th, U e K correspondem à geologia de superfície e representam a distribuição das diferentes rochas e solos aflorantes. Os níveis radiométricos inicialmente medidos em choques por segundo (cps) estão convertidos para concentrações de U e Th (em ppm) e K (em %), através do método *backcalibration*. A Contagem Total é expressa como taxa de exposição, em $\mu\text{R/h}$ (micro Röntgen por hora) observado na Figura 2A, B, C e D. A composição ternária RGB dos canais K, Th e U, respectivamente, são observadas na Figura 2E.

3. Geologia

A interpretação geológica dos mapas geofísicos mostrados nas figuras anteriores, e em especial o mapa da primeira derivada vertical do campo magnético total permitiu reacender discussões prévias (Fernandes *et al.*, 1995; Costa, 1997) acerca da possível existência de um domínio geofísico distinto no sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense, à luz de novas e recentes informações geológicas da região (*e.g.* Ramos e Koester, 2014 a, b). Sobre o referido mapa (Figura 3), foram traçados os principais lineamentos geológicos e geofísicos que são reconhecidos como limites de domínios geofísicos já definidos pelos supramencionados autores. Na figura foi acrescentada a Zona de Cisalhamento Arroio Grande, que juntamente com as zonas de cisalhamento de Herval e Ayrosa Galvão (Philipp, 1998) (ver Figura 5), formam a aqui denominada Sutura de Arroio Grande, que delimitaria um novo domínio geofísico no sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense.

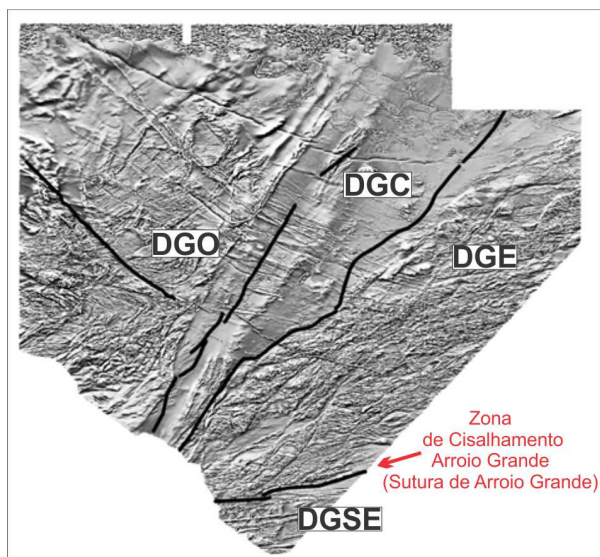


Figura 3 – Mapa da Primeira Derivada Vertical, com destaque para as principais discontinuidades geofísicas na porção sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense (conforme Fernandes *et al.* 1995, e Costa, 1997) e os aqui propostos Sutura de Arroio Grande e

Domínio Geofísico Sudeste. Legendas: DGO = Domínio Geofísico Oeste; DGC = Domínio Geofísico Central; DGE = Domínio Geofísico Leste; DGSE = Domínio Geofísico Sudeste.

O novo domínio geofísico proposto apresenta as seguintes características geofísicas: (i) lineamentos de direção N80°W a E-W, que são singulares e distintos dos principais lineamentos de outros terrenos mais ao Norte; (ii) rochas empobrecidas em potássio – padrão de cores azul-esverdeado (ver mapa ternário da Figura 4) – em contraste ao restante do domínio ao Norte/Nordeste, que apresenta padrões em tons de amarelo e vermelho devido à presença de rochas mais ricas em potássio.

Os alinhamentos desse domínio, quando lançados sobre o mapa geológico do Rio Grande do Sul de Wildner *et al.* (2008) e Ramos e Koester (2014b), têm como correspondente litológico o Granito Arroio Grande (Figura 5), classificado como leucogranito a duas micas, de granulação grossa, com foliação milonítica e enclaves gnáissicos. Também sobrepõem afloramentos de uma associação meta-ultramáfica-máfica-sedimentar recentemente interpretada por Ramos e Koester (2014a, b) como fragmentos metamorfizados de um complexo ofiolítico, denominado de Complexo Ofiolítico Arroio Grande. Essa interpretação foi formulada a partir de relações de campo e associação litológica (Figura 5) e reforçada por evidências petrográficas e principalmente litogeoquímicas, que apontam uma origem mantélica e crustal oceânica para as unidades metaígneas (Ramos e Koester, 2014a, b).

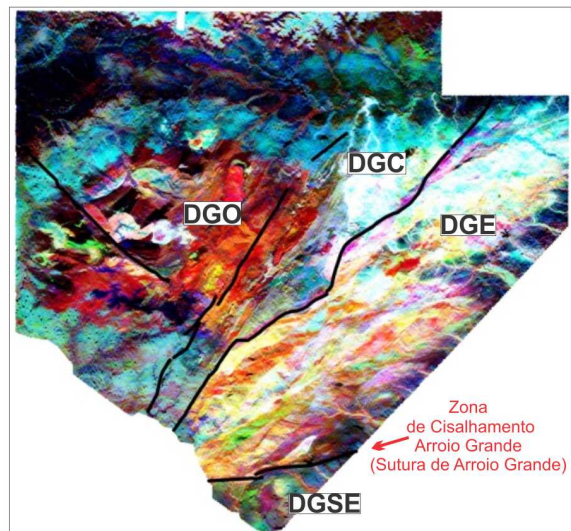


Figura 4 – Mapa dos elementos K, Th e U do Projeto 1100.

O Complexo Ofiolítico Arroio Grande é limitado a N e W pelo Granito Arroio Grande e a S e E por outros granitoides. Suas litologias são afetadas por zonas de cisalhamentos dúcteis subverticais de direção preferencial N50-80°E e, secundariamente, E-W (Figura 5). Tais zonas de cisalhamento são responsáveis pela deformação e milonitização encontradas na maioria das rochas pertencentes às unidades formadoras do Complexo: unidade

metaultramáfica, unidade metamáfica e unidade metassedimentar.

A unidade metaultramáfica é representada por talco xistos (constituídos por agregados de talco e serpentina, ambos $\approx 50-70\%$, além de tremolita, clorita e cromita) (Figura 6A), tremolititos ($\approx 90\%$ de tremolita, e clorita, talco e cromita subordinados) e clorititos (95% Cr-clorita e subordinadamente serpentina, tremolita e ilmenita) (Figura 6B), que constituem corpos métricos a decamétricos, descontínuos e alongados na direção NE-SW que são frequentemente encontrados em um mesmo afloramento em contato gradacional. Essas litologias apresentam granulação fina a média, xistosidade milimétrica subvertical, lineações de estiramento sub-horizontais, frequente presença de dobras e, localmente, clivagens de crenulação.

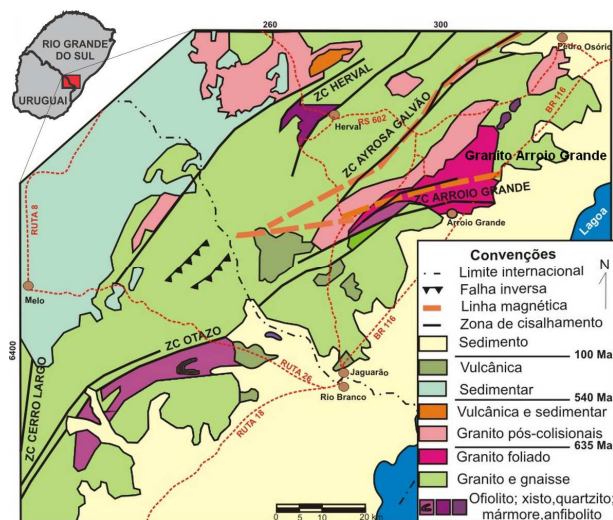


Figura 5 – Mapa geológico do extremo sul do Escudo Sul-Rio-Grandense e porção nordeste do Escudo Uruguaio (modificado de Ramos e Koester, 2014b).

A unidade metamáfica é representada por anfibolitos ($\approx 30-55\%$ hornblenda, $\approx 20-40\%$ plagioclásio, $\approx 5-20\%$ epidoto e $\approx 5-10\%$ quartzo, além de biotita e clorita) (Figura 6C), e metagabros ($\approx 40-50\%$ hornblenda, $\approx 30\%$ augita, $\approx 30\%$ plagioclásio, $\approx 5-10\%$ quartzo, além de clorita, biotita e pirita) (Figura 6D). Os anfibolitos formam corpos descontínuos, métricos a decamétricos, alongados na direção NE-SW. Apresentam granulação fina e bandamento milimétrico, irregular e descontínuo, marcado por quartzo e plagioclásio. Os metagabros têm granulação média a grossa e são encontrados como xenólitos centimétricos a métricos nos granitoides da região (Granito Arroio Grande e outros granitoides).

A unidade metassedimentar é constituída por micaxistos (granulação fina, $\approx 40\%$ quartzo, $\approx 25-30\%$ muscovita, $\approx 15\%$ biotita e $\approx 15\%$ plagioclásio) (Figura 6E), metagrauvas (granulação muito fina a fina, composição quartzo-feldspática com $\approx 50\%$ de pseudomatriz argilosa) (Figura 6F), granada-biotita xistos (granulação fina, $\approx 40\%$ biotita, $\approx 30\%$ quartzo, $\approx 15\%$ feldspato alcalino, $\approx 10\%$ granada e opacos) (Figura 6G), e mármores (granulação fina a média, $\approx 70\%$ calcita, $\approx 15\%$ diopsídio além de $\approx 5-10\%$ titanita e opacos) (Figura 6H). Os micaxistos formam corpos

métricos a quilométricos, associados a lentes centimétricas a métricas de quartzitos, e também tectonicamente intercalados com granitoides, rochas metaultramáficas/metamáficas, metagrauvas e granada-biotita xistos. Os mármores formam lentes quilométricas com intercalações centimétricas a métricas de rochas calcissilicáticas e anfibolíticas, encaixadas em granitoides. As metagrauvas formam corpos métricos a decamétricos, geralmente em contato com injeções leucograníticas centimétricas a métricas dobradas.

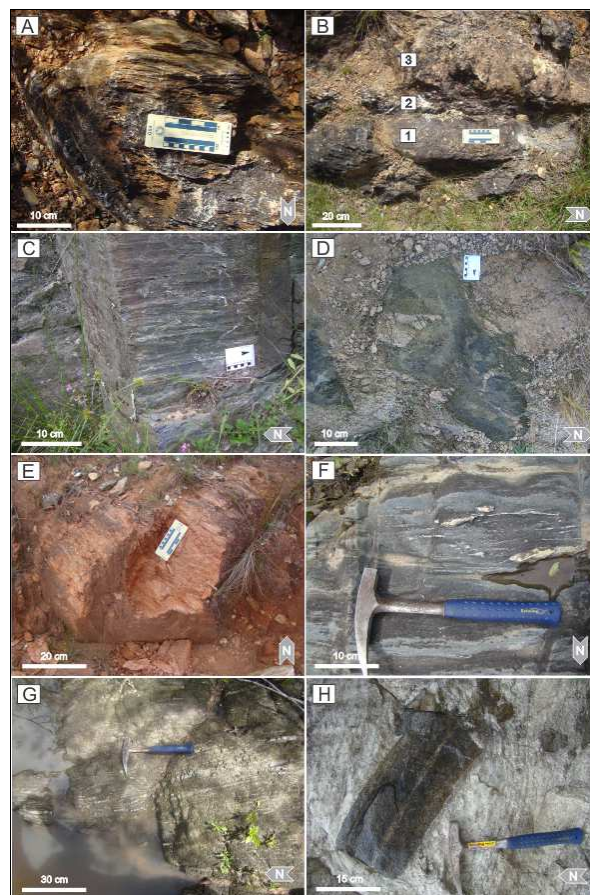


Figura 6 – Afloramentos: (A) lente de tremolita-talco-serpentina xisto dobrado; (B) camadas de talco xisto (1), cloritito (2) e tremolitito (3) em contato; (C) epidoto anfibolito; (D) xenólitos de metagabro no Granito Arroio Grande; (E) micaxisto; (F) metagrauva; (G) granada-biotita xisto; (H) mármore e fragmento de anfibolito (porção escura).

Discussões e Conclusões

Os dados geofísicos de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria do Projeto 1100 demonstraram a existência de uma importante descontinuidade geofísica na região sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. Em conjunto com os dados de levantamentos geológicos que apontam a existência de fragmentos ofiolíticos – as únicas ocorrências de rochas ultramáficas e mármores encontradas até o momento em toda a porção leste do Escudo, o que ressalta a exotividade litológica dessa área – nessa região, sugere-se aqui um novo domínio geofísico, o Domínio Geofísico Sudeste.

Este novo domínio seria limitado do Domínio Geofísico Leste pela Zona de Cisalhamento de Arroio Grande. Essa zona de cisalhamento contém encaixadas as rochas do complexo ofiolítico e coincide com a área onde os padrões geofísicos do Domínio Geofísico Leste mudam de direção preferencial. Por esses motivos, a referida zona de cisalhamento foi aqui tratada como uma sutura.

Com isto, fica evidenciada a importância do aporte e integração de dados geofísicos do Projeto 1100, que aliados a informações básicas de campo, contribuem para as discussões e modelamentos geotectônicos do paleocontinente Gondwana Ocidental na região sul do Brasil.

Agradecimentos

Ao CNPq (proc. PQ 305853/2010-4) e FAPERGS (proc. PqG 10/1509-0).

Referências

Costa, A.F.U., 1997. Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no escudo sul-rio-grandense. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, v.1, 180 f.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2010. Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2010. 27 v. Programa Geologia do Brasil - PGB.

Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Porcher, C.C., Tommasi, A., Kraemer, G., Ramgrab, G.R., 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.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2009. Geofísica de Exploração. Oficina de Textos, São Paulo, 438 p.

Philipp, R.P., 1998. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 255 f.

Ramos, R.C. & Koester, E., 2014a. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. Pesquisas em Geociências, 41(1) : 25-38.

Ramos, R.C. & Koester, E., 2014b. Lithochemistry of the meta-igneous units from Arroio Grande Ophiolitic Complex, southernmost Brazil. Brazilian Journal of Geology, submetido.

Robinson, E.S., & Çoruh, C., 1988. Basic Exploration geophysics. John Wiley & Sons, Canadá, 562 p.

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. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Programa Geologia do Brasil, Mapas geológicos Estaduais. Porto Alegre, 1 DVD.