

## Processamento e integração de dados magnetométricos terrestres e aéreos: uma correlação com dados de susceptibilidade magnética aplicados ao mapeamento geológico na região de Vila Nova do Sul – RS.

Marcos Vinícios da Silva Ferreira\*; Mario Jesus Tomas Rosales  
Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The study area comprises approximately 300 km<sup>2</sup> geographically bounded by longitudes -54.03 and -53.90 W and the latitudes -30.24 and -30.32 S, located in the region of the Passo do Rocha north of the city Vila Nova do Sul - RS.

Aeromagnetic data were compiled from the Aerial Survey Geophysical Camaquã I (CPRM, 1974) and Aerogeophysical Project Escudo Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), together with topographic data (ASTER-GDEM), applied to the study of geological mapping of metamorphic rocks of basic/ultrabasic composition.

Was made a ground magnetometric survey in approximate scale of 1: 25.000 in the form of irregular grid, totaling 332 measurement stations. Magnetic susceptibility measurements were performed in situ rock outcrops near the anomalous sectors highlighted by processing of aeromagnetic data

Graphics products finals from processing of magnetic data show the physical fields of the residual magnetic anomaly of total intensity and its transformations of potential field (Anomaly of Analytic Signal Amplitude and Gradient Horizontal) together with topographic relief from the ASTER-GDEM data, along two profiles oriented in NW-SE direction.

### Introdução

Foi realizado um levantamento magnetométrico terrestre em uma escala aproximada de 1:25.000 conforme um espaçamento regular de aproximadamente 200 m.

Foram compilados dados aeromagnéticos provenientes do Aerolevantamento Geofísico Camaquã I (CPRM, 1974) e do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), conjuntamente com dados topográficos ASTER-GDEM, aplicados ao estudo de mapeamento geológico de rochas metamórficas de composição básica/ultrabásica.

A área de estudo apresenta aproximadamente 300 km<sup>2</sup> delimitada geograficamente pelas longitudes -54.03 e -53.90 W e pelas latitudes -30.24 e -30.32 S, localizada na região do Passo do Rocha ao norte da cidade de Vila nova do Sul – RS (Fig. 1).

Aplicou-se uma metodologia de processamento, integração e interpretação de dados magnetométricos provenientes de um levantamento terrestre conjuntamente com dados aeromagnéticos compilados e dados de altitudes ortométricas provenientes do ASTER-GDEM (METI/NASA,2009), visando complementar o mapeamento geológico existente na região.

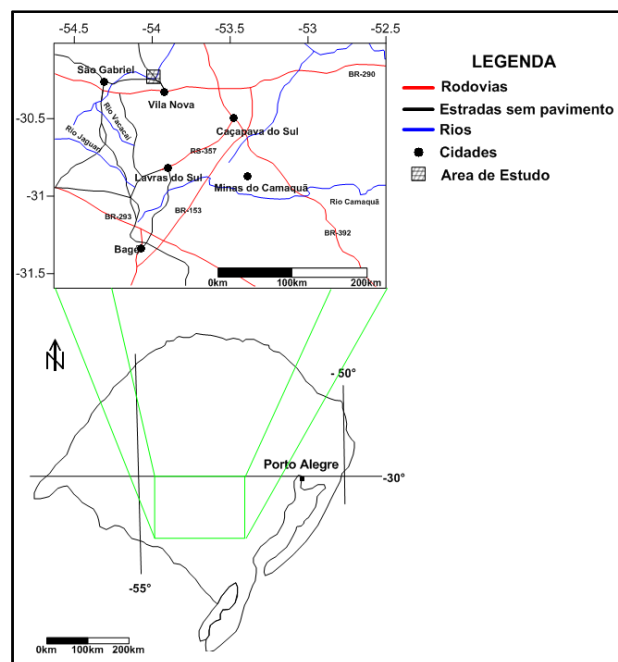


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

### Arcabouço geológico

Conforme ilustrado no mapa geológico da Figura 2, na parte sul a geologia se caracteriza pela presença de coberturas Neoproterozóicas aproximadamente 540 Ma representadas por metaperidotitos, gnaisses dioríticos pertencentes à formação Cambaí. Na porção noroeste e norte destacam-se coberturas paleozóicas aproximadamente 430 Ma formadas por siltitos e folhelhos representados pela formação Rio Bonito do Grupo Guatá. Mais ao norte se destacam sedimentos

atuais e subatuais do Quaternário aproximadamente 65 Ma, representados por areias e cascalho imaturos mal selecionados, que se estendem por uma estreita faixa de nordeste a sul, e que aparecem também a oeste da área que acompanham as principais drenagens da região.

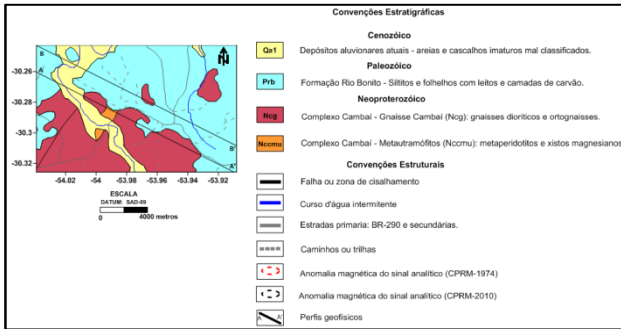


Figura 2 – Mapa geológico simplificado (modificado CPRM, 2000)

**Levantamentos Aerogeofísico: características técnicas**

A Tabela 1 mostra as características técnicas dos aerolevantamentos em termos de espaçamento e orientação das linhas de voo (LV) e as linhas de controle (LC), assim como o intervalo de amostragem.

Tabela 1 – Características técnicas dos aerolevantamentos magnetométricos da CPRM.

Ano	Projeto	LV	LC	Orientação das LV	Intervalo de amostragem
1974	Camaquã I	1 km	10 km	NW-SE	~64 m
2010	Escudo do Rio Grande do Sul	500 m	10 km	N-S	~7 m

**Compilação de dados**

Foram compilados dados aeromagnéticos provenientes do Aerolevantamento Geofísico Camaquã I (CPRM, 1974) e do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010),

Inicialmente foi realizado um tratamento estatístico dos dados magnéticos provenientes dos dois aerolevantamentos, e como resultado foi escolhido o método da mínima curvatura para a criação das grids que deram origem aos produtos gráficos finais.

**Pré-processamento dos dados aeromagnéticos do Projeto Camaquã I (CPRM, 1974) e do Projeto Escudo Rio Grande do Sul (CPRM, 2010)**

Efetou-se um procedimento de pré-processamento dos dados aeromagnéticos do Projeto Camaquã I, seguindo uma metodologia convencional com a aplicação de filtros direcionais passa-baixa (*low-pass*) para eliminar as altas

freqüências provenientes dos ruídos provocados ao longo das linhas de voo.

**Anomalia magnética residual de intensidade total**

Conforme se ilustra na Figura 3 (dados provenientes CPRM, 1974), na porção central da área de estudo o comportamento da anomalia magnética residual se caracteriza pela presença de um par anômalo magnético com e uma direção preferencial segundo NE-SW, apresentando um sinal positivo ao norte e um sinal negativo ao sul com valores de amplitude variando desde -130 nT a +140 nT. Na porção sul da área de estudo o comportamento do campo magnético é caracterizado pela presença de uma assinatura magnética de longo comprimento de onda provavelmente associada a fontes localizadas no embasamento.

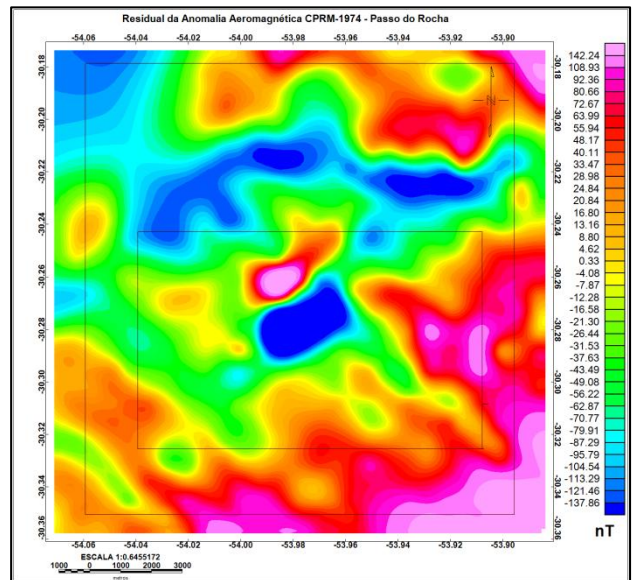


Figura 3 – Residual da Anomalia Magnética de Intensidade Total obtida dos dados aeromagnéticos (CPRM, 1974)

Conforme se ilustra na Figura 4 o comportamento da anomalia magnética residual (dados provenientes da CPRM, 2010) apresentou uma resolução superior em termos de identificação e de realce de assinaturas anômalas magnéticas de curto comprimento de onda.

Na porção central da área o comportamento da anomalia residual magnética se caracteriza pela presença de um par anômalo magnético com uma direção preferencial segundo NE-SW, apresentando um sinal positivo ao norte e um sinal negativo ao sul com valores de amplitude variando desde -65 nT a +40 nT. Mais a sudoeste da porção central observa-se a presença de uma assinatura magnética anômala de menor amplitude com direção preferencial L-E, e valores de intensidade que variam de +10 nT ao norte até -60 nT ao sul. Na porção sul da área de estudo o comportamento do campo magnético é caracterizado pela presença de uma

assinatura magnética de longo comprimento de onda provavelmente associada a fontes localizadas embasamento.

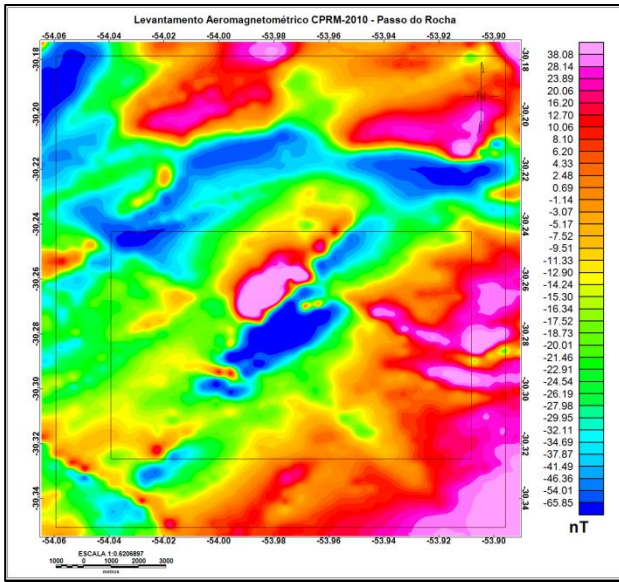


Figura 4 – Residual da Anomalia Magnética de Intensidade Total obtida dos dados aeromagnéticos (CPRM, 2010)

**Levantamento Magnetométrico Terrestre**

O método magnetométrico consiste basicamente na leitura de variações do campo magnético terrestre, originados pelo contraste de suscetibilidade magnética provocado por rochas e minerais que compõem o substrato geológico.

Foi realizado um levantamento magnetométrico terrestre em escala aproximada de 1:25.000 em forma de malha irregular totalizando 332 estações de medição. Foram realizadas medições de suscetibilidade magnética *in situ* de afloramentos de rochas próximos aos setores anômalos ressaltados através do processamento dos dados aeromagnéticos (Tabela 2).

Os equipamentos utilizados foram dois magnetômetros de precessão de prótons *GEM System Inc Canadá* e um suscetibilímetro *KT-10 Magnétic Sucetibility Meter Terraplus*, pertencentes à UNIPAMPA.

Conforme ilustra a Tabela 2 observa-se a presença de um forte contraste entre os valores de suscetibilidade magnética das rochas serpentinizadas ( $K_{med} = 25,97 \times 10^{-3}$  (SI)), quando comparados aos valores das rochas encaixantes ( $K_{med} = 0,111 \times 10^{-3}$  (SI)). Sugere-se que os altos valores de suscetibilidade magnética associados às rochas serpentinizadas sejam a causa das anomalias do campo magnético no setor central da área de estudo

Tabela 2 – Medidas de suscetibilidade magnética de em afloramentos

Longitude	Latitude	Lito Tipo	$K_{med}(10^{-3}SI)$
-53.9926	-30.2954	Serpentinito	20,250
-53.993	-30.2957	Serpentinito	25,970
-53.9929	-30.296	Serpentinito	28,350
-53.9937	-30.3008	Gnaisse	0,425
-54.004	-30.3128	Gnaisse	3,190
-53.9908	-30.2813	Gnaisse	0,082
-53.9994	-30.2764	Quartzito	0,007
-54.0009	-30.2716	Arenito	0,111
-53.9857	-30.2706	Arenito	0,040
-53.9838	-30.279	Arenito	0,024

A Figura 5 mostra o comportamento residual da anomalia magnética de intensidade total obtida a partir dos dados magnetométricos terrestres caracteriza-se, na porção central, pela presença de um par anômalo magnético com valores de amplitude que variam de +150 nT ao norte a -80 nT ao sul. Ressalta-se a alta resolução oferecida pelos dados magnetométricos terrestres, mostrando o caráter dipolar do campo magnético residual no setor central da área de estudo. O fato do intervalo de amostragem no levantamento magnetométrico terrestre ser de aproximadamente 200 metros, permite obter um melhor detalhamento em termos de cobertura de pontos físicos medidos para uma melhor caracterização geofísica das assinaturas magnéticas na área de estudo.

As assinaturas anômalas magnéticas de menor comprimento de onda identificadas a partir do processamento dos dados do aerolevantamento CPRM, 2010, foram ressaltadas a partir do processamento e interpretação dos dados provenientes do levantamento magnetométrico terrestre, oferecendo um melhor grau de detalhe.

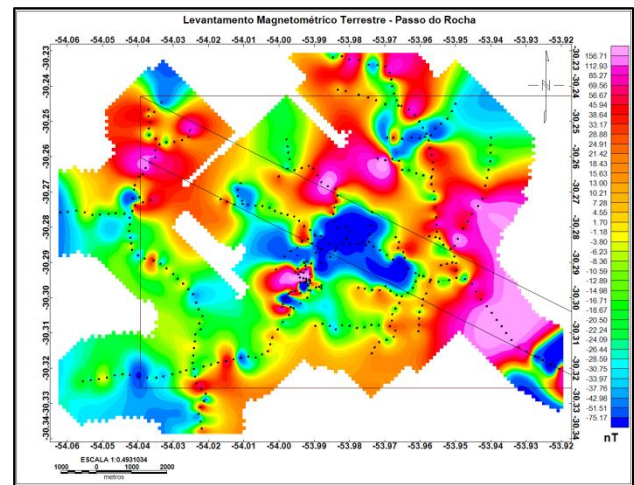


Figura 5 – Residual da anomalia magnética de intensidade total obtida dos dados magnetométricos terrestres.

**Modelo Digital de elevação de Terreno (DEM)**

A Figura 6 mostra o Modelo Digital de Elevação do Terreno (DEM) baseado em dados ASTER.

Os dados *ASTER GDEM* (METI/NASA) oferecem uma resolução espacial em longitude e latitude de 1 *arc-second* (~30 metros) e uma resolução vertical de aproximadamente 7-14m (*DEM accuracy - stdev*).

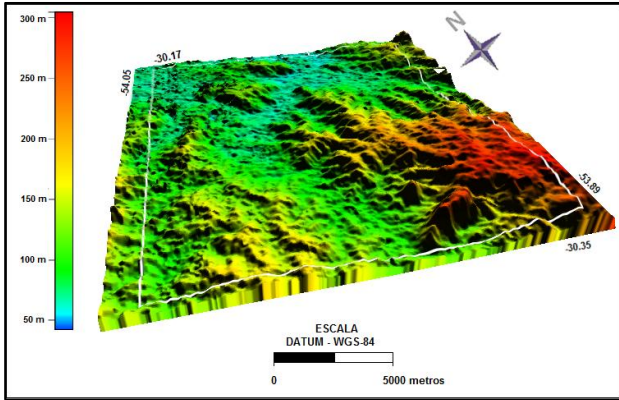


Figura 6 – Modelo digital de elevação do terreno baseados em dados ASTER-GDEM.

**Transformações do Campo Potencial**

**- Amplitude do Sinal Analítico (ASA)**

A Amplitude do Sinal Analítico (ASA) é dada pela combinação dos gradientes vertical e horizontal de uma anomalia magnética. O sinal analítico tem uma forma sobre corpos causadores que depende de sua posição, mas não da direção de magnetização. A aplicação do sinal analítico de interpretação magnética foi iniciada por Nabighan (1972, 1974), principalmente como uma ferramenta para estimar a profundidade e a posição das fontes (BLAKELY, 1996).

$$|A(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{dT}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dT}{dz}\right)^2}$$

Onde A (x, y) é a amplitude do sinal analítico no ponto de coordenadas (x,y). T é a anomalia magnética de intensidade total no ponto de coordenadas (x,y).

**- Gradiente horizontal**

A Amplitude do Gradiente Horizontal Total revela os picos, em uma análise pontual, que estão acima dos limites das fontes causadoras de anomalias, o que torna a visualização mais abrangente, indicando mudanças laterais abruptas, distinguindo mudanças litológicas e estruturais (BLAKELY, 1996).

$$H(x,y) = \sqrt{\left(\frac{\partial T_z(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_z(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

onde:

H = Gradiente Horizontal

$\partial T_z$  = intensidade de campo magnético

dx = derivada na direção x

dy = derivada em y

As Figuras 7A e 7B mostram a Anomalia magnética de Amplitude do Sinal Analítico correspondente aos dados dos Aerolevantamentos Camaquã-I (CPRM, 1974) e Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) respectivamente.

As Figuras 8C e 8D mostram o Gradiente Horizontal da Anomalia Magnética residual de Intensidade Total: correspondente aos dados dos Aerolevantamentos Camaquã-I (CPRM, 1974) e do Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) respectivamente.

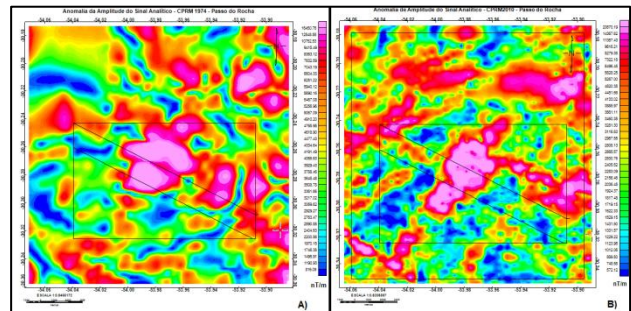


Figura 7 – Anomalia de Amplitude do Sinal Analítico: A) Aerolevantamento Camaquã-I; B) Aerolevantamento Escudo do Rio Grande do Sul.

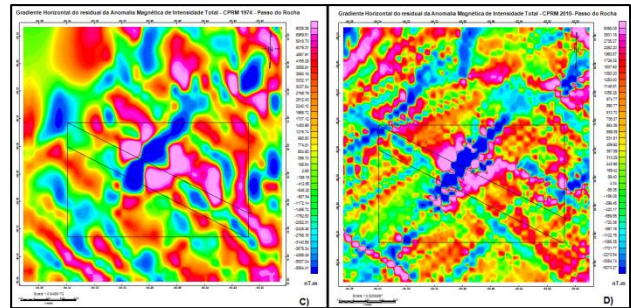


Figura 8 – Gradiente Horizontal da Anomalia Magnética residual de Intensidade Total: C) Aerolevantamento Camaquã-I; D) Aerolevantamento Escudo do Rio Grande do Sul.

As Figuras 9E e 9F mostram a Anomalia magnética de Amplitude do Sinal Analítico e do Gradiente Horizontal da Anomalia Magnética residual de Intensidade Total: correspondente aos dados dos Aerolevantamentos Camaquã-I (CPRM, 1974) e Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) respectivamente.

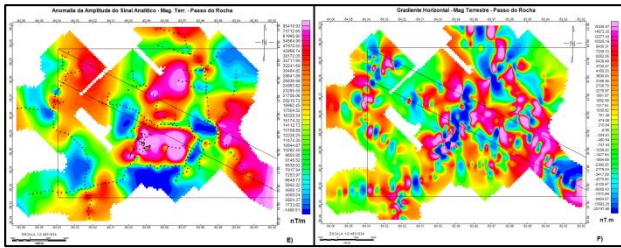


Figura 9 – Anomalia de Amplitude do Sinal Analítico e do Gradiente Horizontal da Anomalia residual Magnética de Intensidade Total a partir dos dados magnetométricos terrestres

## Resultados e Discussões

Os produtos gráficos finais do processamento dos dados magnetométricos mostram os campos físicos da anomalia magnética residual de intensidade total e suas transformações do campo potencial (Anomalia de Amplitude do Sinal Analítico e Gradiente Horizontal) conjuntamente com relevo topográfico a partir dos dados *ASTER-GDEM*, ao longo de dois perfis orientados na direção NW-SE.

A Figura 10 mostra de uma maneira integrada o comportamento do campo magnético residual da anomalia magnética de intensidade total, a Anomalia de Amplitude do Sinal Analítico do campo magnético residual de intensidade total, o Gradiente Horizontal do campo magnético residual de intensidade total, conjuntamente com o relevo topográfico ao longo dos Perfis A-A' e B-B' com orientação NW-SE.

### -Perfil A-A':

O perfil A-A' apresentou pares anômalos magnéticos oriundo do processamento dos dados aeromagnéticos e terrestres, mantendo semelhança com relação ao formato geométrico da anomalia dipolar, isto é, a presença de um sinal positivo ao norte com uma baixa amplitude e um sinal negativo ao sul com amplitudes mais intensas. Ressaltando-se valores de amplitude mais intensas das anomalias referente aos dados terrestres se comparados com os dados aéreos.

A integração da Amplitude do Sinal Analítico do campo magnético residual de intensidade total, o do Gradiente Horizontal do campo magnético residual de intensidade total quando associadas ao altos valores do relevo topográfico sugere a possibilidade de que as assinaturas magnéticas podem estar associadas a presenças de rochas serpentinizadas pertencentes à Formação Cambaí (~540 Ma).

### - Perfil B-B'

O perfil B-B' apresentou pares anômalos magnéticos oriundos do processamento dos dados aeromagnéticos e terrestres, mantendo semelhança com relação ao formato geométrico da anomalia dipolar, conforme observado no perfil A-A'

Ressalta-se um aumento do comprimento de onda das assinaturas anômalas magnéticas de ASA e do Gradiente Horizontal com relação ao perfil A-A', o que sugere que

estas respostas podem estar associadas a fontes mais profundas, isto é, a presença do prolongamento do corpo serpentinítico em profundidade provavelmente com mergulho na direção NE.

## Conclusões

As transformações do campo potencial obtidas demonstraram-se apropriados para a identificação das feições anômalas, e foram corroboradas em campo a partir dos dados de susceptibilidade magnética servindo como subsídio pra complementar o mapeamento geológico pré-existente.

Ressalta-se a alta resolução oferecida pelos dados magnetométricos terrestres, mostrando o caráter dipolar do campo magnético residual no setor central da área de estudo. O fato do intervalo de amostragem no levantamento magnetométrico terrestre ser de aproximadamente 200 metros, permite obter um melhor detalhamento em termos de cobertura de pontos físicos medidos para uma melhor caracterização geofísica das assinaturas magnéticas na área de estudo.

O trabalho apresenta resultados preliminares, pois faz parte de um projeto de conclusão de graduação em andamento que tem como objetivo a integração de dados geofísicos de diferentes naturezas.

## Agradecimentos

Agradecemos a UNIPAMPA por ter cedidos os equipamentos para a realização dos levantamentos geofísicos terrestres. De maneira especial se agradece a CPRM por ter disponibilizado os dados aeromagnéticos correspondentes ao Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), E aos técnicos e colegas que auxiliaram nas etapas de campo.

## Referências

ASTER Global DEM Validation Summary Report from <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>

BLAKELY, Richard J.. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, 1996

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Geologia e Metalogênese. FOLHA SH. 22-Y-A, Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:250.000. Brasília: 2000. CD-ROM.

GEM Systems Inc Magnetômetro de processão de prótons. Disponível em: <info@gemsys.ca>

LASA PROSPECÇÕES S.A.. Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. CPRM - Serviço Geológico do Brasil 2010. v1 260p.

Terraplus Inc. KT-10 Magnetic Susceptibility Meters. User guide < disponível em <http://www.terraplus.ca/products/pdf/KT-10.pdf>>

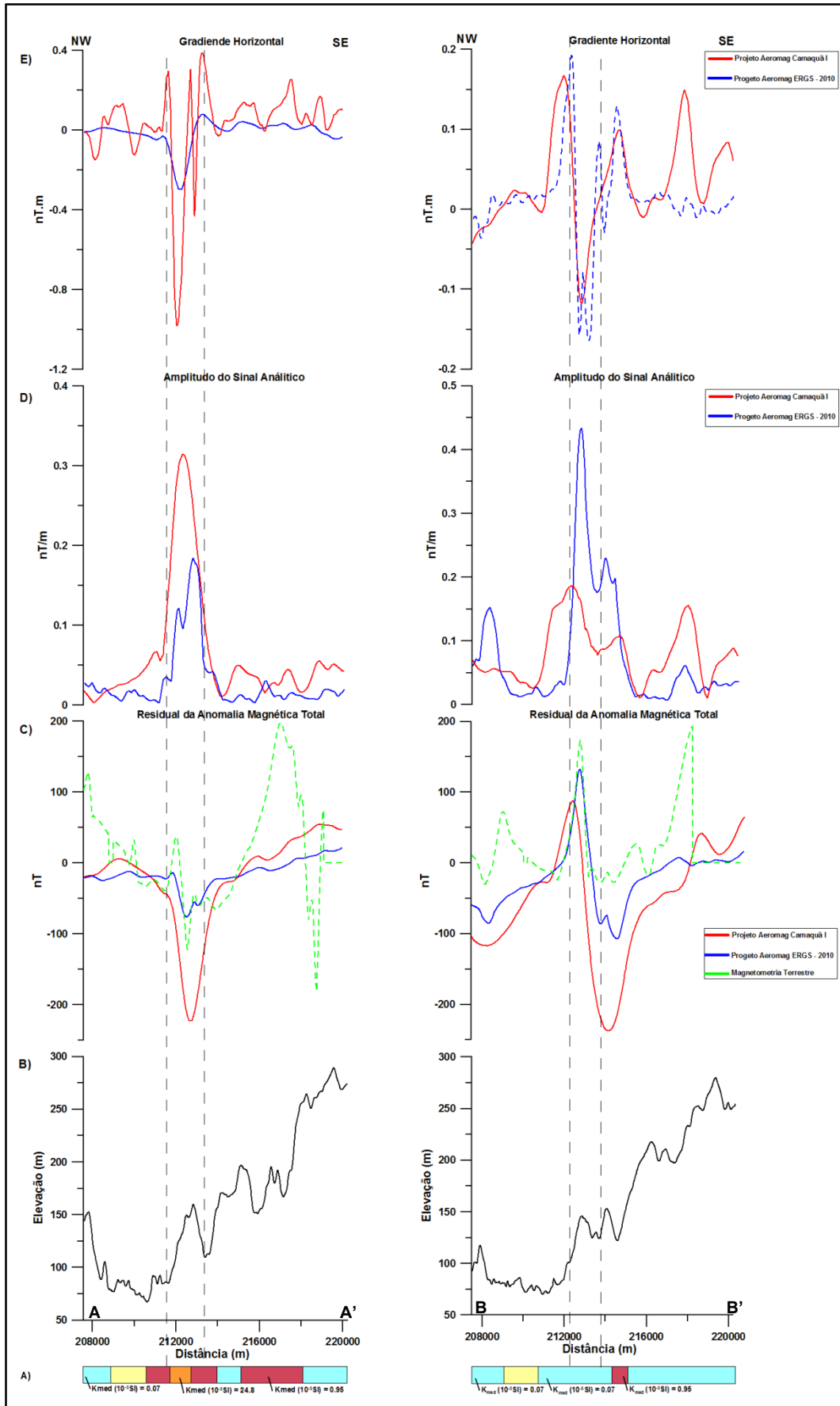


Figura 6 - Gráficos do perfil A-A' e Perfil B-B':

A) Informação geológica (CPRM, 2000);

B) Relevo Topográfico baseado em dados de altitudes do modelo digital de elevação global (ASTER GDEM);

C) Anomalia Residual do Campo Magnético de Intensidade Total;

D) Amplitude do Sinal Analítico da anomalia residual do campo magnético de intensidade total;

E) Gradiente Horizontal da Anomalia Residual do Campo Magnético de Intensidade total.