

## Expressão geofísica do Lineamento Transbrasiliano na porção sul da Bacia Parnaíba

Rafael D. Santos<sup>1</sup>; David L. de Castro<sup>1</sup>; Francisco Hilário R. Bezerra<sup>1</sup>; Roberta M. Vidotti<sup>2</sup>; Reinhardt A. Fuck<sup>2</sup>

1 – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN

2 – Instituto de Geociências - UNB

Projeto financiado pela Petrobrás

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<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

This work presents a qualitative interpretation of aeromagnetic and gravity signatures of a segment of the Transbrasiliano Lineament (LTB) in the Parnaíba Basin, North-Northeast Brazil. The LTB represents an elongated NE-SW-oriented feature about 9,700 km long. The present study investigates the geophysical expression of the LTB as a key feature to understand its Mesozoic-Paleozoic evolution and its relationship with the Precambrian basement. The magnetic signature of the Parnaíba Basin is very complex. The magnetic anomalies range from -370 to 238 nT throughout the basin. The magnetic lineaments have a NE-SW principal direction, and subordinate N-S and E-W directions. Thus, four different magnetic fields were characterized using the amplitude map of the analytical signal. The gravity data show a significant gradient in the study area ranging from -90 mGal to -18 mGal. The regional map of gravity anomalies is characterized by soft anomalies, but with long wavelength, about 450 km. The residual anomaly map highlights gravimetric lineaments related to the structures of the upper crust. These lineaments have major NE-SW direction and subordinate NW-SE. The internal structures of the basin, as depocenters and internal structural highs, are also oriented in the NE-SW direction of the Transbrasiliano Lineament.

### Introdução

O Lineamento Transbrasiliano representa uma feição alongada de cerca de 9.700 km, com orientação NE-SW, que cruza o território brasileiro do Ceará ao Mato Grosso e prossegue para sudoeste, penetrando no Paraguai e Argentina (Schobbenhaus et al., 1975) (Fig. 1). Este lineamento é demarcado na Bacia do Parnaíba por falhas orientadas na direção NE-SW, que cortam rochas paleozóicas e mesozóicas, e por diques de diabásio, orientados no mesmo sentido. O Lineamento Transbrasiliano teria se mantido ativo desde sua instalação no Neoproterozóico até o presente (Cunha, 1986). O presente estudo analisa a porção do Lineamento Transbrasiliano presente na Bacia do Parnaíba.

Localizada na porção oeste do Nordeste Setentrional, a Bacia do Parnaíba é do tipo intracratônica. Ela é preenchida por rochas sedimentares do Siluriano ao Cretáceo e se estende por cerca de 660.000 km<sup>2</sup> (Nunes, 1993). Englobando parte dos estados do Maranhão, Piauí, Pará, Ceará e Tocantins, a bacia é limitada por arcos estrutu-

rais e faixas móveis de alto grau, retrabalhados durante a Orogenia Brasileira (750-500 Ma). O pacote sedimentar, de origem essencialmente terrígena, teve sua deposição em condições de estabilidade tectônica e apresenta espessura máxima de 3.500 m na porção central da bacia (Góes & Feijó, 1994).

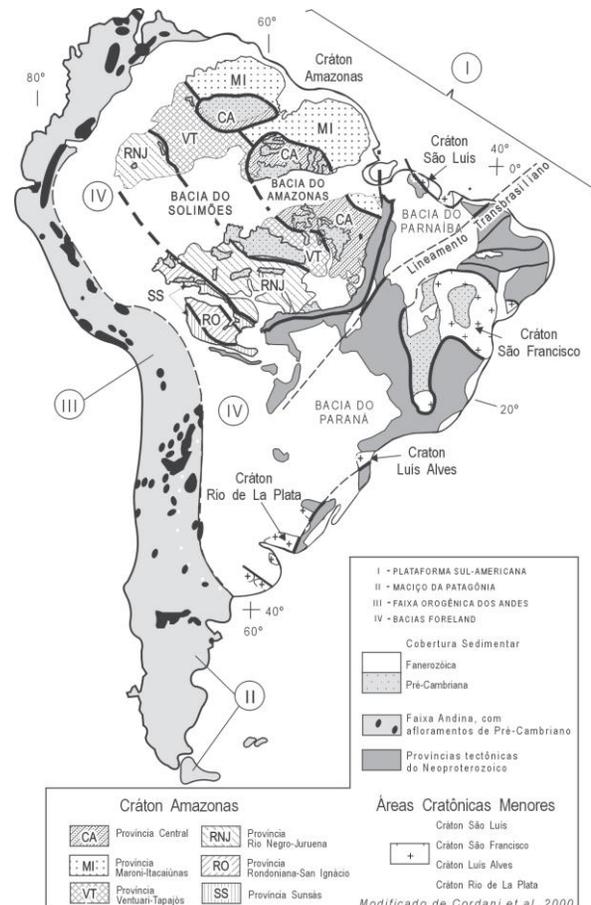


Figura 1 – Localização do Lineamento Transbrasiliano na América do Sul (retirado de Bizzi et al., 2003)

A hipótese mais aceita para origem da Bacia Parnaíba é a de uma contração térmica e adensamento litosférico ocorrido no final da Orogenia Brasileira, provocando fragmentação de um supercontinente no Neoproterozóico. A possível quebra deste supercontinente tem sido discutida por diversos autores como Lindsay et al. (1987), Lindsay (1991), Klein (1991), Hartley & Allen (1994), Góes et al. (1990) e Sousa (1996).

Nesta bacia encontra-se uma sequência transgressiva-regressiva associada ao avanço e recuo do mar (Mesner & Wooldridge, 1964), com a sedimentação iniciando na

Formação Riachão e terminando com a Formação Poti, (Kegel, 1956), depositados do Ordoviciano ao Terciário. Em adição, rochas intrusivas e extrusivas estão relacionadas a eventos magmáticos de idades juro-triássica a eocretácea (Góes & Feijó, 1994).

A atividade magmática na Bacia do Parnaíba ainda é pouco estudada. O magmatismo na bacia ocorreu aparentemente em pulsos durante o Jurássico Inferior e o Cretáceo Médio, o que representa o mais longo registro de atividade vulcânica que afetou uma bacia intracratônica no Brasil (Sousa, 1996). As soleiras de diabásio intrudem as seqüências devonianas (Grupo Canindé) em sua grande maioria e, secundariamente, seqüências silurianas (Grupo Serra Grande). O magmatismo da bacia é bimodal em idade e representado por fluxos de basalto toleiótico, as formações Mosquito e Sardinha (Sousa, 1996).

A presente pesquisa tem como objetivo o estudo de um segmento do Lineamento Transbrasiliano, com base no processamento de dados magnéticos e gravimétricos aerotransportados, visando compreender sua estruturação. O segmento do lineamento estudado encontra-se na região Norte-Nordeste do Brasil, abrangendo os Estados do Maranhão, Piauí e Tocantins (Fig. 2).

A interpretação dos mapas geofísicos serviu de base para análise estrutural de escala regional, mais especificamente para a compreensão da evolução da arquitetura interna, deformação e distribuição de tensões na formação da bacia.

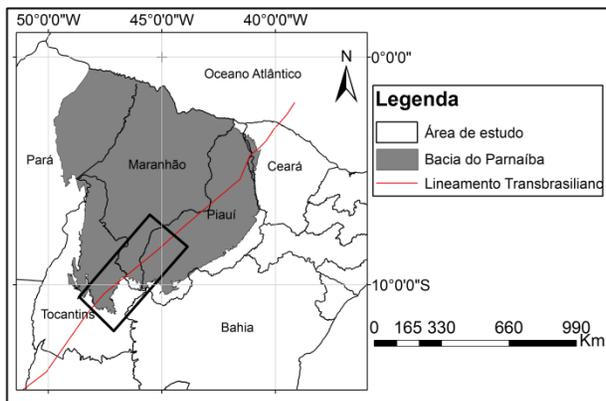


Figura 2 – Mapa de Localização da área de estudo.

## Metodologia

O conjunto de dados utilizado neste trabalho foi cedido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Bicomustível (ANP), na forma de arquivos digitais. Tais dados foram levantados no período de 12 de Fevereiro de 2005 a 23 de Agosto de 2006. A área do levantamento gravimétrico e magnético do Projeto Aerogeofísico Parnaíba cobre toda a Bacia do Parnaíba, estendendo-se sobre partes de vários estados das regiões Norte e Nordeste (Fig. 3). O levantamento aerogeofísico constou do recobrimento de uma área de 748.612,4 km<sup>2</sup>, ao longo de 183.877,03 km lineares de perfis aerogravimétricos e aeromagnetométricos de alta resolução, com linhas de vôo e controle espaçadas de 6 km e 24 km, respectivamente, orientadas nas direções E-W e N-S (Fig. 3).

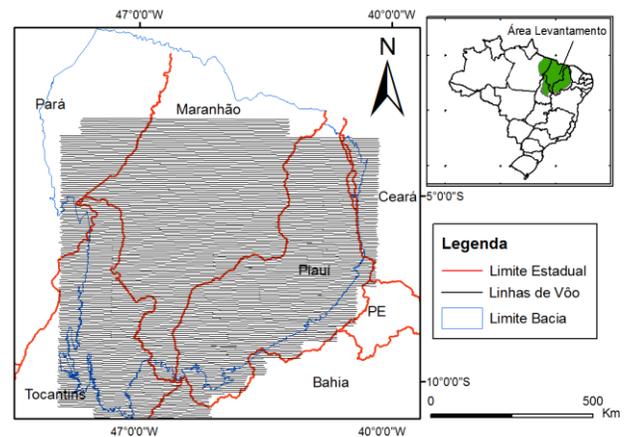


Figura 3 – Mapa das linhas de vôo do levantamento do Projeto Aerogeofísico Parnaíba. As linhas de vôo têm direção E-W e espaçamento de 6 km.

A correção dos dados foi realizada no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Nos dados magnéticos, foram realizadas as seguintes correções: Correção de Erro de Paralaxe, Remoção da Variação Magnética Diurna, Remoção do campo geomagnético principal (*International Geomagnetic Reference Field – IGRF*), Nivelamento dos Perfis, que consiste no ajuste das linhas de controle com base em uma superfície tensionada, gerada por *Splines* cúbicos, seguindo a tendência geral das linhas de controle, evidenciando as linhas desniveladas e Micronivelamento dos Perfis, que envolve a geração de *grids* auxiliares, resultantes da aplicação de filtros passa-alta tipo Gaussiano e/ou *Butterworth*, com comprimento de onda da ordem de 2 km, atuando na direção das linhas de vôo e de controle. Já aos dados gravimétricos foram feitas as correções de Latitude-Gravidade Normal, Arlivre, Eötvs, Acelerações Dinâmicas, Bouguer, Nivelamento e Micronivelamento, ambos idênticos ao método anterior (Andrade et al., 2006).

## Resultados

### Magnetometria

Com os dados processados foi possível gerar um mapa do campo magnético anômalo, ou seja, foi retirada a componente principal do IGRF, usando malha regular de 1,5 km, por meio do método de interpolação de curvatura mínima (Fig. 4A). Todavia estes dados apresentavam ruídos. Assim, foram aplicadas diversas técnicas de filtragem com o intuito de melhorar a relação sinal/ruído, destacando-se o filtro cosseno direcional. Utiliza-se o filtro cosseno direcional quando surge nos dados interpolados um ruído direcional devido à alta concentração de informações ao longo das linhas de vôo, interferindo na resposta magnética (Cordell et al., 1992). Por meio do filtro cosseno direcional os ruídos apresentados na direção da linha de vôo foram atenuados (Fig. 4B). O mapa de redução ao pólo (Fig. 4C) consiste em fazer com que a anomalia magnética seja independente das componentes direcionais do campo geomagnético. Posteriormente, foram calculadas as derivadas horizontais em x e y (DX e DY nas Fig. 4D e 4E), e a primeira derivada vertical (DZ -

Fig. 4F), com intenção de obter a amplitude e fase do sinal analítico tridimensional, que representam uma gama de métodos automáticos, utilizando gradientes verticais e horizontais das anomalias (Nabighian, 1984; Roest et al., 1992). O sinal analítico caracteriza-se por ampliar os curtos e atenuar os longos comprimentos de onda do sinal geofísico nas três direções ortogonais, realçando as bordas e os contatos de feições geológicas e falhas.

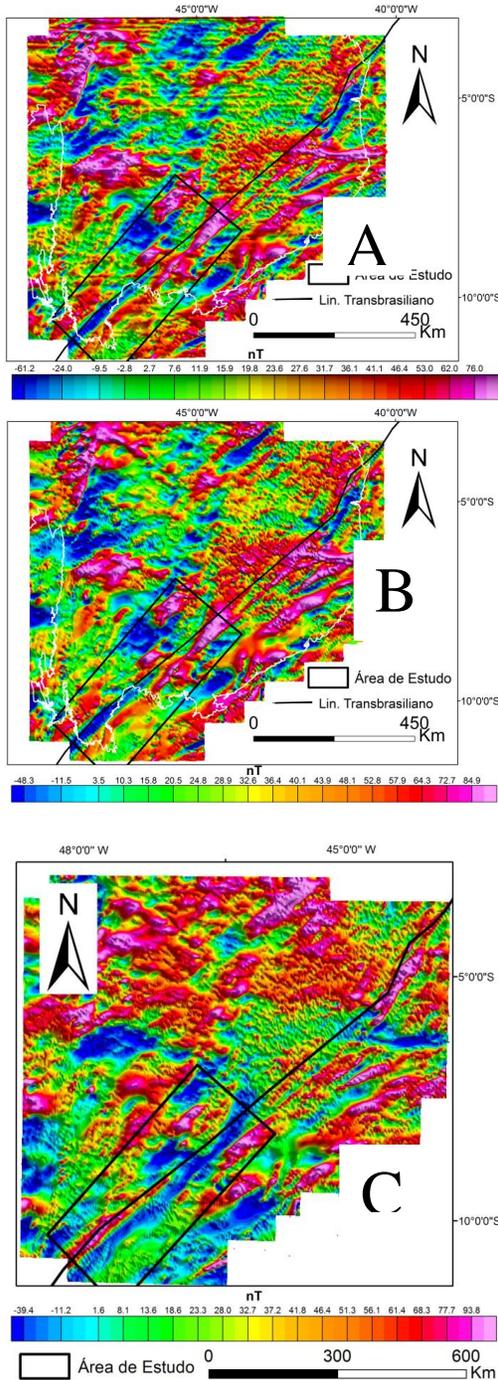


Figura 4 – Campo magnético anômalo residual (A); Campo magnético anômalo residual, após aplicação do filtro cosseno direcional (B); Campo Geomagnético reduzido ao pólo (C).

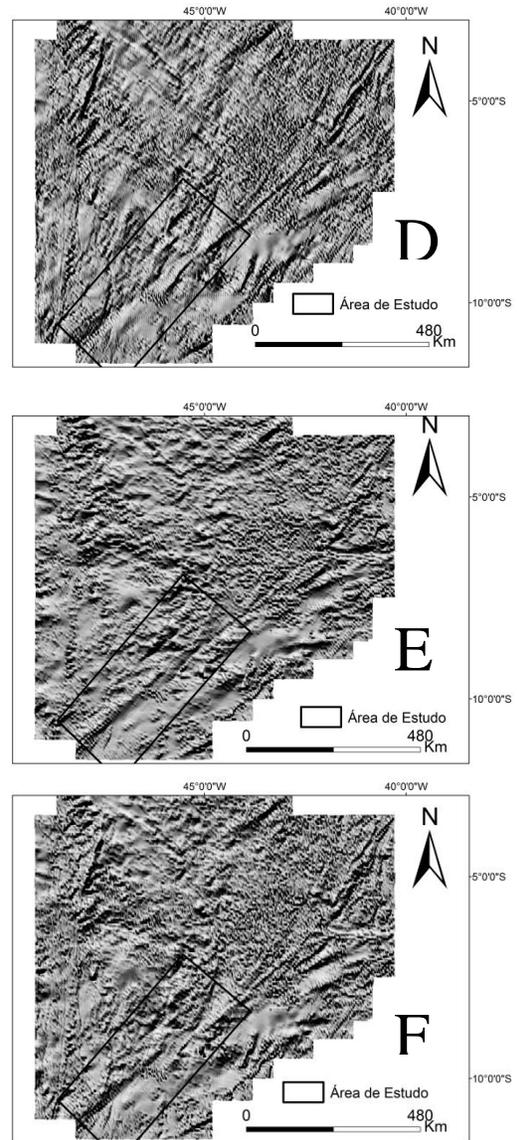


Figura 4 – DX – Derivada horizontal em X (D); DY – Derivada Horizontal em Y (E) e DZ – Derivada Horizontal em Z (F).

A amplitude de sinal analítico é expressa por um vetor de adição das primeiras derivadas com as componentes reais nas direções x e y e na componente imaginária na direção z, e é dada pela seguinte fórmula:

$$|A| = \sqrt{\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}}$$

onde A é a amplitude do sinal analítico, T o campo geomagnético, e dx, dy e dz são as derivadas parciais de segunda ordem nas direções ortogonais x, y e z, respectivamente (Reynolds, 1997). Seu resultado realça contatos magnéticos e suas profundidades (Fig. 5). Já a fase de sinal analítico é definida pelo ângulo formado pelos vetores imaginários da 2ª derivada em z e pelos vetores reais em x e y, calculada pela seguinte fórmula:

$$|F| = \frac{\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}}{\sqrt{\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}}}$$

A fase ou inclinação do sinal analítico representa o intuito de estimar o mergulho e o contraste de susceptibilidade das fontes causadoras de anomalias (Fig. 6).

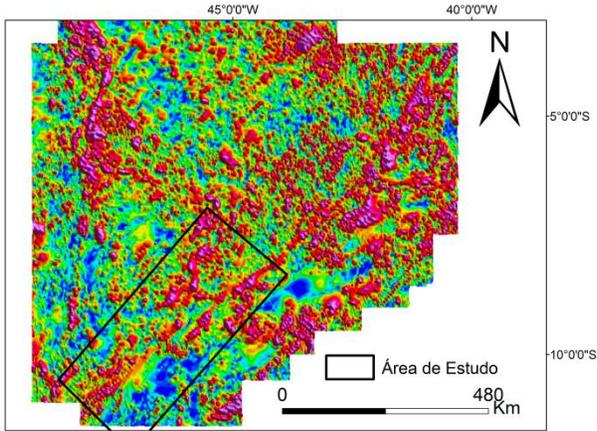


Figura 5 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA).

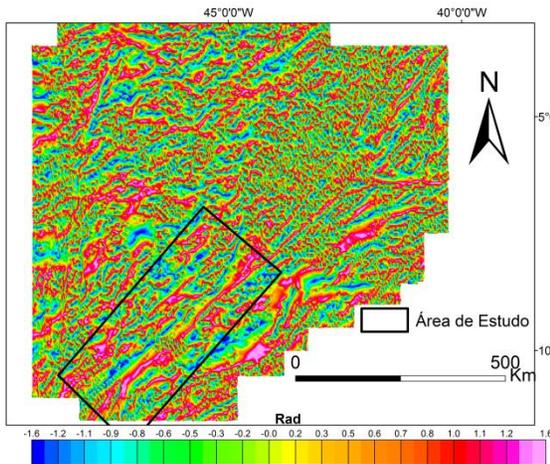


Figura 6 – Mapa da Fase do Sinal Analítico (FSA).

### Gravimetria

Os dados gravimétricos também foram processados com intuito de melhorar a qualidade dos mapas gravimétricos. Assim, foi possível gerar um mapa de anomalias Bouguer, que foi interpolado, utilizando o método de mínima curvatura. Este método utiliza *splines* bi-dimensionais para mensurar os dados na direção das linhas de produção, gerando uma superfície suavizada com os valores o mais próximo possível do original (GEOSOF 1996), em malha regular de 1,5 km (Fig. 7). As componentes regionais e residuais foram separadas por meio de filtro espectral, que se baseia na distribuição gaussiana das fontes gravimétricas em função de suas profundidades. Este operador funciona como um filtro passa-baixa para gerar o mapa de anomalias Bouguer regionais (Fig. 8) e passa-alta para o mapa de anomalias Bouguer residuais (Fig. 9). A separação regional-residual do sinal gravimé-

trico tem como objetivo melhorar a visualização das assinaturas gravimétricas das fontes rasas e profundas, causadoras das anomalias gravimétricas.

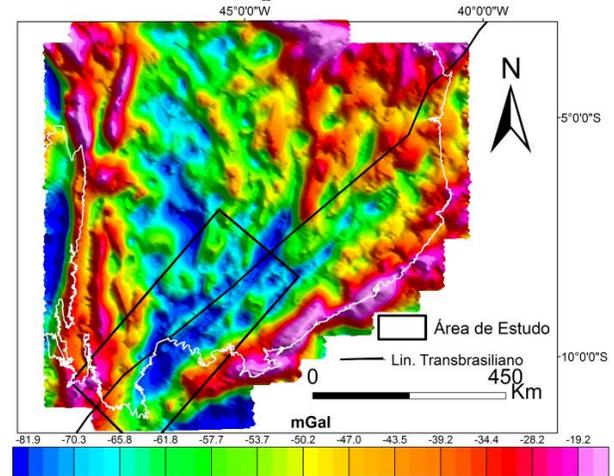


Figura 7 – Mapa de Anomalia Bouguer, interpolado com o método de mínima curvatura.

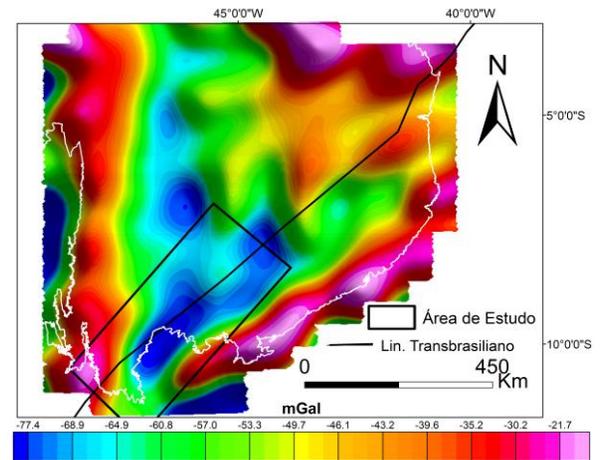


Figura 8 – Mapa de anomalias gravimétricas regionais.

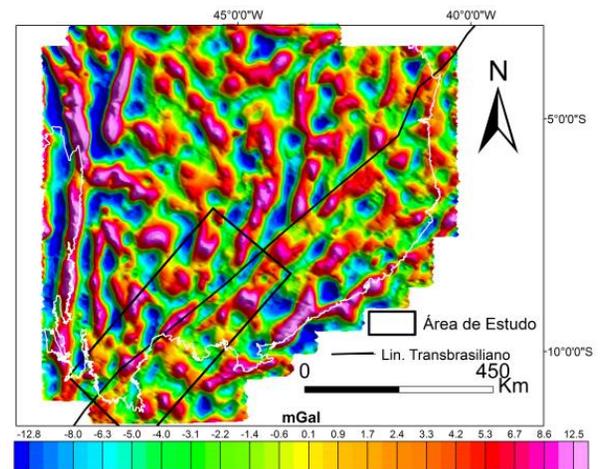


Figura 9 – Mapa de anomalias gravimétricas residuais.

## Discussão

### Anomalias Magnéticas

A assinatura magnética da Bacia do Parnaíba mostra-se bastante complexa. Em toda a bacia, as anomalias magnéticas variam de -370 a 238 nT. O mapa da fase do sinal analítico foi utilizado na identificação dos lineamentos magnéticos, que representam extensos alinhamentos na direção principal NE-SW, seguindo o padrão do Lineamento Transbrasiliano e direções subordinadas NW-SE e E-W (Fig. 10).

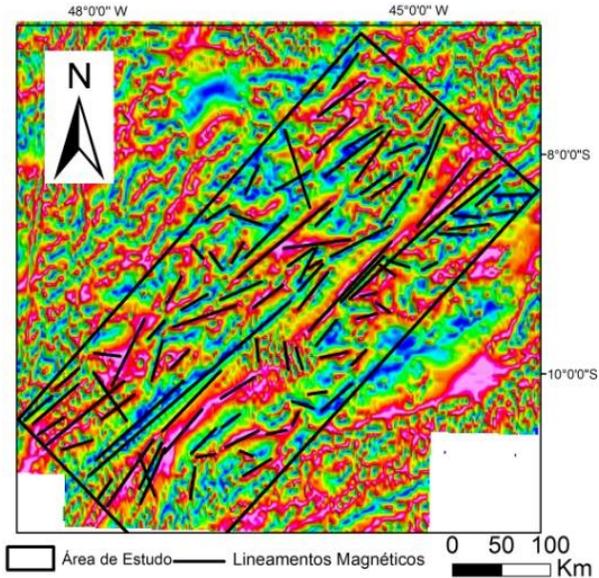


Figura 10 – Fase de sinal analítico com lineamentos magnéticos traçados.

As anomalias com valores negativos e de maior comprimento de onda (>450 km) ocorrem associadas a feições de caráter mais profundo. É o que ocorre com o Lineamento Transbrasiliano no centro da área. O mapa de amplitude de sinal analítico foi utilizado para determinação de domínios magnéticos (Fig. 11). A região SE e central até o norte da área de estudo apresenta relevo magnético com amplitudes baixas, denominado de D1, de forma alongada e direção principal NE-SW. Esta região possui anomalias magnéticas negativas (-130 nT) e lineamentos exclusivamente NE-SW, demarcando uma das áreas de maior depocentro da Bacia do Parnaíba. A NE do domínio D1, o domínio D2 é caracterizado por anomalias magnéticas positivas e lineamentos na direção NE-SW e E-W, possuindo uma forte anomalia (158 nT) no seu extremo norte. No extremo noroeste da área de estudo, o domínio magnético D3 é caracterizado por uma anomalia negativa (-98 nT), alongada também na direção NE-SW. Por fim, o domínio magnético D4 é caracterizado por anomalias positivas alongadas na direção NE-SW. Os lineamentos deste domínio possuem direção principal NE-SW e subordinadamente nas direções N-S e E-W. Ainda neste domínio, o extremo norte é caracterizado por anomalia positiva de 174 nT e o extremo sul por anomalia de 133 nT (Fig. 11).

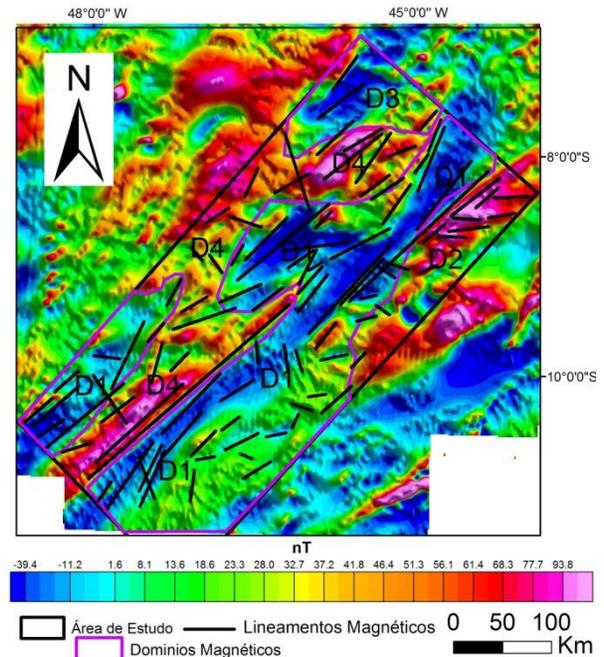


Figura 11 – Mapa dos domínios magnéticos e lineamentos magnéticos sobreposto ao mapa de redução ao pólo.

### Anomalias Gravimétricas

As anomalias Bouguer apresentam um significativo gradiente, variando entre -102 mGal no interior da bacia a 9 mGal nas regiões adjacentes (Fig. 7). O mapa de anomalias gravimétricas regionais caracteriza-se por anomalias suaves, porém com longo comprimento de onda. O gradiente gravimétrico na área de estudo varia de -90 mGal a -18 mGal. Mesmo com valores pouco discrepantes nota-se que por onde passa o Lineamento Transbrasiliano há uma expressiva anomalia negativa (-81 mGal) de grande comprimento de onda (>450 km) e eixo principal NE-SW, sugerindo importante déficit de massa na base da crosta (Fig. 8). Já o mapa de anomalias residuais realça os lineamentos gravimétricos relacionados às estruturas da crosta superior (Figs. 8 e 12). Esses lineamentos possuem direção principal NE-SW e subordinadamente NW-SE. Os lineamentos gravimétricos positivos concentram-se nos extremos da área estudada e na parte central com um pico positivo de 13 mGal. Os lineamentos gravimétricos negativos ocorrem em quase toda a área com valores de pequena amplitude, variando entre -19 a -2 mGal. Destaca-se no norte da área um lineamento negativo com valor de -14 mGal.

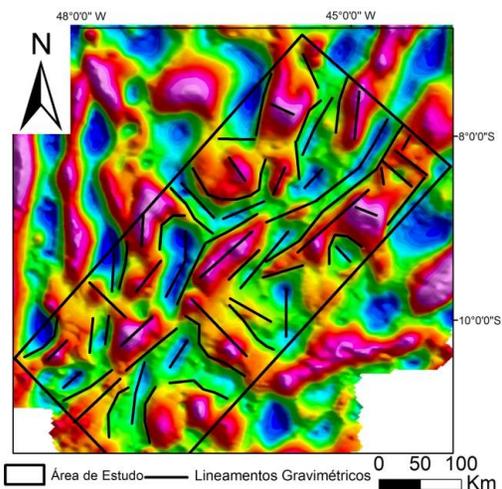


Figura 12 – Mapa de anomalias residuais com os principais lineamentos gravimétricos.

### Conclusões Preliminares

Até o presente momento, os mapas de anomalias magnéticas amplitude e fase de sinal analítico, reduzido ao pólo e anomalias gravimétricas residuais permitiram analisar de forma qualitativa uma complexa estruturação regional orientada no sentido do Lineamento Transbrasiliiano (NE-SW). Os mapas de anomalia Bouguer e regional são dominados por anomalias negativas no centro da bacia. Estes depocentros são caracterizados por um baixo conteúdo magnético e uma baixa densidade do pacote sedimentar. Nossos dados preliminares concordam com o trabalho de Aguiar (1971) e Cordani et al. (1984), que indica que os principais depocentros da bacia estão localizados sobre estruturas brasileiras, como os cinturões do Médio Coreaú e Gurupi e ao longo do lineamento Transbrasiliiano. Expressivos lineamentos magnéticos e gravimétricos possuem direção principal NE-SW, subordinadamente NW-SE e E-W, em alguns casos N-S. Esses grandes prolongamentos geofísicos indicam que essas feições sofreram importantes reativações durante o Cretáceo, podendo ser confirmado no mapeamento estrutural nesta região da Bacia do Parnaíba.

### Agradecimentos

Ao projeto Lineamento Transbrasiliiano: Origem, Evolução e influência na sedimentação de Bacias Fanerozóicas (Rede Temática de Estudos Geotectônicos), coordenado pelo Dr. Reinhardt A. Fuck (UnB) e financiado pela Petrobrás. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) pela concessão dos dados geofísicos. R.D. Santos é bolsista de doutorado da CAPES pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - UFRN, D.L. de Castro; F.H.R. Bezerra; R.A. Fuck e R.M. Vidotti são bolsistas de produtividade do CNPq.

### Referências

**Andrade, F.A.R., Konzen, L. 2006.** Levantamentos aerogeofísicos para identificação de áreas com ocorrência potencial de petróleo e gás na Bacia do Parnaíba, p.9-23. Convênio ANP-USP

**Aguiar, F.G. 1971.** Revisão geológica da bacia paleozóica do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo.

**Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J.H. (eds.) 2003.** Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM, 630p.

**Cordani, U.G., B.B. Brito Neves, R.A. Fuck, R. Porto, A.T. Filho, & F.M.B. Cunha, 1984.** Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Revista Ciência Técnica Petróleo, Rep. 15, 70pp., PETROBRÁS, CENPES, Rio de Janeiro, Brasil.

**Cordell L., Phillips J.D. & Godson R.H. 1992.** US Geological Survey Potential-Field geophysical software, Version 2.0. USGS, Open-File Report, 92-18.

**Cunha, F. M. B. 1986.** – Evolução paleozóica da bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 107 pag. (dissertação de mestrado)

**GEO-SOFT. 1996.** MAGMAP 2-D frequency domain processing.

**Góes A.M.O., Souza, J.M.P., Teixeira, L.B. 1990.** Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. Bol. Geociências da Petrobras, 4(1), 55-64.

**Góes A.M.O., Feijó F.J., 1994.** Bacia do Parnaíba. Bol. Geociências da Petrobras, 8(1), 57-67.

**Hartley, R. W. & Allen, P. A., 1994.** – Interior cratonic basins of Africa: Relation to Break-up and role of mantle convection, basin Res., 6, p. 95-113.

**Kegel, W. 1956.** As inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas adjacentes. DNPM / DGM. Rio de Janeiro. 59 p. (Boletim 160).

**Lindsay, J. F., 1991.** Origin and evolution of North-American cratonic basins, S. Afr. J. Geol., 94 (1): p. 3-18.

**Lindsay, J. F., Korsch, R. J. & Wilford, J. R., 1987.** – Timing the breakup of a Proterozoic supercontinent: Evidence from Australian intracratonic basins, Geology, 15: p. 1061-1064.

Mesner, J. C. & Wooldridge, L. C. 1964 - Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, North Brazil. Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 48: 1475-1512.

**Nabighian M. 1984.** Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations. Geophysics, 49: 780-786.

**Reynolds J.M. 1997.** An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley & Sons, 796 p.

**Roest W.R., Verhoef J. & Pilkington M. 1992.** Magnetic interpretation using the 3-D analytical signal. Geophysics, 57(1): 116-125.

**Schobbenhaus Filho, C. Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E. (coords.), 1975.** Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Brasília, DNPM.

**Sousa, M. A., 1996.** Regional gravity modelling and geohistory of the Parnaíba basin (NE Brazil). Ph.D. thesis, Univ Newcastle upon Tyne, England., 127pp.