



Interpretação dos dados magnéticos do Bloco 1, PGBC, Goiás.

Roberto Alexandre Vitória de Moraes (*), Evandro Machado da Cunha Filho, Heitor de Araujo Franco; HGeo-Tecnologia em Geociências Ltda. e Tolentino Flávio de Oliveira, Companhia Mineira de Metais.

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-Científica 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.

Resumo

Mostram-se aqui alguns resultados do processamento de dados magnéticos pertencentes ao Bloco 1 do Projeto Geofísico Brasil-Canadá (1975/76). Fez parte de um trabalho bem mais extenso que visou à integração de seus resultados aqueles obtidos de dados gamaespectrométricos, geoquímicos e geológicos visando à modelagem de favorabilidade para mineralizações de interesse a Companhia Mineira de Metais. Compreendeu o processamento, apresentação interpretação e integração de 81.000 km de perfis distribuídos sobre uma área de 118.600 km². A interpretação feita possibilitou um melhor entendimento do intrincado arcabouço estrutural desta região e da distribuição de litotipos ocorrentes na área do projeto.

Introdução

A interpretação de dados magnetométricos tem possibilitado obter informações importantes sobre o arcabouço tectônico e unidades lito-estruturais, feições chaves para o entendimento do arcabouço geológico da região em estudo. O fato de as assinaturas magnéticas medidas não serem, em geral, afetadas por solos e outras coberturas locais, permite que se faça um mapeamento destas de forma contínua fato que favorece um melhor discernimento sobre fatos relativos à geologia local.

A HGeo – Tecnologia em Geociências vem realizando processamento de dados, objetivando a apresentação, interpretação e integração em dados de geofísica e de outras geociências com metodologia própria. O objetivo tem sido o mapeamento geológico e, em especial, em sua aplicação à prospecção mineral. Incluem-se aqui técnicas para a obtenção de imagem para os diversos campos geofísicos usados e suas interpretações qualitativa e quantitativa. Têm-se empregado nesta última, modelagens e inversões, paramétricas e estruturais, regionalizadas e localizadas. Ênfase tem sido empregada nas suas integrações às demais informações geocientíficas e o uso de técnicas de análise (geológica) de modelos (favorabilidade).

O trabalho em questão fez parte de um processamento mais amplo que visou à integração da magnetometria aos

resultados da gamaespectrometria, da geoquímica e da geologia com o objetivo da modelagem de favorabilidade quanto à ocorrência de jazimentos minerais. Foram conduzidos para a Companhia Mineira de Metais (CMM), aqui no fito de se verificar o que a magnetometria pode representar em termos de unidades magnéticas e de estruturas lineares associadas, de seus limites crustais laterais, das falhas e de qualquer assinatura geofísica que possa ser indicativa de alvos propícios à ocorrência das mineralizações procuradas.

A área estudada (Figura 1) é conhecida como Bloco 1 do Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC).

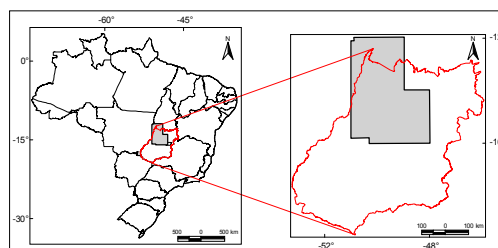


Figura 1 – Localização da área estudada, compreendendo o norte do Estado de Goiás, sudoeste de Tocantins e oeste do Mato Grosso.

Abrange parte da Província Estrutural Tocantins que inclui terrenos com idades que vão do Arqueanos ao Neoproterozóico, além de unidades fanerozóicas.

Esta província foi distinguida por Almeida (1977, 1981) e Almeida *et al.* (1981) como a região situada entre os crátons do São Francisco a leste e Amazônico a oeste e limitada ao norte pela bacia do Parnaíba e ao sul, pela do Paraná. É composta por faixas dobradas consolidadas no Ciclo Brasileiro (450 ~ 750 Ma) e por um maciço com idades superiores a 2,6 Ga. As faixas dobradas compõem essencialmente de rochas supracrustais e, eventualmente, por intrusões graníticas. O maciço é composto de ortognaisses, *greenstone belts*, granulitos, complexos máfico-ultramáficos metamorfizados e seqüências meta-vulcanossedimentares.

São aqui reconhecidas três unidades geotectônicas em suas porções central e norte, representadas pelo Maciço de Goiás e Arco Magmático, pela Faixa Brasília e pela Faixa Paraguai-Araguaia.

Metodologia

Os dados geofísicos usados foram adquiridos entre 1975/76 e compreendem 81.000 km de perfis espaçados

de 2 km (com detalhamentos locais para 1 km), distribuídos numa área com 118.600 km². Os dados foram coletados a altura constante (*drape flight*) a uma altura nominal de 150 m controlada por radar-altímetro. A navegação foi visual com a recuperação das trajetórias voadas por filmes de câmera de rastreamento. Foram usados magnetômetros de janela de fluxo com medições espaçadas de 1 s (~ 70 m; Carmo, 1978).

Processamento

Foram seguidas quatro etapas. A **primeira** referiu-se a um controle de qualidade dos dados (eliminação de *spikes*). A **segunda**, à geração das interpolações em malhas regulares. O melhor resultado aqui foi obtido com splines bi-cúbicas (BiGrid™). A **terceira** tratou da correção das muitas imperfeições notadas (desnivelamentos), objetivando homogeneizar a representação espacial dos dados interpolados. Foram usadas técnicas de micronivelamento (Minty, 1991) e de decorrugação (Geosoft, 1996). A **quarta** etapa consistiu na junção das duas malhas referentes aos dois aerolevantamentos numa representação única (o regional com 2 km de separação e o detalhe, com 1 km).

O processamento em si consistiu da geração de uma série de temas usados na interpretação.

Sinal Analítico: Conceito introduzido por Nabighian (1972, 1974 e 1984) no estudo dos campos potenciais visando encontrar um processo semi-automatizado de interpretação das fontes geradoras deste. O sinal analítico de ordem n do campo magnético anômalo (M) pode ser expresso como (Hsu et al., 1996; Roest et al., 1992):

$$\bar{A}_n(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^n M}{\partial z^n} \right) \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^n M}{\partial z^n} \right) \hat{y} + i \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial^n M}{\partial z^n} \right) \hat{z} \quad (1)$$

onde $n = 0, 1, 2 \dots$ é a ordem do SA, M é o campo potencial e $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$, vetores unitários de posição. A amplitude e a derivada da inclinação (semelhante a fase) local vêm da própria notação complexa acima.

Na acepção empregada, permitiu o mapeamento das fontes magnéticas (amplitude) e da estrutura/textura do campo magnético (fase).

Derivadas Verticais: No domínio de Fourier é dada por:

$$\mathfrak{F} \left[\frac{\partial^n V}{\partial z^n} \right] = |k|^n \mathfrak{F}[V] \quad (2)$$

onde, V é o campo potencial; \mathfrak{F} representa a transformada de Fourier da função entre colchetes; n é o índice da ordem de derivação; $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ é o número de onda superficial definido como $2\pi/\lambda$, i.e., inversamente proporcional ao comprimento de onda superficial λ ; e k_x e k_y são os números de onda segundo os eixos

equivalentes no domínio de Fourier a X e Y (Blakely, 1995).

Possibilitou o estudo do comportamento de fontes magnéticas tanto mais rasas quanto maior o índice n .

Magnitude do gradiente horizontal: É dada por:

$$h_n(x, y) = \sqrt{\left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^n M}{\partial z^n} \right) \right]^2 + \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^n M}{\partial z^n} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Auxiliou na demarcação dos limites horizontais das fontes magnéticas (Blakely e Simpson, 1986).

Deconvolução de Euler: A equação de Euler, escrita como:

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (4)$$

onde (x_0, y_0, z_0) representa a posição da fonte magnética cujo campo T é detectado em (x, y, z) sobre um campo regional B , com N sendo interpretado como o índice estrutural (Reid et al, 1990). Este mede a razão de variação do campo com a distância (Thompson, 1982). No caso, os mais importantes foram: 0, contatos e 1, corpos diqueiformes.

Interpretação

Compreendeu, resumidamente, os seguintes passos:

- (i) estudo do campo magnético anômalo na área do projeto;
- (ii) estudo do espectro radial de potência do campo magnético anômalo em três seções da área do projeto (partes norte, centro e sul);
- (iii) estudo das feições lineares que pudessem significar elementos estruturais importantes no contexto da área;
- (iv) estudo das unidades magnéticas, principalmente sobre as imagens da amplitude e da fase do sinal analítico, e da deconvolução de Euler para a caracterização dos domínios magnéticos;
- (v) definições do arcabouço estrutural e das unidades magnéticas presentes na área.

Os dois primeiros passos deixam antever que há, pelo menos, quatro classes de fontes magnéticas principais, quanto às profundidades em que se encontram. Uma mais funda, com profundidades maiores que 20 km, seguida por outra a 8 km, depois por uma intermediária, ao redor de 4 km, e outra mais superficial, com profundidades centradas entre 0 e 2 km.

É um tanto difícil conjecturar-se sobre as naturezas destas quatro famílias de fontes magnéticas pela falta de dados sobre o comportamento em profundidade das unidades

geológicas em jogo. Porém, é possível inferir que todas pertençam ao embasamento cristalino local, com as três famílias de fontes mais profundas representando fontes intracrustais e a mais rasa, à parte aflorante local.

Unidades magnéticas (e feições lineares) – Foram traçadas com base nas imagens do campo magnético anômalo (CMA), da amplitude e da fase do sinal analítico, das derivadas verticais, do gradiente horizontal e da Deconvolução de Euler.

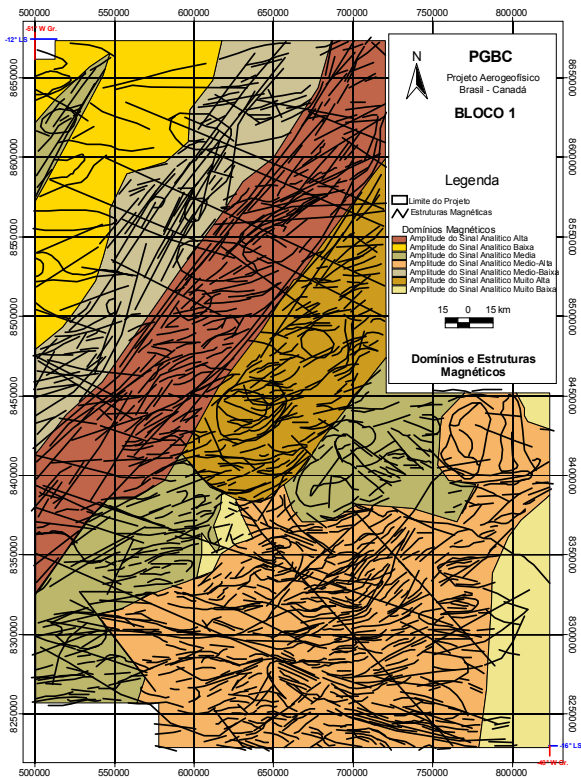


Figura 2 – Mapa das Unidades e Estruturas Magnéticas interpretadas.

Verifica-se (Figura 2) que as unidades interpretadas aparecem como bandas e manchas magnéticas com intensidades de magnetização diferentes e com relevos magnéticos característicos.

Pode-se afirmar que a diversidade de unidades magnéticas e suas distribuições relativas na área, retratam um quadro magneticamente coerente e bem detalhado. Possivelmente, revela assinaturas de unidades lito-estratigráficas de forma bem mais completa e complexa que aquela que poderia ser mapeada geologicamente, devido às dificuldades inerentes a esta tarefa em terrenos com perfil de solos desenvolvido, como é o caso. Contudo, chama-se atenção para que unidades interpretadas como semelhantes em termos de características magnéticas em vários locais possam ter significados geológicos diferentes, ou seja, mesmo que semelhantes magneticamente representem assinaturas de litologias/estratigrafias diferentes.

As feições magnéticas lineares e não lineares tiveram como balizamento em seu traçado os resultados das deconvoluções de Euler ($n=1$ esta mostrado na Figura 3).

De uma maneira geral, há um predomínio de estruturas com orientação NE-SW, com aquelas orientadas NW-SE ocupando o segundo lugar em importância, seguidas por outras próximas a E-W ou a N-S. Estas tendências estão em algumas partes mescladas e formam muitas estruturas curvilíneas, algumas arredondadas.

Na interpretação feita procurou-se compatibilizar a densidade desta demarcação à escala de trabalho (1:250.000). A variedade de direções que podem assumir deixa patente a origem complexa e que só um estudo mais paciente destes, interligado ao da cinemática dos fraturamentos / falhamentos na área, pode contribuir para a correta elucidação, avaliação e entendimento das inter-relações que os permeia e os originam. Sobre este último item, por vezes, é possível verificar que uma direção desloca a outra. Porém isto é visível em caráter muito local e muitas vezes indicando relações diferentes e conflitantes quando atravessam diferentes feições magnéticas dispostas na área, para que se possa extrapolar este fato como inter-relações específicas.

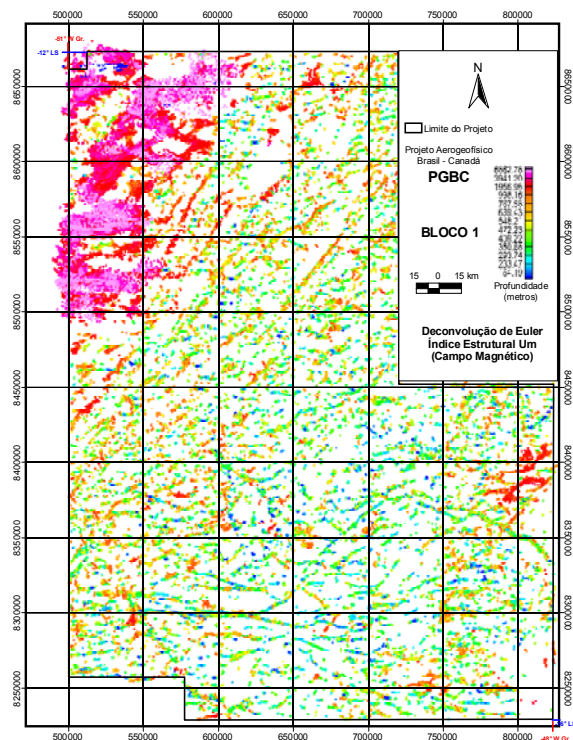


Figura 3 – Mapa com as posições espaciais das fontes interpretadas na deconvolução de Euler, para o índice estrutural 1 (um). A profundidade cresce em sentido ao roxo (de 0 a cerca de 2.000 m).

Deconvolução de Euler. Possivelmente representa uma das contribuições mais importantes da interpretação

magnética em foco. Refere-se a uma modelagem onde se procurou determinar a posição espacial de fontes magnéticas para cada índice estrutural (Thompson, 1.982). Entre os resultados conseguidos com as deconvoluções de Euler, aquelas pertinentes ao índice estrutural 0 (contatos) foram importantes no delineamento das feições na porção NW da área, enquanto as dos índices 1 a 3 permitiram delinear o quadro das fontes magnéticas nas demais partes da área de estudo. Representam as indicações com menores dispersões nestas áreas e devem representar mais coerente e espacialmente as fontes magnéticas nestes locais.

Sumário e Conclusões

A interpretação de dados magnéticos do Bloco 1 do PGBC mostrou a possibilidade de mapeamento de assinaturas e feições magnéticas que completam bastante o conhecimento da geologia da região estudada. Suas pertinências às unidades lito-estratigráficas estabelecidas necessitam de maior apoio da geologia porém, localmente, o quadro delineado mostra-se bem mais detalhado que aquele verificado nos mapas geológicos.

Permitiu também esboçar um quadro com feições magnéticas lineares e não lineares representativas de fraturamentos/falhamentos de diversas naturezas que romperam e deslocaram as rochas locais.

Chama atenção ao perfeito delineamento da zona de fraturamento do Trans-Brasiliano (faixa em marrom, Figura 2), quase imperceptível geologicamente pela cobertura sedimentar sobreposta. Permitiu uma melhor definição e traçado representativo da complexa e intrincada tectônica da parte centro-sudeste da região abrangida e forneceu elementos estruturais e litológicos à modelagem de favorabilidade.

Referências

- Almeida, F.F.M. de, 1977, O Cráton do São Francisco: *Rev. Bras. Geoc.*, **7**, 349-364.
- Almeida, F.F.M. de, 1981, O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco: Bahia (Salvador), SBG, Simpósio Cráton do São Francisco e Faixas Marginais, Anais, 1-9.
- Blakely, R. J., e Simpson, R. W., 1986, Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies: *Geophysics*, **51**, 1494-1498.
- Blakely, R. J., 1995, *Potential theory in gravity e magnetic applications*: EUA, Cambridge University Press.
- Carmo, S.D., 1978, Programação e execução do Projeto Geofísico Brasil-Canadá: Pernambuco (Recife), SBG, **5**, 30º Congr. Bras. Geol., Anais, 2233-2247.
- GEOSOFT, 1996, *MAGMAP 2-D; Frequency domain processing*: Canadá, GEOSOFT Inc.
- Hsu, S. K., Sibuet, J. C. e Shyu, C. T., 1996, High-resolution detection of geological boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytical signal technique: *Geophysics*, **61**, 373-386.
- Minty, B. R. S., 1991, Simple micro-levelling for aeromagnetic data: *Expl. Geoph.*, **22**, 591-592.
- 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**, 507-517.
- Nabighian, M. N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: *Geophysics*, **39**, 85-92.
- Nabighian, M. N., 1984, Towards a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relation: *Geophysics*, **49**, 957-966.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., e Somerton, W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, **55**, 80-91
- Roest, W. R., Verhoef, J., e Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-d analytical signal: *Geophysics*, **57**, 116-125.
- Thompson, D. T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, **47**, 31-37.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CMM e a HGeo a permissão para a apresentação deste trabalho.

