

## Inversão de dados magnetométricos aplicada a prospecção de ouro na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero

Thiago José Augusto Madeira\*, Maria Sílvia Carvalho Barbosa  
Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V 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.

### Resumo

Para qualquer programa de exploração mineral regional a integração dos mais diversos tipos de dados sempre foi atividade fundamental. O Quadrilátero Ferrífero (QFe) possui uma grande quantidade de dados geológicos e aerogeofísicos, sendo um excelente campo para o desenvolvimento do processo de inversão. A integração dos dados geológicos aos geofísicos e modelos de mineralizações já conhecidos, viabiliza a prospecção de novas áreas com potencial de mineralização. Através da inversão dos dados magnetométricos, Deconvolução de Euler, pode-se inferir não só a existência de corpos mineralizados como também estimar a profundidade média desses corpos. Adotando este procedimento na porção NE do QFe foi possível a determinação de importantes estruturas associadas a mineralizações auríferas e da sua geometria em profundidade.

### Introdução

A geofísica tem se desenvolvido de forma efetiva na prospecção mineral indireta e no mapeamento geológico de áreas regionais. Com a grande melhoria das técnicas digitais para a integração de diferentes tipos de dados, aliadas a ferramentas analíticas, a manipulação e o processo de análise de dados são executados sem grande trabalho, com a agilidade e resultados compatíveis com a realidade observada em campo.

Durante os séculos XVIII e IX, o Brasil liderou a produção mineral de ouro, principalmente da região do Quadrilátero Ferrífero (QFe) (Vial et al. 2007a). O ouro foi produzido em várias minas, sendo a maioria dos depósitos hospedados no Grupo Nova Lima, arqueano. O ouro ocorre em corpos de minério sulfetados, maciços a disseminados, em metacherts, formações ferríferas bandadas e em veios de quartzo de várias idades e condicionamentos estruturais (Tavares 1998).

A área em estudo localiza-se na porção NE do QFe por ser marcante a presença de minas de ouro. Nessa área, que abrange as quadrículas de Caeté e Belo Horizonte (Baltazar et al. 2005), possui o levantamento aerogeofísico da DNPM/CPRM (1996 in Baltazar et al. op cit) – Projeto Rio das Velhas (Figura 1).

Neste trabalho, a integração da geofísica à geologia, teve como objetivo precípua a caracterização de áreas potencialmente mineralizadas em ouro, com base em modelos de mineralização conhecidos.

Dentre os objetivos específicos do trabalho, ressaltase: (i) levantar as estruturas da região, com enfoque naquelas associadas às zonas mineralizadas; (ii) estudar as estruturas da área para modelar a geometria das zonas de alteração hidrotermal com base nos dados geofísicos, de campo (quando possível) e nos dados estruturais (bibliográficos).

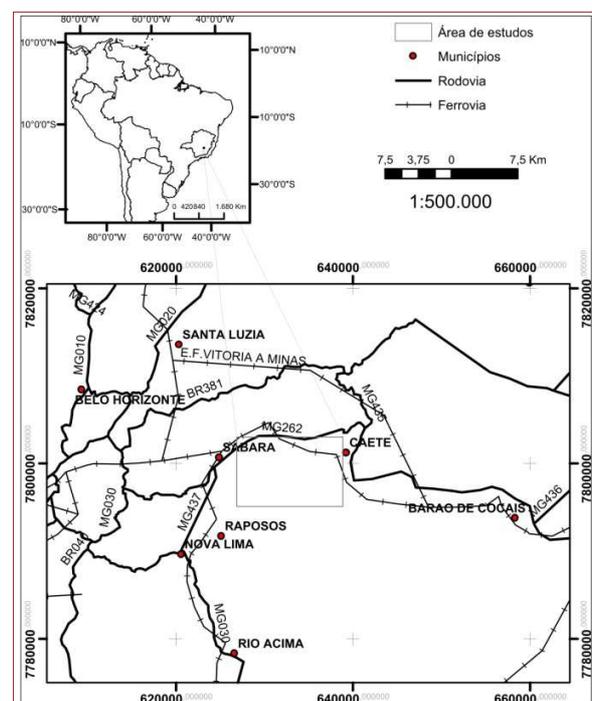


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo com as principais vias de acesso e municípios.

A partir da entrada inicial de dados em áreas com depósitos minerais conhecidos (minas ativas ou inativas, por exemplo) é possível a formulação de um modelo que pode ser aplicado em escala regional. As ocorrências são utilizadas como parâmetros para o selecionamento de áreas não exploradas, mas com características favoráveis e que possibilitem avaliações mais detalhadas e a possível exploração mineral.

Desta forma, a utilização desta metodologia, ou seja, integração dos dados geológicos aos dados geofísicos e modelos de mineralizações já conhecidos, viabiliza a prospecção de novas áreas com potencial de mineralização.

### Metodologia

Utilizaram-se como base de dados geológicos os mapas do Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG, convênio USGS/DNPM (1952-1969), e a integração ao mapeamento geológico do convênio DNPM/CPRM (1992-1996). A integração dos projetos supracitados é um SIG do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, a partir dos mapas 1:25.000 dos projetos USGS/DNPM e DNPM/CPRM (Baltazar *et al.* 2005).

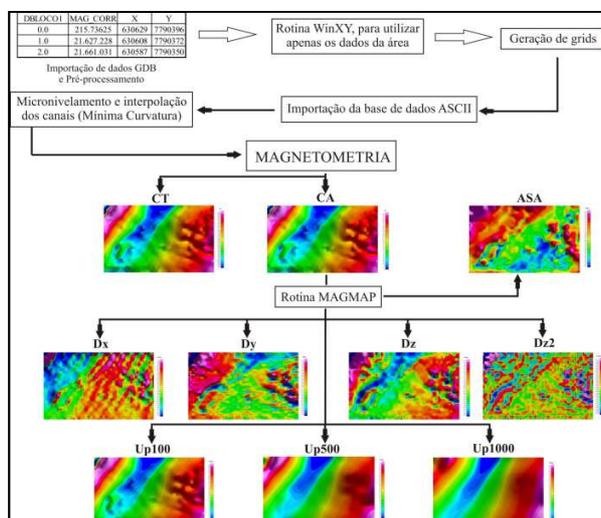


Figura 2: Fluxograma dos mapas temáticos magnetométricos.

A base de dados geofísicos sintetiza as informações do Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero e faz parte do Programa de Distritos Mineiros, DNPM, e de Províncias Mineraias, CPRM, denominado Projeto Rio das Velhas (PRV). O levantamento aerogeofísico do PRV, conduzido por helicóptero – Bell212 com sistema de orientação GPS e Radar Altimétrico, manteve o sensor magnético em "bird", com amostragem a intervalos de 0,1 segundos (Zucchetti *et al.* 1996). O espaçamento (Bloco l) das linhas de produção, N40°W, é de 250m e das linhas de controle, N50°E, de 5000m (Hildenbrand & Perez da Gama 1993 *in* Silva 1999). Os dados levantados tiveram registros analógicos e digitais, gravados em fitas magnéticas, com todos os valores medidos em vôo e nas estações base.

Os dados aerolevantados (arquivo ASCII) foram importados para o Oasis Montaj 7.0.1 e, posteriormente, gerou-se um arquivo ".gdb". Pela rotina WINXY, os dados foram processados possibilitando o destaque e

identificação das anomalias na área de estudos, pela aplicação de filtros (Carneiro & Barbosa 2008). Os dados foram interpolados pelo método de mínima curvatura, em malha regular de 300m e gerados vários mapas temáticos magnetométricos (Figura 2 – fluxograma MAG).

Com o software Euler (versão 1.00) realizou-se a inversão (Deconvolução de Euler) dos dados magnetométricos no perfil coincidente com o perfil geológico. Possibilitando a estimativa das estruturas em profundidade.

Na etapa final foi realizado um levantamento de campo para elaboração de perfil geológico, a ser integrado com o perfil de inversão.

### Resultados

Na área, realizou-se um perfil de magnetometria (amplitude do sinal analítico) de 9km de direção NW-SE, perpendicular às principais estruturas (Figura 3).

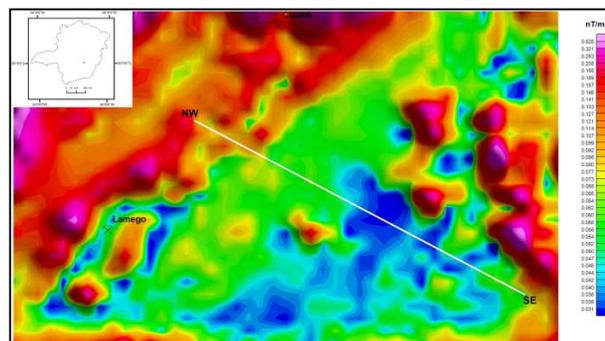


Figura 3: Localização do perfil magnetométrico sobre o mapa de amplitude do sinal analítico.

Para maior confiabilidade dos resultados o tamanho da janela utilizado deve ser pequeno, pois quanto menor o tamanho da janela maior será a resolução dos resultados. As janelas fornecem estimativas de localização única da fonte causadora da anomalia magnética. Quando todas as estimativas são inseridas ao longo de um perfil elas tendem a se agrupar em torno do contraste de magnetização. Para um índice estrutural igual a zero, e.g., são utilizados todos os pontos da janela para resolver a equação de Euler, para a fonte de posição  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ , e estimar os mínimos quadrados (valores de background da solução).

A fim de delimitar os corpos com boas estimativas foram utilizados os seguintes parâmetros: janela com o tamanho 15, índice estrutural igual a 1 e profundidade máxima de estimativa de 3.500m (Figura 4).

O perfil de Deconvolução de Euler apresenta zonas bastante dobradas e falhadas em todo perfil. O valor mais alto de magnetização no perfil de deconvolução (porção NW) está sobre a zona com maior deformação, como observado no mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero

do Projeto Rio das Velhas, na charneira da megradobra

com deformação transcorrente e movimento destal.

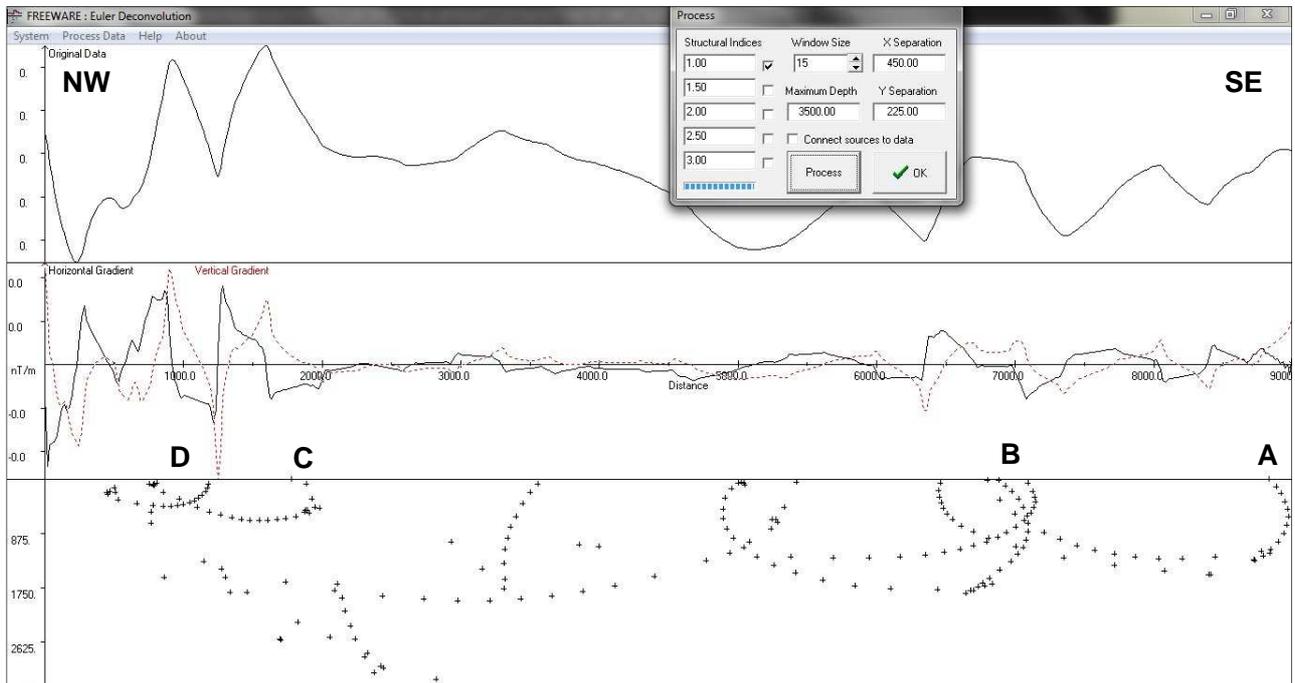


Figura 4: Perfil de deconvolução magnetométrico gerado no software livre Euler 2D.

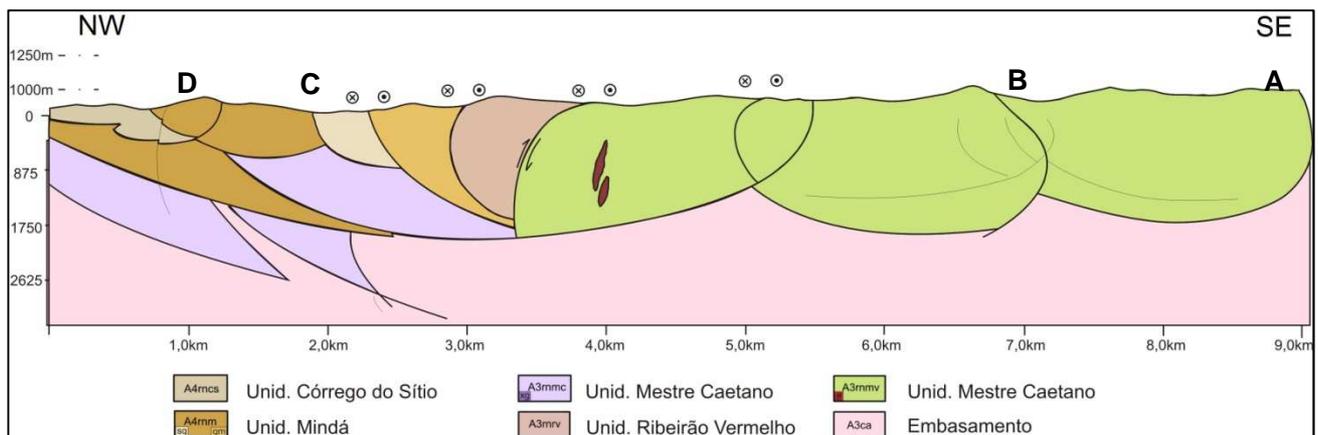


Figura 5: Integração do perfil geológico com a inversão do perfil magnetométrico, informações do mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Projeto Rio das Velhas, e dados de campo. O perfil de deconvolução apresenta exagero vertical de 5x e o perfil topográfico apresenta-se sem exagero vertical.

Coincidente com o perfil geofísico supracitado, realizou-se sobre a Estrada Ferro Central do Brasil (EFCB), ramal Sabará – Caeté, um perfil geológico a fim de averiguar as estruturas determinadas pelo perfil de deconvolução. Grande parte do caminhamento do perfil geológico afloram as rochas do Grupo Nova Lima, predominantemente clorita xistos fortemente foliada e anostomosado, com caimento para SSE.

As principais estruturas observadas no ponto A (Figura 4) foram camadas dobradas com forte foliação e

tectonismo condizente com o evento Brasileiro, com transporte tectônico E-W, ESE-WNW. No ponto B (Figura 4), observou-se uma zona de cisalhamento com tectonismo de ESE-WNW e vergência para oeste, além da drenagem encaixada com azimuth 50°. No ponto C (Figura 4) onde se observa concentração de estruturas (falhamentos), em profundidades de até 1.750m, há um rio bem encaixado com direção azimuthal 320°. No ponto D (Figura 4), é observado um dobramento nas camadas inferiores e uma forte foliação nas camadas superiores, similarmente ao observado no ponto A. Constata-se,

ainda, o mesmo tectonismo condizente com o evento Brasileiro.

Integrando a resposta em profundidade obtida da inversão ao perfil geológico realizado, interpretou-se o perfil geológico-geofísico (Figura 5). Ao longo do caminhamento (SE-NW) sobre as rochas aflorantes do Grupo Nova Lima, foi constatada a principal foliação com mergulho SE, além de diversas zonas de cisalhamento, coincidente com o tectonismo Transamazônico (NW-SE) e com o ciclo Brasileiro (E-W), transcorrências destrais e drenagens encaixadas paralelas aos lineamentos apresentados no mapa magnetométrico.

Na porção NW da área, com deformação mais intensa, a drenagem também é encaixada, a foliação é mais penetrativa e as rochas da Unidade Ribeirão Vermelho ocorrem sotopostas tectonicamente às da Unidade Mindá. Nessa região, observam-se comumente boudins e estruturas *pint-and-swell* métricas, além de veios boudinados e disseminados intrafolial com estrutura de cavalgamento.

Ressalta-se ainda que as minas de Cuiabá e Lamego (Figura 3), que são minas ativas de ouro, estão alinhadas no *trend* estrutural NE-SW e que a área de maior deformação (pontos C e D – Figura 4), de mesmo *trend*, é onde existe a maior probabilidade de ocorrência de ouro, uma vez que este bem mineral está fortemente condicionado a estrutural.

### Discussão e Conclusões

Com este trabalho fica evidente a importância da geofísica aérea em campanhas de exploração mineral, uma vez que a cobertura espessa de solos em nosso território vem impossibilitando a busca direta de recursos minerais.

O profundo conhecimento geológico das mineralizações existentes na região possibilitará a construção mais efetiva de um modelo a ser confirmado pelas informações obtidas na inversão.

Com a inversão magnetométrica foi possível estimar a continuidade em profundidade das unidades litoestratigráficas, inclusive a repetição de camadas. Tectonicamente falando, a inversão estratigráfica das unidades Ribeirão Vermelho e Mindá (Zucchetti & Baltazar 1998), o que corrobora com a interpretação que a porção NW do perfil é a que possui tectonismo mais intenso.

Desta forma, aplicando-se de maneira correta, a interpretação geofísica pode aperfeiçoar ao máximo os programas de exploração mineral, pela maximização da taxa de cobertura da área e pela minimização das perfurações requeridas.

Analisando o modelo de mineralização das minas de Cuiabá e Lamego, no qual se observa o *trend* estrutural NE-SW, sugere-se a prospecção mineral na porção NW do perfil de inversão magnetométrica por estar no mesmo *trend* e apresentar uma deformação mais intensa.

### Agradecimentos

Agradecemos a CPRM Serviço Geológico do Brasil pela permissão de utilizar os dados geológicos e geofísicos para fins acadêmicos.

### Referências

Baltazar O. F. & Zucchetti M. 1998. Projeto Rio das Velhas. Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, em escala 1:100.000. DNPM/CPRM, Belo Horizonte.

Baltazar O.F., Baars F.J., Lobato L.M., Reis L.B., Achtschin A.B., Berni G.V., Silveira V.D. 2005. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato et al. (2005) CODEMIG. Belo Horizonte.

Carneiro M. A. & Barbosa S. C. 2008. Implicações geológicas e tectônicas da interpretação magnetométrica da região de Oliveira, Minas Gerais. Rev. Bras. Geof., 26(1):87-98.

Silva A. M. 1999. Integração de dados geológicos e geofísicos utilizando-se uma nova técnica estatística para seleção de alvos para exploração mineral, aplicada ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero. Universidade Federal de Brasília, Tese de Doutorado, 195p.

Tavares P. 1998. Identificação de áreas potencialmente favoráveis à mineralização aurífera, a partir de dados estruturais e aerogeofísicos aplicados a terrenos do tipo "Greenstone belt": O caso da Folha Caeté, QF, MG. Departamento de Geologia/Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Tese de Doutorado, 209p.

Vial D. S., Groves D. I., Cook N. J., Lobato L. M. 2007. Special issue on gold deposits of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Ore Geology Reviews, 32: 469-470.

Zucchetti M., Baltazar O. F., Raposo F. O. 1996. Estratigrafia. In: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio das Velhas – Texto Explicativo do Mapa Integrado, escala 1:100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, 13-42.