

Inversão 3D de dados Magnéticos na Região de Mara Rosa – Goiás, Brasil, utilizando Geosoft VOXI

Ray Diego Barbosa, Geosoft Latinoamerica; Janaína Gattermann Pereira, Geosoft Latinoamerica.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th 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 13th 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 paper presents the use of 3D Inversion in the cloud, VOXI, within the Oasis montaj platform, to magnetic sources, of pre-selected areas in the region of Mara-Rosa GO-Brazil. This paper used the Magnetization Vector Inversion (MVI) and Iterative Reweighting Inversion (IRI) techniques in order to obtain results more focused and closed to the geological reality. The tool was very useful and applicable for low magnetic latitude regions and the results shows correlation with the local geology, and coincides with regional structures and bodies composed mainly of igneous and metamorphosed sedimentary rocks.

Introdução

Os trabalhos de modelagem são um desafio em termos de confiabilidade devido à grande variedade de resultados obtidos a partir dos dados geofísicos, e a complexidade geológica das áreas investigadas.

Este trabalho mostra a aplicação da ferramenta VOXI em uma área já muito estudada localizada no norte do Estado de Goiás, Brasil, na região do Município de Mara Rosa (Fig.1). O objetivo do trabalho é mostrar a aplicabilidade da ferramenta, principalmente em áreas de baixa latitude magnética, e a relevância de seus resultados. Na Fig. 3 também é possível visualizar as três áreas alvo deste trabalho, selecionadas baseando-se nas ocorrências minerais obtidas através dos dados CPRM (2004) (Fig.3). São elas: Amaralina Mara Rosa, Campos Verdes e Santa Terezinha.

Contexto Geológico

Almeida *et al.* (1977), baseando-se nas feições tectono-estratigráficas, individualizou dez províncias estruturais no Brasil, dentre as quais as do São Francisco, Paraná e Tocantins abrangem o Estado de Goiás. Regionalmente, a área de estudo está inserida na Província Estrutural do Tocantins.

A Província Estrutural do Tocantins, conforme definida por Almeida (1977), é uma entidade geotectônica posicionada entre os crátons do São Francisco e Amazônico, constituída por terrenos de diversas idades (desde Arqueano ao Neoproterozóico), estabilizada no

final do Ciclo Brasileiro. Os terrenos situados na área do Estado de Goiás são representados por espessas seqüências de rochas supracrustais dobradas e metamorizadas durante o Ciclo Brasileiro (faixas Brasília/Araguaia/Paraguai); por fragmentos arqueanos de composição essencialmente granítico-gnáissica, onde estão incluídas seqüências Vulcano-sedimentares tipo greenstone belt; e por terrenos antigos, granulitizados no Brasileiro.

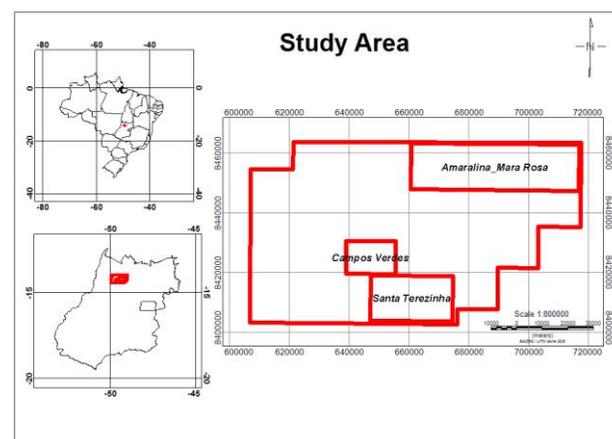


Fig. 1 – Localização da área de estudo e das três áreas alvo selecionadas para inversão.

No final do Ciclo Brasileiro, um evento colisional amalgamou os Crátons Amazônico e São Francisco (Almeida, 1968, 1977; Almeida *et al.*, 1981; Cordani *et al.*, 1984) e a principal consequência desse processo convergente é a geração do Arco Magmático de Goiás, há aproximadamente 900Ma (Pimentel & Fuck, 1987), resultado do fechamento do Oceano de Goiás por subducção da respectiva litosfera oceânica.

A evolução do Arco Magmático foi acompanhada por diferentes períodos de acreção crustal em ambiente de arco de ilha intra-oceânico (Pimentel *et al.*, 1997; Laux, 2004). Os principais registros desta história estão presentes na região de Mara Rosa e Arenópolis, onde predominam terrenos ortognáissicos expostos entre seqüências vulcano-sedimentares supracrustais de direção N30°E (Fuck *et al.* 1994; Pimentel *et al.* 2004; Dantas *et al.*, 2006). As rochas magmáticas incluem ortognáisses tonalíticos, dioríticos e granodioríticos e metamorizados em fácies anfíbolito. Na porção do Arco de Mara Rosa, as seqüências supracrustais deformadas compreendem metabasaltos, meta-tufos, grauvacas, mica-xistos, cherts, formações ferríferas, quartzitos e rochas ultramáficas metamorizadas sob condições de fácies xisto-verde alto a anfíbolito.

Espera-se uma boa resposta geofísica nesta área, uma vez que é muito deformada e metamorfizada. De acordo com Telford (1976) e Blakely (1995), as rochas ígneas e metamórficas são as que apresentam maior susceptibilidade magnética.

Teoria da Inversão

Em geral os problemas físicos são formulados para calcular a resposta à partir das propriedades físicas das rochas no interior da Terra. Este seria o problema direto (Fig. 2). No caso do problema inverso nós calculamos os parâmetros físicos à partir dos dados observados.

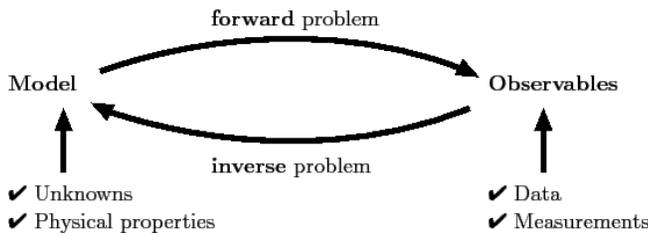


Fig. 2 – Problema Direto e Inverso

Inversão do Vetor de Magnetização (MVI)

Vamos assumir que as propriedades magnéticas da terra podem ser representadas pelo volume de magnetização, $M(r)$ (Telford *et al.* 1990). Não estamos definindo se a origem da magnetização da fonte é induzida, remanente, ou outra.

Da magnetoestática, o campo magnético B num ponto r_j resultante de um volume V contendo magnetização $M(r)$, é dado por:

$$B(r_j) = \nabla \int_V M(r) \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_j|} dr^3 \tag{2}$$

Através dessa expressão podemos ver a contribuição natural da magnetização para a inversão.

Se o volume V consiste de um conjunto de N sub-volumes V_k cada um de magnetização constante m_k , então:

$$B_\beta(r_j) = \sum_{k,\alpha}^{N,3} m_{k,\alpha} \int_{V_k} \partial_\alpha \partial_\beta \frac{1}{|r - r_j|} dr^3 \tag{3}$$

Assim é definido o problema direto: dada uma série de fontes m_k ($k=1, \dots, N$) então B_j é o campo magnético anômalo previsto nos pontos, r_j ($j=1, \dots, M$). Note que a coordenada α é somada indicando que nós estamos livres para escolher a coordenada interna mais conveniente computacionalmente. Também sugere-se

que uma coordenada invariante como a amplitude, $M(r) = |M(r)|$, será mais fortemente determinada a partir dos dados. Para simplificação, iremos apresentar a Eq (3) como:

$$B = Gm$$

O problema inverso do vetor de magnetização é definido resolvendo m dado B sujeito a uma condição de regularização apropriada (Zhdanov, 2002).

Princípio Físico do MVI

O material magnético em subsuperfície é afetado pelo campo Geomagnético da Terra e esta magnetização gera nos dipolos magnéticos uma alteração na forma como são dispostos. Esses domínios magnéticos (ou dipolos magnéticos), na ausência do campo geomagnético, são orientados de forma randômica ou aleatória (Fig. 4A).

Na presença do campo geomagnético estes domínios passam a ser orientados de maneira mais ordenada (Fig. 4B). Os fatores que vão controlar essa ordem serão a indução, remanescência, anisotropia, desmagnetização e outras. A desconsideração desses parâmetros, principalmente para regiões de baixa latitude, pode gerar interpretações equivocadas.

Softwares convencionais comumente fazem a inversão de susceptibilidade, que considera que os domínios magnéticos irão se orientar paralelamente ao campo geomagnético, o que não ocorre sempre (Fig. 4C).

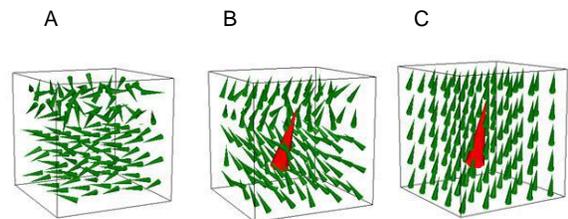


Fig.4.- (A) Domínios magnéticos aleatoriamente ordenados na ausência do campo geomagnético da Terra. (B) Domínios magnéticos mais ordenados na presença do campo geomagnético da Terra (cone vermelho). (C) Domínios magnéticos totalmente alinhados na presença do campo geomagnético da Terra (cone vermelho).

Na técnica de Inversão do Vetor de Magnetização – **MVI** (Geosoft Inc.), além da magnetização induzida, o método leva em consideração a remanência, a desmagnetização e a anisotropia dos materiais magnéticos para calcular a amplitude e direção dos domínios, dessa forma, gerando um modelo 3D muito mais real e próximo da realidade complexa das estruturas geológicas em subsuperfície.

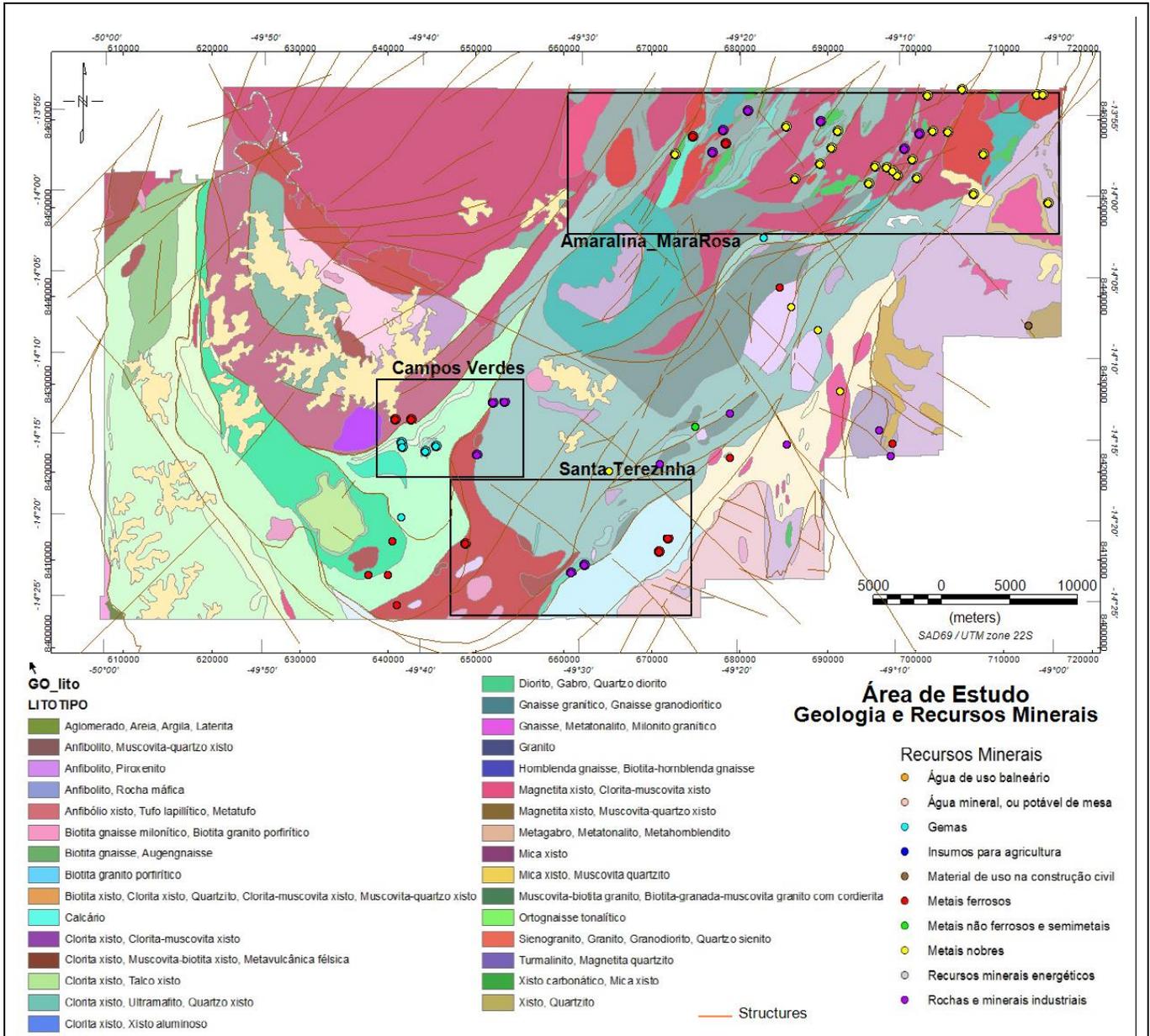


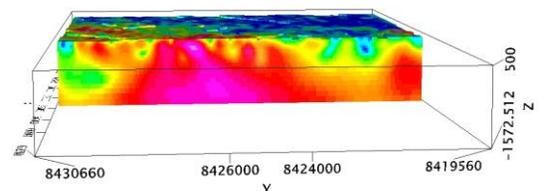
Fig 3 – Localização da área de estudo com as três áreas alvos invertidas e as ocorrências minerais (modificado de CPRM 2004).

Inversão Iterativa Ponderada (IRI)

A técnica IRI (**I**terative **R**eweighting **I**nversion) utiliza um resultado de inversão inicial como entrada e é aplicado como um vínculo em uma nova inversão para obter um modelo mais refinado e focado (Fig. 5). Esse processo de iteração pode ser repetido várias vezes até se obter um resultado final satisfatório.

Os modelos em subsuperfície obtidos com a inversão padrão não demonstram serem focados/refinados na ausência de vínculos. O VOXI foi desenvolvido para produzir modelos que somente tenham as estruturas absolutamente necessárias para reproduzir o dado de

entrada. Esses modelos não são tão focados. Por isso o IRI dá ao usuário o poder de produzir um modelo muito mais real em termos de geologia e amplitude.



A

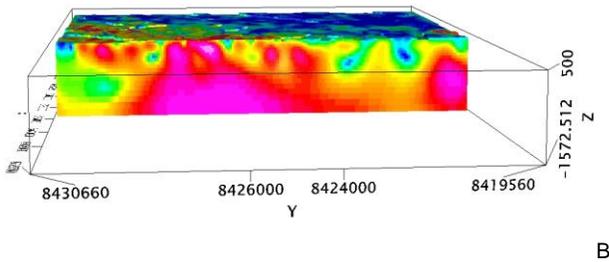


Fig. 5 – Resultado de inversão padrão (5A) e com utilização do IRI (5B) na área de campos verdes.

Exemplos

A seguir serão apresentados os modelos magnéticos 3D obtidos com a solução de inversão na nuvem da Geosoft VOXI Earth Modelling utilizando principalmente a técnica de Inversão do Vetor de Magnetização – MVI, utilizando o resultado obtido com esta inversão como entrada para a aplicação da técnica IRI (Iterative Reweighting Inversion) para obtenção de modelo mais refinado e focado. Como entrada foi utilizado o grid de Campo Total de Magnetometria, micronivelado e corrigido (Fig. 6).

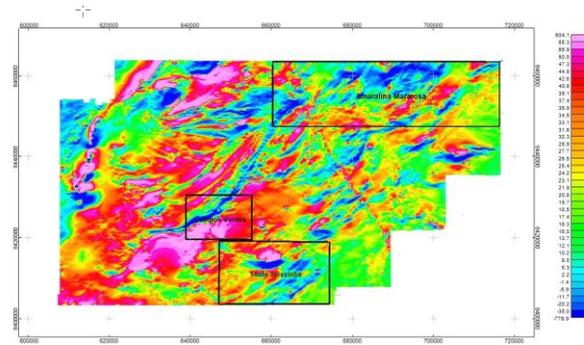


Fig.6 – Grid de Campo Total de Magnetometria com áreas alvas.

Resultados

Os modelos obtidos foram gerados com valor máximo da malha suportada pelo VOXI Earth Modelling – MVI, que é igual a 300x300 (células em x e y). Os resultados finais das inversões das áreas alvas (Fig.1 e 2) serão apresentados a seguir.

A inversão do Vetor de Magnetização (MVI) para cada área considerada gerou três Voxels como saída: Componente de Amplitude (Ampl), componente perpendicular do campo (Eperp) e componente projetada do campo (Eproj). O arquivo Voxel de Amplitude de cada uma das áreas foi utilizado como entrada para o vínculo “Reweighting” para obtenção do resultado final mais focado (MVI + IRI).

Inversão de MVI com IRI da área Amaralina Mara Rosa:

Modelo resultante da inversão de vetor de magnetização com resolução (tamanho de células): X= 115, Y= 115, Z inicial= 50

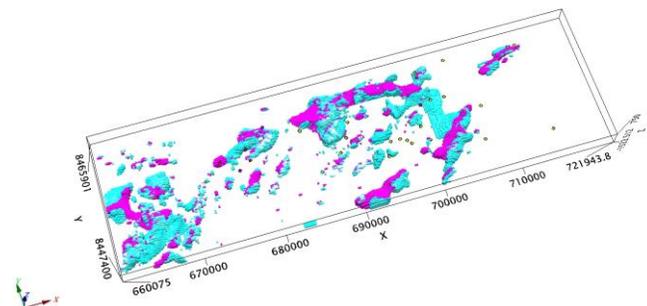
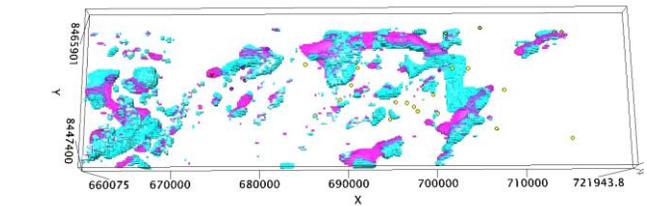


Fig.7 – Voxels clipados nos valores 0.002 e 0.003 para as Componentes projetada do campo (magenta) e perpendicular (Ciano) respectivamente.

Na área de Amaralina_Mara Rosa há grande ocorrência de metais nobres, relacionada com ortognaisses tonalíticos (metamorfizados em fácies anfíbolito), e ainda algumas ocorrências de rochas e minerais industriais e metais ferrosos. Esse último mais relacionado com rochas metavulcânicas, clorita xisto e muscovita-biotita xisto (CPRM 2004). A ausência de resultados nas áreas onde há ocorrência de metais nobres se dá justamente por serem de composição sedimentar. As ocorrências de metais ferrosos são bem marcadas nesse modelo.

Inversão de MVI com IRI da área Campos Verdes:

Modelo resultante da inversão de vetor de magnetização com resolução (tamanho de células): X= 60, Y= 60, Z inicial= 50

Na área de Campos Verdes (Fig.8), os resultados obtidos com a inversão, principalmente a componente perpendicular do campo magnético, mostraram muito bem as ocorrências geológicas representadas por rochas metamórficas como magnetita xisto, clorita-muscovita xisto e biotita gnaiss. Nessa região estão localizadas ocorrências minerais como gemas e metais ferrosos (CPRM 2004).

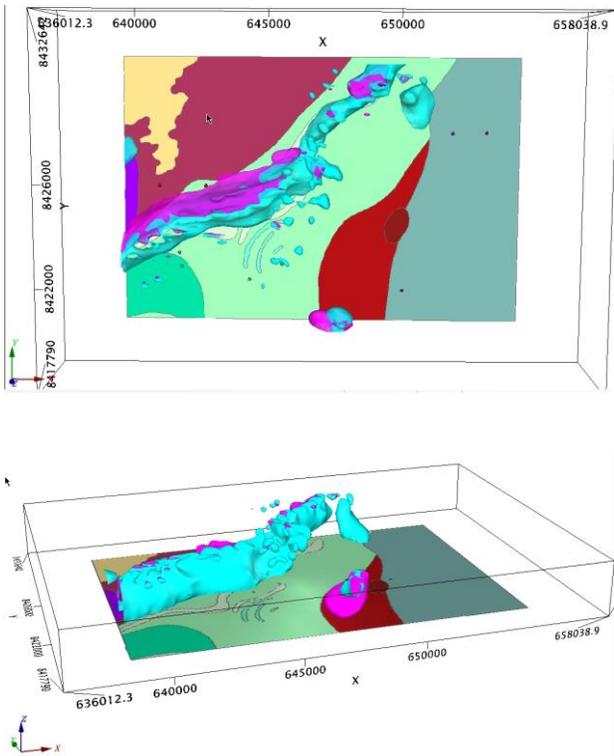


Fig.8– Isosuperfícies clipadas nos valores 0.005 com mapa geológico da área. Componente projetada do campo (magenta) e componente perpendicular (Ciano).

Inversão de MVI com IRI da área Santa Terezinha:

Modelo resultante da inversão de vetor de magnetização com resolução (tamanho de células): X= 95, Y= 95, Z inicial= 50

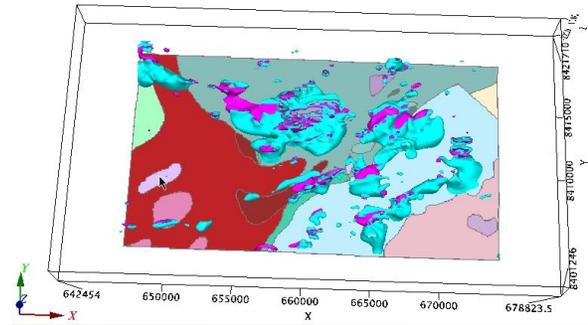
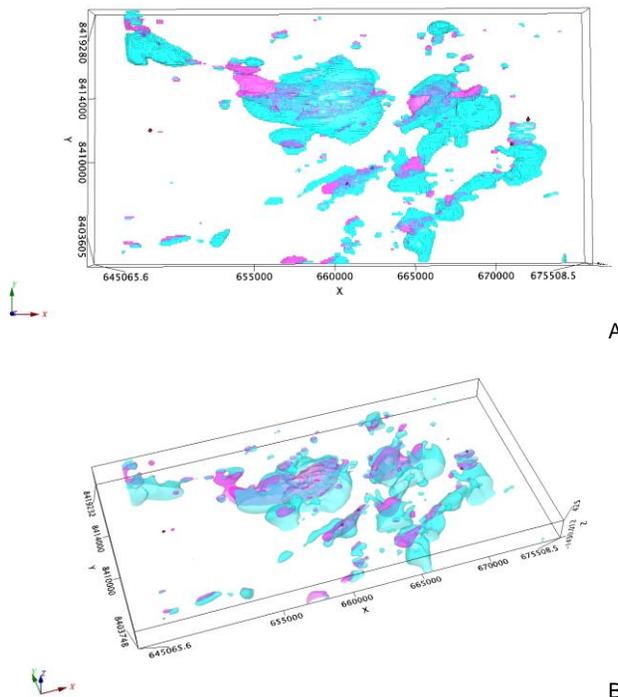


Fig.9– Voxels (9A) e Isosuperfícies clipadas nos valores 0.002 (9B) e com a representação da geologia local (9C). Componente projetada do campo (magenta) e componente perpendicular (Ciano).

Na área de Santa Terezinha (Fig. 9) observa-se uma ótima correlação do resultado da inversão com as duas ocorrências de rochas e minerais industriais no centro da área, onde ocorrem xistos e quartzitos, e também com duas ocorrências de metais ferrosos na parte leste da área. Nesta última ocorrem Anfibolitos e Muscovita quartzo-xistos. Corpos ígneos a sudoeste e ao norte da área também mostraram resultados na inversão (componente perpendicular).

Conclusões

A ferramenta mostrou-se muito útil e aplicável para regiões de baixa latitude magnética. Seus resultados, principalmente os da componente perpendicular ao campo, que é um dos diferenciais deste método (MVI), mostram correlação com a geologia local e coincidem com estruturas regionais (com direções preferencias SW-NE) e corpos compostos principalmente por rochas ígneas e sedimentares metamorfozadas encontrados na região.

Agradecimentos

Agradecimentos à Geosoft Latinoamerica, pelos recursos cedidos e à Ana Cristina Chaves, Telma Aisengart, Mariana Parda, José Luis Ando, Evelyn Meirelles e Adriana Bello pela colaboração técnica.

Referências

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, p. 349-364.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8. Campina Grande. Atas... Recife: SBG, 1977. p. 363-391.

CPRM. 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Sistema de Informações Geográficas-SIG. Folha SD22, Goiás.

DANTAS, E.L.; ARAÚJO FILHO, J.O.; OLIVEIRA, C.G.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; CHIARINI, M.F.N.; NASCIMENTO, E.L. Isótopos de Nd na Determinação de Blocos Crustais na Região de Porangatu-GO. 2006. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracajú. V.1, p.127.

FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; SILVA, J.H.D. 1994. Compartimentação Tectônica na Porção Oriental da Província Tocantins. Anais 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, SBG, 1 p.215-216.

LAUX, J.H. 2004. Evolução do Arco Magmático de Goiás com base em dados Geocronológicos U-Pb e Sm-Nd. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências.

PIMENTEL, M.M. & FUCK, R.A. 1987. Origem e Evolução das Rochas Metavulcânicas e Metaplutônicas da Região de Arenópolis (GO). Revista Brasileira de Geociências, 17, p.2-14.

PIMENTEL, M.M.; WHITEHOUSE, M.J.; VIANA, M.G.; FUCK, R.A.; MACHADO N. 1997. The Mara Rosa Arc in the Tocantins Province: Further Evidence for Neoproterozoic Crustal Accretion in Central Brazil. Pré Cambrian Reserch, 81, p.288-310.

TROMPETTE, R. 1994. Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma). Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa. Rotterdam, A.A. Balkema, 350 p

VIANA, M.G.; PIMENTEL, M.M.; WHITEHOUSE, M.J.; FUCK, R.A.; MACHADO, N. 1995. O Arco Magmático de Mara Rosa, GO: Geoquímica e Geocronologia e suas implicações Regionais. Revista Brasileira de Geociências, 25(2):111-123.

LI, Y.; OLDENBURG, D. W. 3-D inversion of magnetic data. Geophysics, v. 61, p. 394-408, 1996.

Introdução ao Geomagnetismo - J M A de Miranda

Whats is MVI? – Robert Ellis 2012 (Geosoft Blog)

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sherriff, R. E., and Keys, D. A., 1990, Applied Geophysics, Cambridge University Press.

Robert G. Ellis, Barry de Wet, Ian N. Macleod 2012, Inversion of Magnetic Data from Remanent and Induced Sources

Zdhanov, M. S., 2002, Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems, Method in Geochemistry and Geophysics 36, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.