



## Transformações quase invariantes em relação à direção de magnetização

Soraya Lozada Tuma, Carlos Alberto Mendonça  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP

Copyright 2004, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Este trabalho apresenta testes sintéticos de mapeamento de campos obtidos por transformações não-lineares aplicadas a anomalias magnéticas causadas por prismas tri-dimensionais. Por simulação em computador, foram identificadas transformações que produzem campos com menor grau de sensibilidade em relação à direção de magnetização e com maior capacidade de delimitação de fontes justapostas. Os resultados mostram que algumas transformações são mais eficientes que a amplitude do sinal analítico, que tem sido mais utilizada na prática.

### Introdução

A interpretação de mapas magnetométricos requer processamento de dados no sentido de facilitar a delimitação das rochas magnéticas do substrato. Na magnetometria, a aplicação de transformações não lineares (TNLs) teve início nos anos 70 (NABIGHIAN, 1972, 1974), com a utilização da amplitude do sinal analítico (ASA). Para fontes 2-D, a ASA independe da direção de magnetização, o que permite a determinação de parâmetros relacionados à geometria das fontes mesmo desconhecendo esta propriedade física.

STAVREV & GEROVSKA (2000) desenvolveram TNLs com o propósito de obter campos mais centrados sobre as fontes. Num aspecto mais geral, STAVREV & GEROVSKA (2000) mostram que o sinal analítico não é a única transformação invariante (ou quase-invariante no caso 3-D) e sugerem que algumas transformações possam ser mais efetivas. Para fontes 3-D a invariância com a direção de magnetização não se verifica e as transformações apresentam diferentes graus de invariância.

Testes como modelos prismáticos isolados (STAVREV & GEROVSKA, 2000; TUMA & MENDONÇA, 2003) mostram que, em geral, as transformações L, Q e E apresentam maior capacidade de centralização dos campos sobre as fontes e menor distorção com respeito à direção de magnetização. No presente trabalho, testes são realizados com prismas justapostos e em profundidades diferentes, o que permite uma análise mais abrangente da utilidade destas transformações

### Transformações não lineares na magnetometria

O termo "transformações não-lineares" não é muito difundido na magnetometria, apesar de algumas transformações utilizadas na atualidade poderem ser

assim consideradas. Como exemplo, cita-se a ASA, grandeza que guarda relações de não-linearidade com respeito às fontes magnéticas (Tuma & Mendonça, 2003).

NABIGHIAN (1972) mostrou que a ASA é uma função com forma de sino sobre a posição de contato e obteve uma solução analítica para o modelo de contato. Esta solução gerou um procedimento semi-automático para estimar a profundidade das fontes, que se aplica mesmo quando se desconhece a direção de magnetização. Certamente por este motivo, o uso da ASA experimentou grande difusão como técnica de interpretação.

ROEST et al. (1992) e HSU et al. (1996) mostraram que, embora adotando modelos 2-D, a ASA consegue delinear o contato de fontes 3-D e permite estimar a profundidade do topo. DEBEGLIA & CORPEL (1997) usaram a ASA num modelo de dique. THURSTON & SMITH (1997) utilizaram a fase do sinal analítico para determinar, além da profundidade do topo, o mergulho e o contraste de magnetização da interface.

Para fontes 3-D a ASA,  $A \equiv |A(x, y, z)|$ , foi definida (Roest et al. 1992) por

$$A = \sqrt{\left(\frac{\partial T_m^t}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_m^t}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_m^t}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

sendo  $\partial T_m^t / \partial x$ ,  $\partial T_m^t / \partial y$  e  $\partial T_m^t / \partial z$  as derivadas direcionais da anomalia magnética,  $T_m^t$  (subscrito m indica direção de magnetização e sobrescrito t a componente de medida). STAVREV & GEROVSKA (2000) propuseram TNLs genericamente denominadas T, R, L, E e Q. A transformação T fornece o módulo do campo vetorial anômalo,  $T_m \equiv |\bar{T}_m(x, y, z)|$ :

$$T_m = \sqrt{\left(T_m^x\right)^2 + \left(T_m^y\right)^2 + \left(T_m^z\right)^2} \quad (2)$$

sendo  $T_m^x, T_m^y, T_m^z$  as componentes do campo vetorial  $\bar{T}_m$ . A transformação R  $\equiv R(x, y, z)$  é tal que

$$R = \frac{\left|T_m^x \nabla T_m^x + T_m^y \nabla T_m^y + T_m^z \nabla T_m^z\right|}{T_m} \quad (3)$$

sendo  $\nabla T_m^x, \nabla T_m^y, \nabla T_m^z$  os gradientes das componentes  $T_m^x, T_m^y, T_m^z$ . A transformação L  $\equiv L(x, y, z)$  expressa o laplaciano de  $T_m$ , ou seja  $L \equiv \nabla^2 T_m$ , e é tal que

$$L = \frac{|\nabla T_m^x|^2 + |\nabla T_m^y|^2 + |\nabla T_m^z|^2 - |\nabla T_m|^2}{T_m} \quad (4)$$

A transformação  $E \equiv E(x, y, z)$  é tal que

$$E = \sqrt{\frac{|\nabla T_m^x|^2 + |\nabla T_m^y|^2 + |\nabla T_m^z|^2}{2}} \quad (5)$$

e a transformação  $Q \equiv Q(x, y, z)$ :

$$Q = \sqrt{|\nabla T_m^x|^2 + |\nabla T_m^y|^2 + |\nabla T_m^z|^2 - |\nabla T_m|^2} \quad (6)$$

### Cálculo das TFNLs

Para determinar as TFNLs nas equações (1) a (6) é necessário calcular i) as componentes  $T_m^x, T_m^y, T_m^z$ ; ii) as derivadas destas componentes e iii) as derivadas da anomalia magnética  $\partial T_m^t / \partial x, \partial T_m^t / \partial y$  e  $\partial T_m^t / \partial z$ . Para modelos prismáticos, as componentes do campo vetorial podem ser calculadas a partir da expressão geral que calcula a anomalia magnética. As derivadas da anomalia magnética podem ser calculadas pelo método das diferenças-finitas ou analiticamente (TUMA & MENDONÇA, 2003).

### Modelo testado

Foi utilizado um modelo com três prismas verticais de base retangular, sendo que no teste i) a dimensão dos prismas é de 0,4 x 2 km, centrados numa janela que varia nas direções x, y de 0 a 5 km (Figura 1) e no teste ii) a dimensão dos prismas é de 2 x 8 km centrados numa janela de 24 x 24 km em ambas as direções (Figura 2) para testar a invariância das TNLs considerando efeito de interferência das fontes e variação da profundidade do topo das fontes. Os prismas têm espessura infinita, com topo na profundidade de 0,5 km (Figura 1) e de 2 e 3 km como está indicado na Figura 2; e intensidade de magnetização de 200 A/km. O campo indutor tem inclinação de  $-30^\circ$  e declinação de  $-20^\circ$ . A declinação da magnetização foi de  $-20^\circ$ , mas a inclinação variou de  $0^\circ$  a  $-60^\circ$ , com passo de  $-15^\circ$  nas fontes do teste i) e apenas um dos corpos (superior esquerdo) no teste ii).

As Figuras 1 e 2 mostram os mapas dos campos transformados. De um modo geral, todas as TNLs mostram maior eficiência em centrar os campos sobre as fontes do que a anomalia magnética. Além disto, as TNLs melhor individualizam as fontes o que permite determinar o número de prismas e orientação. Para inclinação de  $0^\circ$  (equador magnético), apenas os corpos orientados na direção Leste-Oeste são mapeados (Figura 1). À medida que o valor da inclinação vai gradualmente para  $-60^\circ$ , o prisma na direção Norte-Sul começa a ser delimitado.

Para fontes rasas (topo em 0,5 km, Figura 1), as TNLs são em geral mais invariantes em relação à inclinação da magnetização. No intervalo de  $0^\circ$  a  $-15^\circ$  os corpos na

direção Leste-Oeste são melhor delimitados pelas transformações L e Q, enquanto que fontes com topo na profundidade de 3km (Figura 2) são melhor percebidas pela transformação Q. No intervalo de  $-30^\circ$  a  $-60^\circ$  estas transformações melhoram seu desempenho e os campos ficam praticamente centrados sobre as fontes. No mesmo contexto, a ASA apenas apresenta melhores resultados que a anomalia magnética e a transformação T. De um modo geral, seus resultados são inferiores aos produzidos pelas transformações L e Q.

### Conclusões

As transformações L e Q de (STAVREV & GEROVSKA, 2000) são mais eficientes em delimitar as fontes prismáticas e centralizar os campos ao redor das mesmas. Isto se aplica mesmo na presença de fontes justapostas. A utilização destas transformações em mapas magnéticos (aéreos e terrestres) podem tornar mais efetivos o mapeamento das fontes e a delimitação de contatos.

### Agradecimentos

Ao IAG/USP, à Embaixada do Brasil, ao Instituto Brasileiro Equatoriano de Cultura, IBEC, Quito – Equador. Ao CNPQ/PEC-PG.

### Referências

- Debeglia, N. & Corpel, J., 1997, Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. *Geophysics*, 62: 87-96.
- Hsu, S. K., Sibuet J. C. & Shyu C. T., 1996, High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61: 373-386.
- 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.
- Roest, W. R., Verhoef, J. & Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57: 116-125.
- Stavrev, P. & Gerovska, D., 2000, Magnetic field transforms with low sensitivity to the direction of source magnetization and high centrality. *Geophysical Prospecting*, 48: 317-340.
- Thurston, J. & Smith, R., 1997, Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI (TM) method. *Geophysics*, 62: 807-813.
- Tuma, S., & Mendonça, C., A., 2003, Comparação de transformações não lineares quase invariantes com a direção de magnetização. Eighth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

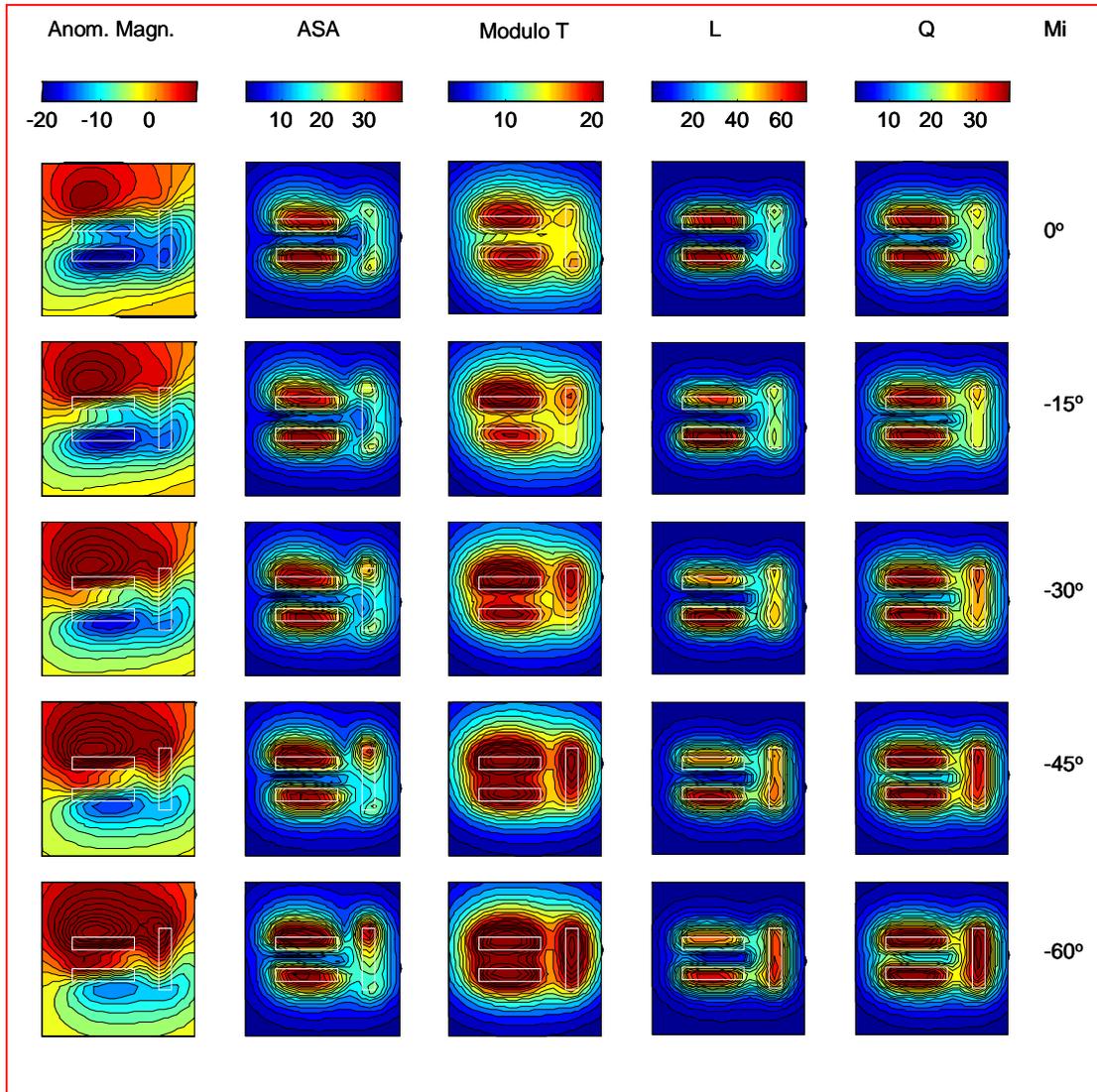


Figura 1 - Transformações do modelo de interferência de três fontes prismáticas, verticais, retangulares (em branco), topo na profundidade de 0,5 km, campo magnético indutor externo com inclinação de  $-30^\circ$  e declinação de  $-20^\circ$ , magnetização com declinação de  $-20^\circ$  e inclinação variando entre  $0^\circ$  e  $-60^\circ$  em cada fonte. Anom. Magn.= Anomalia magnética, ASA=Amplitude do sinal analítico, Módulo T= Transformação T, L= Transformação L e Q= Transformação Q.

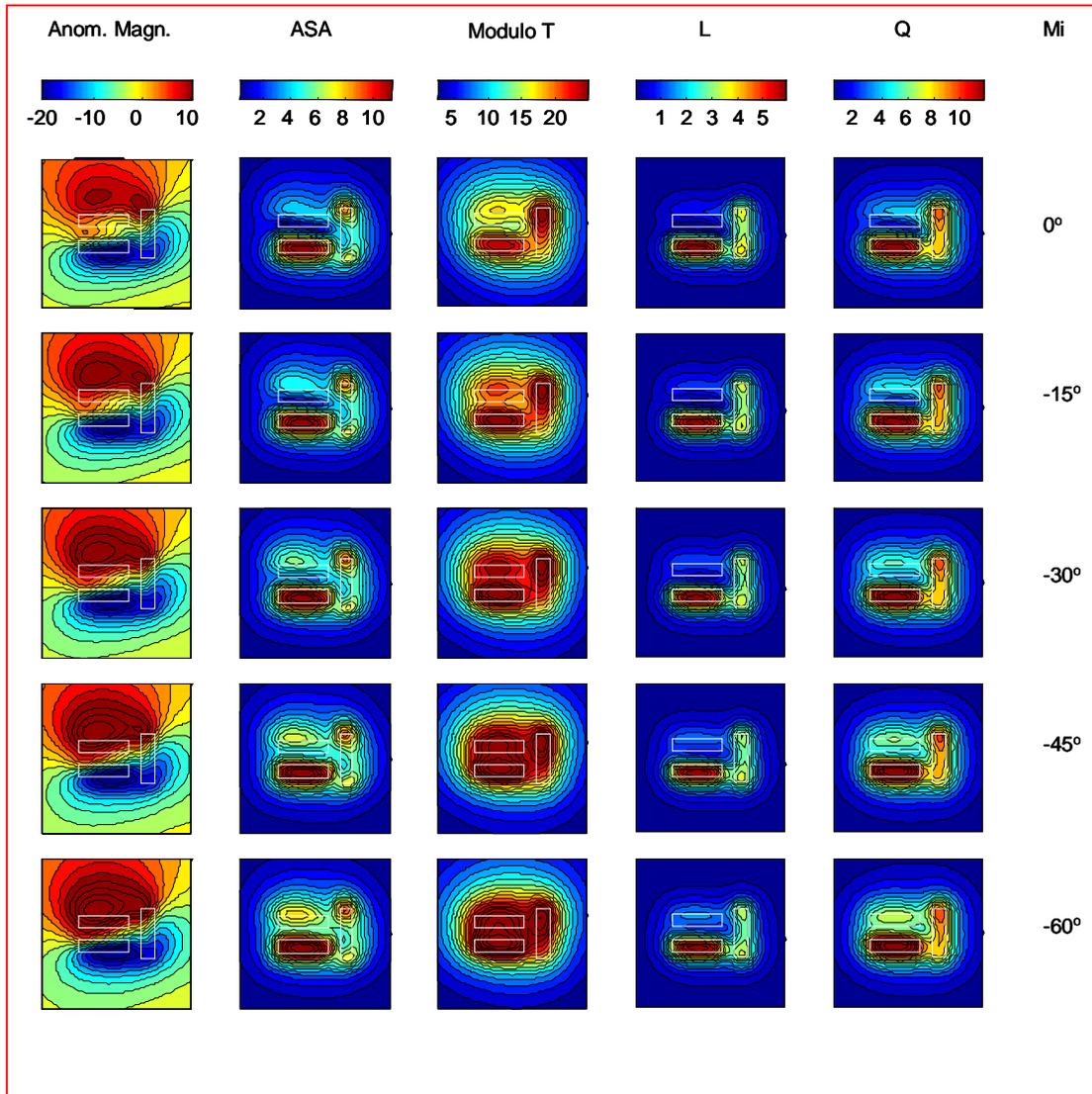


Figura 2 - Transformações do modelo de interferência de três fontes prismáticas, verticais, retangulares (em branco), topo na profundidade de 3 km (corpo superior esquerdo) e de 2 km (corpos restantes), campo magnético indutor externo com inclinação de  $-30^\circ$  e declinação de  $-20^\circ$ , magnetização com declinação de  $-20^\circ$  e inclinação variando entre  $0^\circ$  e  $-60^\circ$  apenas na fonte superior esquerda. Anom. Magn.= Anomalia magnética, ASA=Amplitude do sinal analítico, Módulo T= Transformação T, L= Transformação L e Q= Transformação Q.