



Tratamento de dados aeromagnéticos do Vale do Rio Curaçá na Bahia

Gustavo R. Gomes

UFBA

Hédison K. Sato

CPGG/UFBA

Abstract

The reduction to the pole and the 3-D analytic signal transformations, two important processing techniques for the magnetic data treatment, are analyzed and used on real data.

The aeromagnetic data from Curaçá River Valley, in Bahia, are processed to obtain the RTP and 3-D analytic signal maps. These new informations plus the original aeromagnetic data and the local geological knowledge are correlated and integrated, allowing us to refine the knowledge of the area, synthesized by a schematic map containing some geological features not shown in the original geological map. These results may subsidize the copper exploration programs for the Curaçá Copper District.

INTRODUÇÃO

Os dados magnéticos, quando interpretados através de mapas de contorno, são mais complicados que os mapas gravimétricos dado a natureza dipolar do campo magnético. Quando obtidos em grandes quantidades, como é o usual com os dados aeromagnéticos, a utilização de técnicas de tratamento em massa torna-se recomendada, inclusive para as pesquisas visando a exploração mineral e mapeamento geológico. Por isso, muitas técnicas dedicadas às transformações do campo discreto magnético têm sido desenvolvidas afim de diminuir as dificuldades na interpretação de anomalias magnéticas.

A redução ao pólo (RTP - acrônimo de reduction-to-the-pole), primeiramente introduzida por Baranov (1957), é uma operação que transforma os dados de anomalia de campo total em anomalia de campo vertical que deveria ser observada se o corpo estivesse no pólo norte magnético. Contudo, a aplicação do RTP clássico a dados obtidos em áreas de baixa latitude produz resultados que, em mapa, apresentam estiramento sem significado real na direção da declinação do campo ambiente da área. Sendo assim, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com intuito de resolver o problema nas baixas latitudes. Silva (1986) desenvolveu a redução ao pólo no contexto de inversão linear generalizada no domínio do espaço, obtendo resultados excelentes, utilizando estabilizadores bem conhecidos no problema de inversão linear, mas o método é computacionalmente dispendioso. Mendonça e Silva (1993) combinaram o filtro de RTP estável, obtido através de truncagem da série expandida de Taylor do filtro teórico com o filtro de continuação de campos para cima. Keating e Zerbo (1996) aplicaram uma filtragem Wiener para obter um operador de RTP regulariza-

do. Li e Oldenburg trataram o problema semelhante a Silva (1986), porém no domínio do número de onda.

A técnica do sinal analítico aplicado a dados magnéticos de corpos bidimensionais foi introduzida inicialmente por Nabighian (1972). Em 1984, ele também apresentou as relações para obtenção das derivadas do campo total nas direções x , y e z e a teoria para cálculo automático do sinal analítico 3-D (SA 3-D), que não depende dos parâmetros do campo ambiente, o que é, entre outras, uma característica vantajosa. Os picos do módulo do sinal analítico 3-D posicionam-se sobre as bordas ou contatos de corpos geológicos e falhas. Através dessa propriedade, é possível obter a posição dos contatos entre as rochas e estimar a profundidade de topo do contato, utilizando a técnica de Blakely e Simpson (1986).

A geofísica tem um papel fundamental na exploração de sulfetos e no mapeamento geológico do Vale do Curaçá que tem sido, há algum tempo, objeto de pesquisa dos geocientistas. Sendo assim, neste trabalho, os dados aeromagnéticos do Vale do Curaçá foram transformados para anomalia de RTP e módulo de SA 3-D e em seguida foram elaborados mapas segundo quatro tipos de representação do campo magnético: (i) anomalia de campo magnético (sem transformação), (ii) anomalia de RTP, (iii) anomalia de SA 3-D e (iv) posicionamento dos picos de SA 3-D conforme a técnica de Blakely e Simpson. Por fim, fez-se uma interpretação integrada utilizando essas representações chegando aos resultados conclusivos acerca das associações entre a geologia e o dado magnético.

GEOLOGIA

Conforme Lima e Silva (1988), o distrito cuprífero do Vale do Curaçá constitui o extremo norte da província granulítica de idade arqueana e proterozóico inferior do leste da Bahia, no embasamento do cráton do São Francisco. Existe no Vale muitos *sills* máfico-ultramáficos originados de um magma de composição toleítica e com potencialidade metalogenética em cobre. Estas rochas foram intrudidas numa pilha vulcanossedimentar e toda seqüência sofreu injeções de corpos tonalíticos e granodioríticos. Numa fase tectônica posterior, esforços compressivos na direção Este-Oeste resultaram na verticalização das estruturas com geração de dobras abertas, com *trend* na direção Norte-Sul, e muitas falhas com direção $N45^\circ E$.

Os corpos máfico-ultramáficos mostram estratigrafia interna preservada, sendo constituídos por piroxenitos e noritopiroxenitos, interbandados na base, e por noritos a gabronoritos no topo. A mineralização cuprífera está regionalmen-

te controlada pela estratigrafia dos *sills*, pela ocorrência de piroxenitos e pelas zonas de charneira das dobras.

PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os registros magnéticos de campo total do Vale do Curaçá foram obtidos no levantamento aeromagnético executado em fevereiro de 1976 pela empresa canadense Geoterrex e seus registros analógicos de vôo foram digitalizados conforme Sato et al. 1998. O dado contém um total de 611×1525 pontos, com valores de campo magnético total, distribuídos numa malha regular $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$. Foi subtraído um valor médio do campo, igual a 25600 nT, para obter o mapa de anomalia de campo total, ΔT (Fig. 1).

Processamento RTP

A inclinação e a declinação do campo na região, para a data do levantamento, foram obtidas a partir de mapas de isóclinas e isogônicas e das variações anuais desses parâmetros. Nos mapas de Motta e Barreto (1986), a inclinação na região do Vale do Curaçá em 1985 era: 15° , com uma taxa de variação anual de -26 min/ano e a declinação era: $N21^\circ W$, com uma taxa de variação anual de -4.5 min/ano então, utilizamos para a transformação de redução ao pólo, os seguintes valores de inclinação e declinação respectivamente: -11.1° e $N21.3^\circ W$.

No processo de filtragem RTP utilizou-se o programa F-RTP da USGS¹ (Cordell et al., 1992). Esse programa faz duas filtrações no domínio de Fourier: (i) tradicional, multiplicando os dados pelos coeficientes do filtro de RTP e (ii) azimutal, para diminuir o efeito de estiramento por conta da baixa inclinação do campo magnético nas baixas latitudes (Fig. 2). No processamento, não tratamos da magnetização remanente ou seja, aquelas anomalias que não fossem geradas por indução magnética do campo ambiente podiam ser deformadas ou mesmo apagadas no mapa de redução ao pólo.

Processamento SA 3-D

O processamento foi feito usando os conceitos de Nabighian (1984) com as seguintes etapas: (i) transformada de Fourier dos dados; (ii) cálculo das derivadas em relação a x , y e z , no domínio de Fourier, (iii) transformada inversa de Fourier e (iv) cálculo do módulo do sinal analítico 3-D. A representação dos dados foi de dois tipos: mapa de contorno com imagem colorida (Fig. 3) e mapa com posicionamento de topo do plano de contato (Fig. 4).

As posições dos topos de contato foram determinadas utilizando as idéias de Blakely e Simpson (1995). As profundidades h , de topo, dos supostos planos verticais (modelo simples utilizado no trabalho), foram calculadas através da expressão que relaciona o SA com a profundidade h

$$|A(x)| = \frac{\alpha}{x^2 + h^2}, \quad (1)$$

obtida por Nabighian (1972).

Escolheu-se os picos de SA 3-D com níveis de significância N entre 3 e 4 que tinham amplitudes maiores ou iguais a 300 nT/km. Não se considerou picos que somente tivessem níveis de significância 1 e 2, pois se o fizesse, o mapa de interpretação ficaria carregado de pontos e complicaria a visualização dos *trends*.

¹U. S. Geological Survey

Análise Integrada

Segundo as idéias de Parasnis (1997), em que a interpretação de mapas aeromagnéticos de campo total é feita zoneando ou circundando padrões semelhantes de anomalia e traçando alinhamentos ou *trends* magnéticos, foi elaborado um mapa (Fig. 5) onde se visualizam feições geológicas advindas da interpretação integrada dos dados aeromagnéticos nas quatro formas tratadas neste trabalho. Algumas feições se verificam, indubitavelmente, no mapa geológico: as falhas geológicas em geral, o corpo de gnaise Surubim, as formações ferríferas e o milonito Serrote de Souza. Todavia, algumas feições da interpretação não se verificam no mapa geológico. A zona que margeia o complexo vulcanossedimentar, por exemplo, é constituída por uma rocha denominada gnaise Bom Despacho e essa rocha é facilmente mapeada pelo SA 3-D graças a seu valor baixo de susceptibilidade magnética. No mapa geológico, não é identificado uma faixa contínua dessa rocha margeando o complexo vulcanossedimentar, assim como interpretada no mapa de SA 3-D.

CONCLUSÕES

Associar o campo magnético, segundo a forma anômala apresentada, a corpos máfico-ultramáficos mineralizados de cobre não é uma tarefa fácil. Embora resolver esse problema, seja da maior importância, não fazemos associações entre os corpos mineralizados com anomalias de campo magnético. O sucesso desse trabalho está baseado na associação entre o campo magnético com tipos litológicos e estruturas geológicas.

A filtragem de redução ao pólo transformou as anomalias sobre os corpos em anomalias de fácil interpretação que permitiu fazer novas associações entre o campo magnético e a geologia local. A vantagem dessa transformação é que as anomalias se posicionam sobre os corpos e pode-se interpretá-las semelhante à anomalias gravimétricas. O SA 3-D não pode ser interpretado dessa maneira, pois sua anomalia é posicionada nas zonas onde existe contraste de susceptibilidade que geologicamente podem ser contatos entre tipos litológicos ou mesmo falhas. A vantagem do SA 3-D é que as direções da magnetização e do campo ambiente são desnecessárias para o processamento.

Embora a geologia do Vale do Curaçá seja complexa, a integração das interpretações, para anomalia de campo magnético e suas variedades transformadas, corrobora a geologia mapeada e, em alguns trechos, onde não há qualquer associação, adiciona novas informações ao conhecimento geológico da região.

AGRADECIMENTOS

G. R. Gomes agradece ao CNPq/PIBIC/UFBA, pela bolsa de Iniciação Científica. H. K. Sato agradece ao CNPq pela Bolsa de Pesquisa. Os autores agradecem à Mineração Caraíba pela liberação das informações sobre o Vale do Curaçá e ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG/UFBA) pelo apoio a esse trabalho.

REFERÊNCIAS

Baranov, V. (1957) A new method for interpretation of aeromagnetic maps, *Geophysics*, 51, 359-383.

- Blakely, R. J. (1995) *Potential theory in gravity and magnetic applications*, 1995, Cambridge University Press.
- Blakely, R. J. e Simpson, R. W. (1986) *Short note - approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies*, *Geophysics*, 51, 1494-1498.
- Cordell, L., Phillips, J. D. e Godson, R. H. (1992) *U. S. Geological survey potencial-field geophysical software: Open File Report 92-18*, USGS.
- Keating, P. e Zerbo, L. (1996) *An improved technique for reduction to the pole at low latitudes*, *Geophysics*, 61, 131-137.
- Li, Y. e Oldenburg, D. W. (1998) *Stable reduction to the pole at magnetic equator*, *Expanded Abstracts - SEG 68° Annual Meeting*, 1, 533-536.
- Lima e Silva, F. J., Cavalcante, P. R. B., Sá, E. P., Silva, L. J. H. D. R. e Machado, J. C. M. (1988) *Depósito de cobre de Caraíba e o distrito cuprífero do Vale do Rio Curaçá, Bahia*, vol. 3, cap. 2, pp. 12-31, DNPM/CVRD, Brasil.
- Mendonça, C. A. e Silva, J. B. C. (1993) *A stable truncated series approximation of the reduction-to-the-pole operator*, *Geophysics*, 38, 1084-1090.
- Motta, C. M. e Barreto, L. M. (1986) *Campo Geomagnético Normal e Sua Variação Secular no Brasil em 1985,0*, CNPq-Observatório Nacional.
- 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. (1984) *Toward a three-dimensional automatic interpretation of potencial field data via generalized Hilbert transforms: fundamental relations*, *Geophysics*, 49, 780-786.
- Parasnis, D. S. (1997) *Principles of applied geophysics*, Chapman & Hall.
- Sato, H. K.; Gomes, G. R. e Sampaio, E. E. S. (1998) *Processing and interpretation of the aeromagnetic data from Curaçá River Valley at Bahia, Brazil*, *Expanded Abstracts SEG 68° Annual Meeting*, 2, 744-747.
- Silva, J. B. C. (1986) *Reduction to the pole as an inverse problem and application to low-latitude anomalies*, *Geophysics*, 51, 369-382.

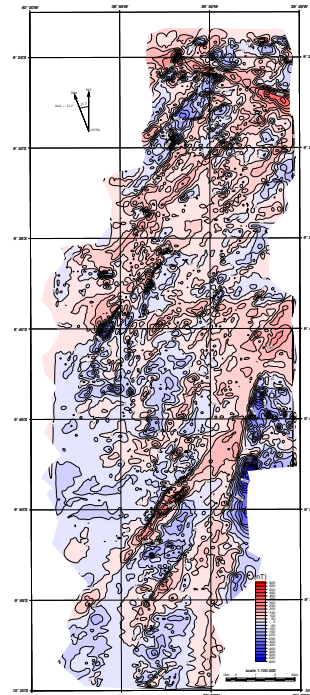


Figura 1: Mapa de anomalia de campo total do Vale do Curaçá.

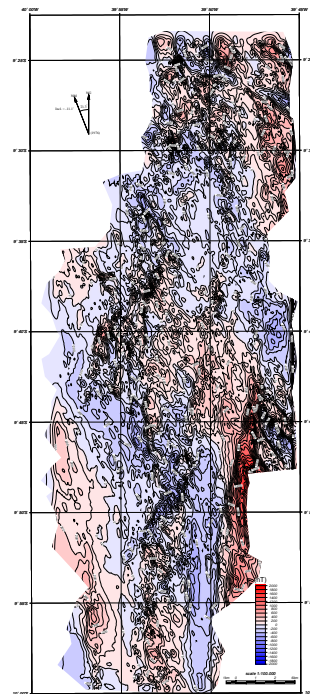


Figura 2: Mapa de redução ao pólo utilizando o filtro azimutal.

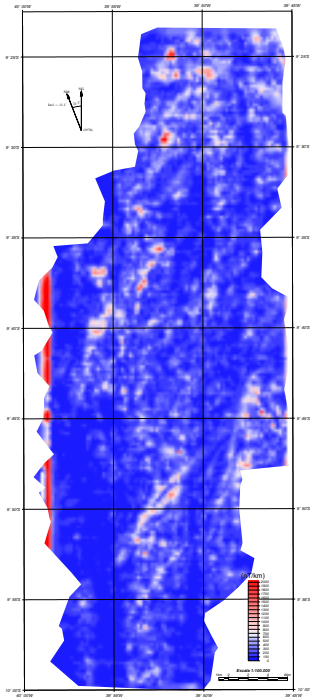


Figura 3: Mapa de sinal analítico 3-D.

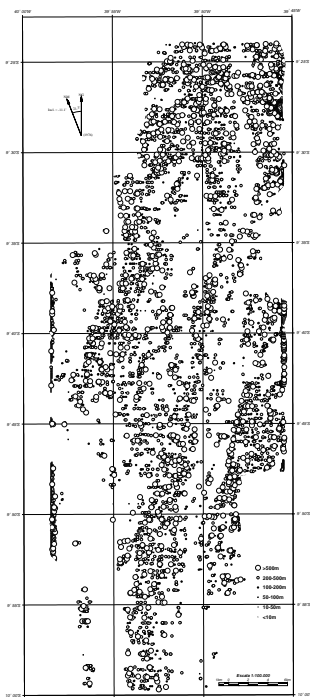


Figura 4: Mapa com posicionamento dos picos de SA 3-D com estimativa da profundidade.

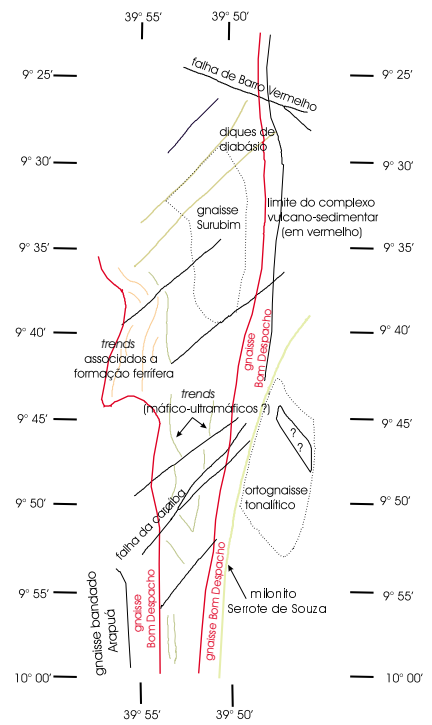


Figura 5: Mapa interpretado a partir da integração de informações dos mapas de RTP, SA 3-D (imagem colorida) e SA 3-D (posicionamento dos picos).