



## Interpretação e Modelagem 3-D do Complexo Alcalino de Tapira (MG)

Vanessa Biondo Ribeiro\*, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo  
Marta Silvia Maria Mantovani, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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

The Tapira Alkaline complex is located at the southern part of the Alto do Paranaíba Province. This intrusion presents a very complex magnetic anomaly, characterized by the presence of a body with high remanent magnetization within another body with essentially induced magnetization. That's why it is important to analyze different methodologies to prepare the data allowing few or no dependence from the magnetic direction. The data obtained from those inversions were subsequently modeled with 3-D geometry and compared with the local geology.

### Introdução

O Complexo Alcalino de Tapira é uma chaminé ultramáfica-alcalina-carbonatítica com 35km<sup>2</sup> de diâmetro, 7.4km no eixo NE por 6.0km na direção NW (Figura 1). O contato do corpo intrusivo com a rocha encaixante bastante vertical e irregular (RIBEIRO, 2008). Segundo Brod et al. (2004), a ocorrência da intrusão está associada ao evento magmático relacionado à abertura do Oceano Atlântico que afetou a Plataforma Brasileira entre o final do Jurássico e o Terciário Inferior e que teve início com os derrames basálticos da bacia do Paraná.

Araújo et al. (2002) atribuem ao Complexo Alcalino de Tapira uma porcentagem de cerca 80% de predominância do piroxenito.

Brod et al. (2005) identificaram duas unidades de rochas ultramáficas no complexo: B1 e B2; assim como uma intrusão de sienitos (S) na parte norte do complexo, e em pequenos plugs espaçados (Figura 1). Foram identificados também cinco episódios de atividade carbonatítica, indicados por C1-C5 no mapa abaixo. Essas atividades variam desde ocorrências bem delimitadas até diques esparsos ao longo da alcalina.

O método aeromagnético permite delimitar lateralmente a fonte da anomalia magnética como resposta ao contraste de magnetização do corpo intrusivo em relação à rocha encaixante. Para isso foram analisados diferentes

métodos para isolar a anomalia magnética do campo potencial observado.

O método da Redução ao Pólo desenvolvida por Baranov (1957) figura entre as técnicas mais populares para esse isolamento, porém segundo Macleod et al. (1993), esse método pode gerar resultados errôneos quando aplicado a anomalias magnéticas com magnetização remanescente desconhecida.

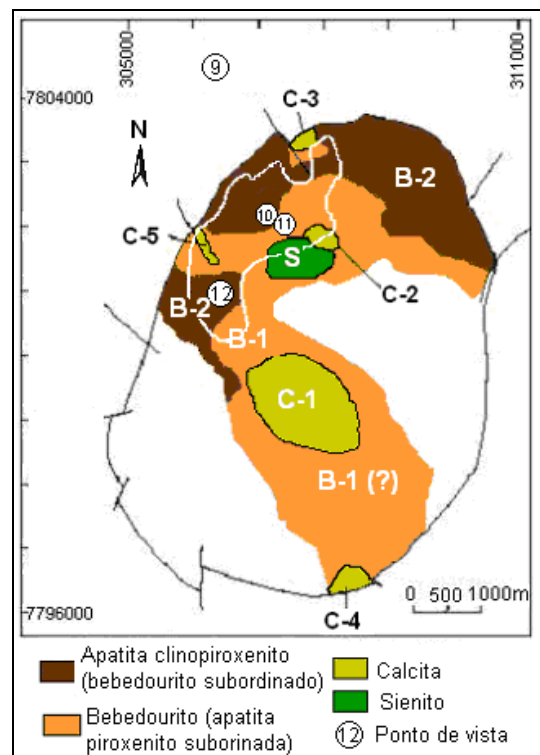


Figura 1 –Geologia do complexo de Tapira com base em testemunhos de sondagem. Modificado de Brod (1999). Série Bebedourítica: B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>; S – sienitos. Séries Carbonáticas: C<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>. A linha branca representa o limite atual da mineradora Fosfertil.

Neste trabalho serão comparadas não apenas a Redução ao Pólo disponibilizada pelo programa Oasis Montaj 6.4.2 (GEOSOFT, 2004) que considera a redução definida por Baranov (1957), como a redução calculada a partir do algoritmo desenvolvido por Fedi et al. (1994), e o cálculo da Amplitude do Campo Magnético Anômalo (SHEARER, 2006).

Os dados da anomalia magnética isolada serão então utilizados para obter um modelo da geometria em subsuperfície da intrusão alcalina, a partir da utilização de ferramentas numéricas para a inversão tridimensional descritas por Li e Oldenburg (1996).

**Metodologia**

Os dados magnéticos considerados nesse trabalho foram fornecidos pela CODEMIG. O aerolevamento foi realizado em 2006, ao longo da Área 7, à sudeste de Minas Gerais, região onde a área de estudo está inserida.

Inicialmente foi feita a remoção do campo magnético de referencia (IGRF) calculado para a época do aerolevamento. O mapa do campo magnético total está disposto abaixo.

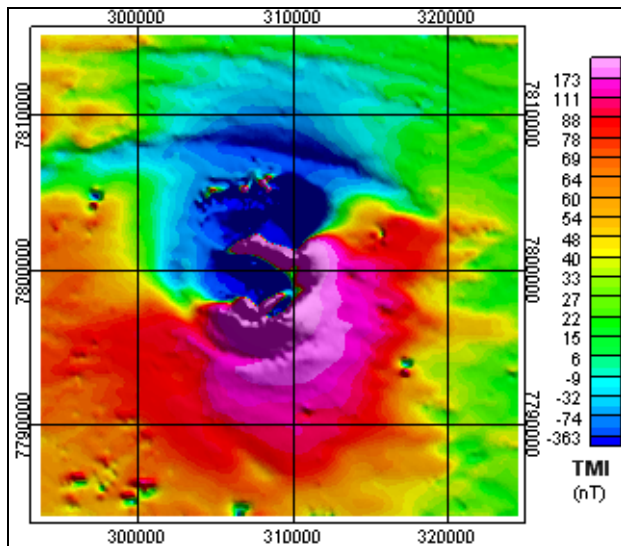


Figura 2 – Campo magnético total com remoção do IGRF.

Segundo Cooper e Cowan (2005), a Redução ao Pólo (RTP) desenvolvida por Baranov (1957) altera a forma assimétrica da anomalia magnética medida em baixas latitudes para uma simétrica, observada para a mesma fonte magnética, porém localizada no pólo. A fórmula utilizada para esse cálculo esta descrita abaixo:

$$L(\theta) = \frac{[\text{sen}(I) - i \cdot \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)]^2}{[\text{sen}^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)][\text{sen}^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]} \quad (1)$$

Onde  $I$  é a inclinação magnética,  $Ia$  é a inclinação da correção de amplitude (de modo que se  $|Ia| < |I|$  então  $Ia = I$ ),  $D$  é a declinação e  $\theta$  a direção do número de onda.

Porém esse método pode apresentar resultados errôneos quando aplicado à anomalias com remanescente desconhecida (MACLEOD et al., 1993). Como alternativa, foi calculada o RTP descrito por Fedi et al. (1994), na qual a inclinação e declinação total podem ser calculadas a partir da aplicação de um operador de Redução ao Pólo para diferentes combinações de inclinação e declinação, e da observação da variação da anomalia como sendo definida em função destas.

O valor da inclinação e declinação total é definido como sendo os índices que minimizam os valores negativos da anomalia reduzida ao pólo.

A Amplitude do Campo Magnético Anômalo (ACMA) por sua vez é definida pela norma do vetor do campo magnético (SHEARER, 2006):

$$B_a = \|\vec{B}_a\| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (2)$$

Onde são  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$  são as três componentes do campo magnético no sistema de coordenadas cartesianas.

Segundo Shearer (2006), a Amplitude do Campo Magnético Anômalo apresenta uma fraca dependência da direção da magnetização.

**Resultados**

O mapa da Redução ao Pólo calculada pelo algoritmo de Baranov (1957), da aplicação o algoritmo de Fedi et al. (1994) e do cálculo da Amplitude do Campo Magnético Anômalo estão dispostos abaixo.

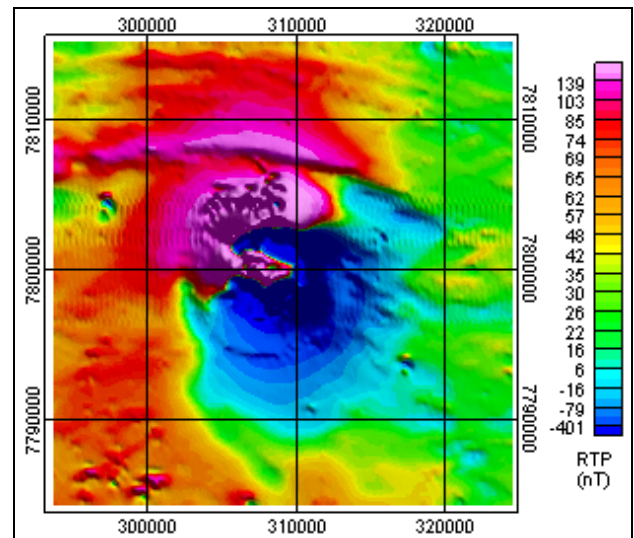


Figura 3 – Mapa do campo magnético total reduzido ao pólo feita a partir do algoritmo desenvolvido por Baranov (1957).

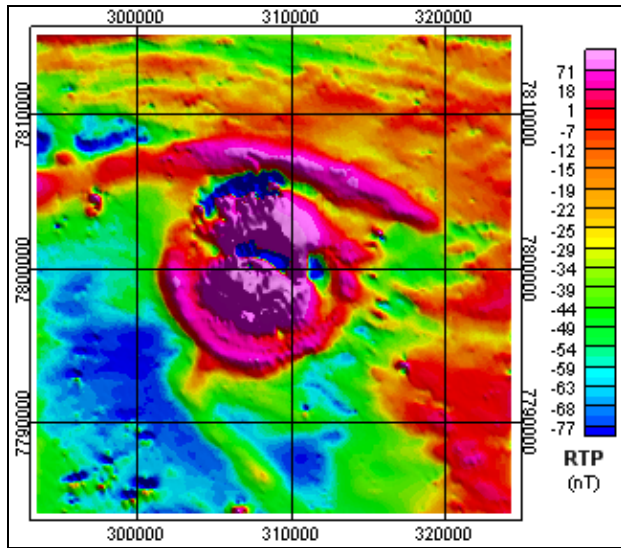


Figura 4 – Mapa do campo magnético total reduzido ao pólo feita à partir do algoritmo descrito por Fedi et al. (1994).

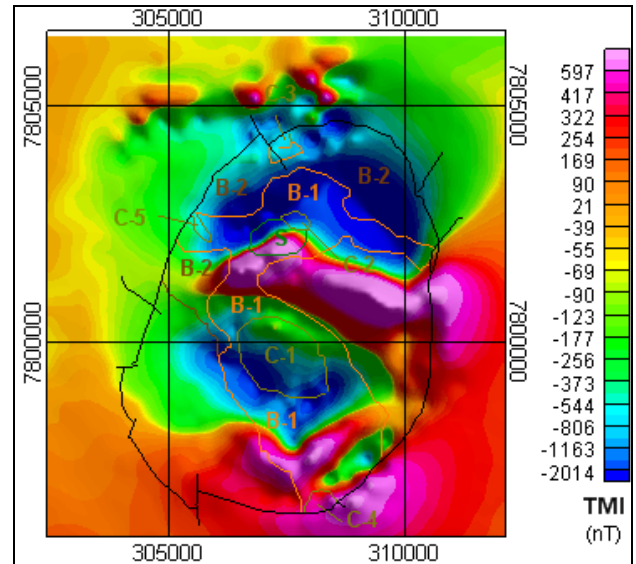


Figura 6 – Campo magnético total com sobreposição dos contornos geológicos observados na Figura 1.

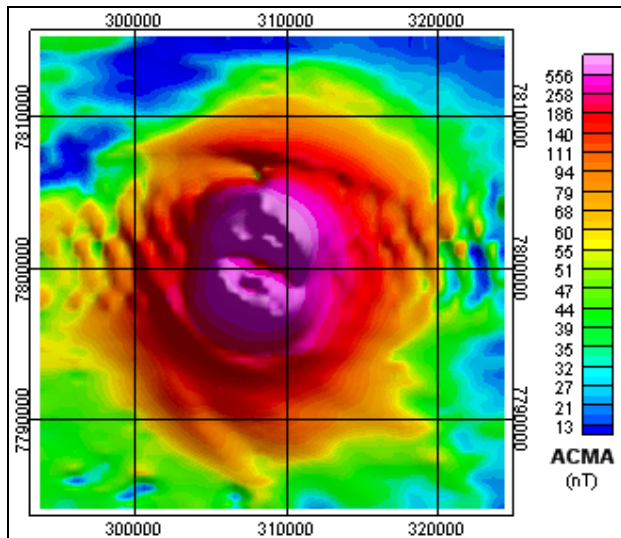


Figura 5 – Mapa do campo magnético anômalo calculado para a área de estudo.

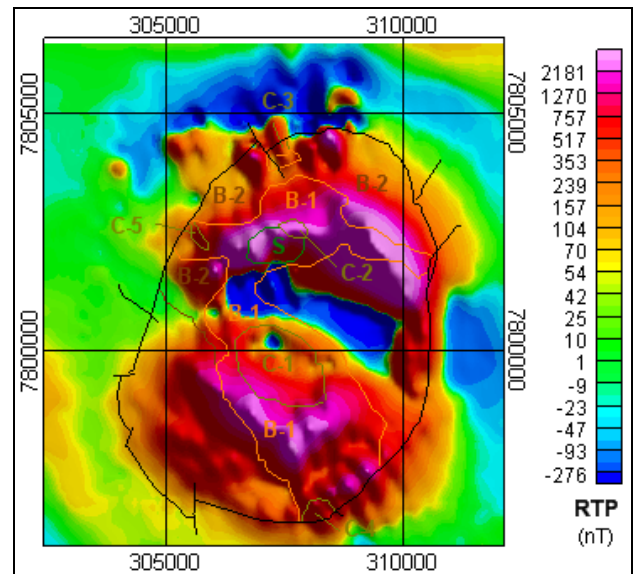


Figura 7 – Campo magnético reduzido ao pólo pelo algoritmo de Fedi et al. (1994) com sobreposição dos contornos geológicos observados na Figura 1.

Para destacar a relação entre o comportamento do campo magnético observado com as fontes geológicas das anomalias, o contorno do domo alcalino assim como das principais litologias deste (Figura 1) foram sobrepostos aos mapas de campo magnético total, redução ao pólo a partir do algoritmo de Fedi et al. (1994) e amplitude do campo magnético anômalo (Figura 6 a 8).

Os modelos com geometria 3-D gerados a partir desses dados estão, por sua vez, dispostos nos mapas 9, 10 e 11.

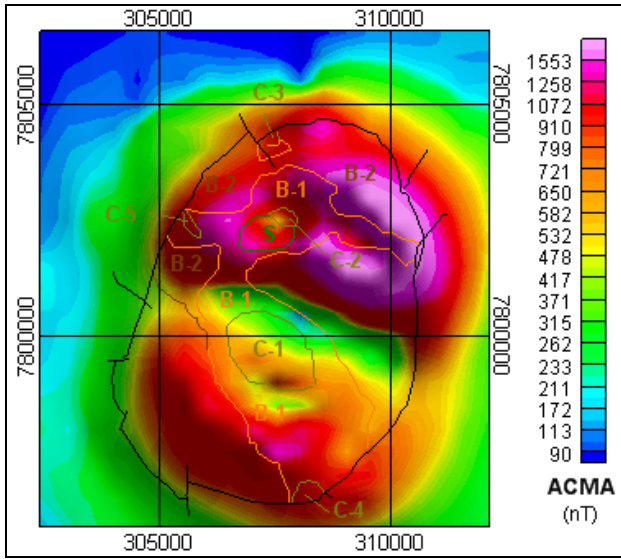


Figura 8 – Mapa da amplitude do campo magnético anômalo com sobreposição dos contornos geológicos observados na Figura 1.

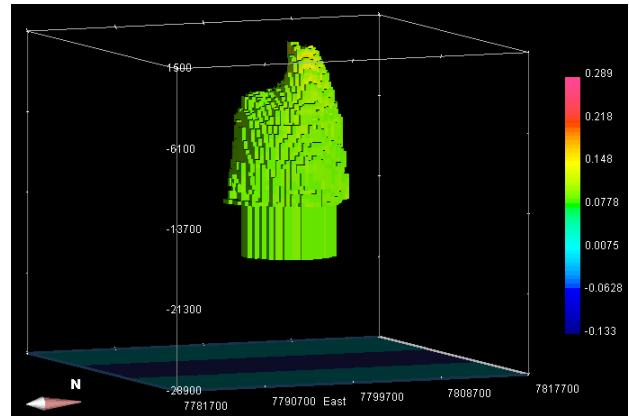


Figura 11 – Modelo 3-D dos dados da amplitude do campo magnético anômalo.

Tabela 1 – Tabela com as profundidades e contraste de suscetibilidades observadas para os três modelos 3-D invertidos.

	Prof. - Corpo Principal (km)	Prof. - Corpo Interno (km)	Suscetibilidade (SI)
TMI	13.7	2.5	0.110
RTP_Fedi	13.4	2.9	0.120
ACMA	18.8	3.3	0.095

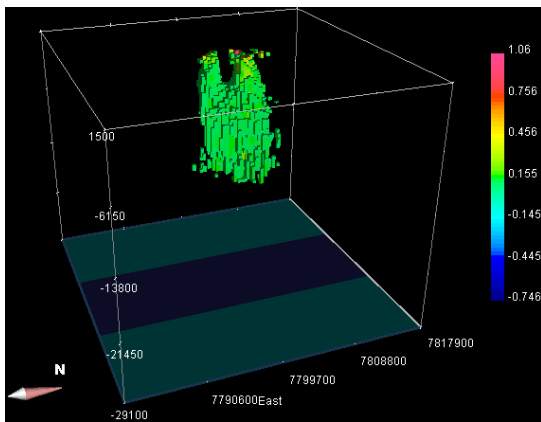


Figura 9 – Modelo com geometria 3-D dos dados do campo magnético total, observados para a área estudada.

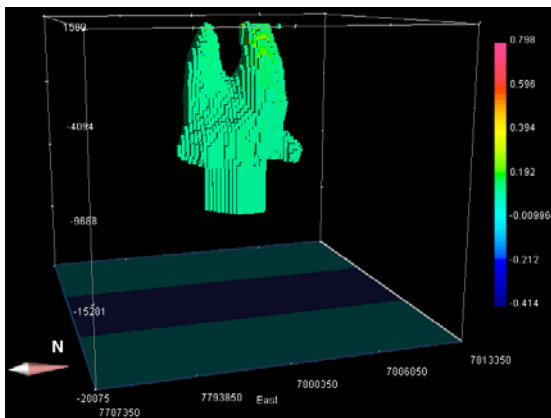


Figura 10 – Modelo 3-D dos dados do campo magnético total reduzidos ao pólo pelo algoritmo de Fedi et al (1994)

**Discussão e Conclusões**

A anomalia magnética observada para Tapira apresenta uma polaridade invertida relativa àquela esperada para um corpo magnetizado exclusivamente por indução. Esta anomalia circunscreve uma anomalia de menor intensidade com polarização normal.

Essa polaridade invertida sugere a presença de uma forte magnetização remanescente, característica de corpos ferromagnéticos, como é o caso do piroxenito. De fato, ao analisar os mapas das reduções feitas (Figuras 7 e 8), nota-se que as maiores intensidades magnéticas coincidem com as regiões onde encontra-se as reservas de bebedourito (apatita piroxenito subordinada – B-1 nos mapas). A região de baixo magnético observado no centro da anomalia está situada próxima da maior ocorrência de carbonatito (C-1), o qual apresenta um comportamento muito menos ferromagnético do que o piroxenito, podendo justificar essa resposta (Figura 6).

O algoritmo desenvolvido por Li e Oldenburg (1996) faz a inversão dos dados magnéticos considerando apenas a magnetização induzida, desconsiderando a presença de remanescente. Porém, para o caso estudado, a magnetização remanescente é muito intensa, apresentando uma constante de Koenigsberger de Q=2 (Cordani e Shukowsky, 2009).

Apesar da limitação do algoritmo de inversão, o modelo 3-D gerado a partir dos dados do TMI acusou a presença de um corpo interno menos ferromagnético, com profundidade muito próxima aos demais modelos. No

entanto a profundidade observada para este modelo é muito superior que a observada para os demais.

Os modelos 3-D gerados à partir dos dados do RTP pelo algoritmo de Fedi et al. (1994) e ACMA apresentaram comportamento muito parecido, porém a variação entre as profundidades observadas é de 5.4km para o corpo principal e 0.4km para o corpo menos ferromagnético interno. A diferença de contraste de suscetibilidade observada para esses dois modelos é de 0.025 (SI).

A susceptibilidade esperada para a rocha encaixante da região é de 0.01 a 0.05 (SI - SHEARER, 2006), enquanto que para o piroxenito 0.125 (SI - TELFORD et al., 1990). Considerando esse contraste e as dimensões dos modelos gerados, pode-se concluir que o modelo que melhor representa o comportamento do corpo em subsuperfície foi aquele gerado pelo RTP calculado através do algoritmo de Fedi et al. (1994).

### Agradecimentos

À CODEMIG, ao *Geophysical Inversion Facility* da University of British Columbia, à CAPES e CNPq e ao grupo de Geofísica da Litosfera do IAG-USP.

### Referências

- BARANOV, V., 1957. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, vol. 22, n. 2: 359-383.
- BROD, J. A., 1999. Petrologia e geoquímica do complexo de Tapira, estado de Minas Gerais. Tese de doutorado, University of Durham, United Kingdom.
- BROD et al., 2004. Geologia e mineralizações dos complexos alcalinos-carbonatíticos da província ígnea do Alto Parnaíba. In: Roteiro de excursão do Congresso Brasileiro de Geologia, XLII, Araxá, Minas Gerais.
- COOPER, G.R.J; COWAN, D.R., 2005. Differential reduction to the pole. *Computers & Geosciences*, 31:989-999
- CORDANI, R., SHUKOWSKY, W., 2009. Virtual pole from magnetic anomaly (VPMA): a procedure to estimate the age of a rock from its magnetic anomaly only. *Journal of applied geophysics*, 69: 96-102
- FEDI, M.F., FLORIO, G., RAPOLLA, A.G., 1994. A method to estimate the total magnetization direction from a distortion analysis of a magnetic anomaly. *Geophysics, Prospect*, vol. 42, n. 3, 261-274.
- LI, Y; OLDENBURG, D.W., 1996., 3D Inversion of magnetic data. *Geophysics*, 61:394-408
- MACLEOD, I.N; VIEIRA, S; CHAVES, A.N., 1993. Analytic signal and reduction-to-the-pole in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. In: An. 3ºCongr. Int. Soc. Bras. Geof. , 3, SBGf, 2, 830-835.
- PAINE, J., HAEDERLE, M., FILS, M., 2001. Using transformed TMI data to invert for remanently magnetized bodies. *Exploration Geophysics*, 31:238-242.
- RIBEIRO, V.B. Gravimetria do complexo alcalino de Tapira (MG) - método e interpretação. 2008. Trabalho de Graduação, Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas/Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- SHEARER, S.E., 2005. Three-dimensional inversion of magnetic data in presence of remanent magnetization. Tese de Mestrado, Departamento de Geofísica do Center for Gravity, Electrical e Magnetic Studies, Colorado School of Mines.
- TELFORD, W.M; GELDART, L.P; SHERIFF, R.E., 1990. Applied geophysics. Cambridge University Press, USA. Segunda edição, p.74.