

Ensaio de Polarização Induzida Espectral (SIP) Aplicados à Exploração Mineral de Chumbo e Zinco no Alvo Paqueiro, Vale do Ribeira-PR

F. J. F. Ferreira⁽¹⁾; R. Stevanato⁽¹⁾; M. Forlin⁽¹⁾; N. D. Franke⁽²⁾; S. N. Villanova⁽²⁾; L. Stasiak⁽³⁾

⁽¹⁾ Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, LPGA/UFPR; ⁽²⁾ Gold Standard Minas S.A.; ⁽³⁾ Geoplanejamento Pesquisa Mineral e Geologia Ambiental Ltda.

Abstract

This paper shows the results of the Spectral Induced Polarization (SIP) traverses run across Mobile Metal Ion (MMI) Pb-Zn-Cu-Cd geochemical soil anomalies at the Vale do Ribeira region (Paraná State). Inversion of the apparent chargeability defines strong polarized bodies that are coincident with most of the soil geochemistry anomalies. The time constant spectral parameter allow us to suppose that the high chargeability targets that were not related to soil geochemistry anomalies could represent other polarized minerals than sulfides.

Introdução

O método da polarização induzida (*induced polarization - IP*) é freqüentemente empregado na exploração mineral, sobretudo na prospecção de metais base e de ouro, em fases avançadas da pesquisa, as quais, normalmente, orientam e precedem as campanhas de sondagem. Recentemente, a equipe do Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada - LPGA/UFPR, juntamente com pesquisadores da Gold Standard Minas S.A., realizou ensaios de polarização induzida espectral (*spectral induced polarization - SIP*) com o objetivo de testar a performance do método e avaliar os resultados em correspondência à anomalias geoquímicas de Pb-Zn-Cu-Cd em solos, dosadas pelo método *mobile metal ion (mmi)*, no denominado Alvo Paqueiro, município de Adrianópolis, Vale do Ribeira-PR (Figura 1).

O Método da Polarização Induzida Espectral

O método da polarização induzida espectral - *SIP* envolve uma série de técnicas vistas como complementares às da resistividade e cargabilidade dos tradicionais levantamentos de *IP*. Tal método pode adotar os modelos de impedância Cole-Cole (Cole & Cole 1941) ou o de Dias (1972) para estudar os efeitos da polarização induzida espectral nos domínios da freqüência (eg. Sampaio *et al.*, 1993) ou do tempo (eg. Johnson, 1990). A impedância complexa (função transferência) depende da resistividade - R_0 ; da voltagem relativa residual registrada após a interrupção de um pulso muito longo (cargabilidade verdadeira - m); da constante de tempo - τ e do expoente - c , os quais descrevem as

formas das curvas de decaimento no domínio do tempo, ou o espectro de fase no domínio da freqüência. Pelton *et al.* (1978) sugeriram que a impedância complexa de uma fonte polarizável simples pode ser expressa como segue:

$$Z(\omega) = R_0 \{ 1 - m [1 - 1 / \{ 1 + (i\omega\tau)^c \}] \}$$

onde: $Z(\omega)$ = impedância complexa ($\Omega.m$); R_0 = resistividade ($\Omega.m$); m = cargabilidade verdadeira (V/V); τ = constante de tempo (s); ω = freqüência angular (1/s); c = expoente e $i = (-1)^{1/2}$.

Para alvos convencionais de *IP*, τ varia desde mili-segundos até índices superiores a 100 segundos e está relacionada com a granulometria (*grain size*) dos minerais polarizáveis. O expoente c varia, via de regra, entre 0.1 e 0.5 e constitui um parâmetro relacionado à uniformidade granulométrica dos alvos. O *SIP* é primeiramente utilizado para definir a "textura" da mineralização metálica em sub-superfície, relacionando-se à constante de tempo - τ do efeito *IP*, medido com a granulometria da mineralização (Pelton *et al.*, 1978). Assim, em geral, a constante de tempo é pequena em mineralizações de granulação fina, verificando-se o contrário quando a mineralização é grossa, o que pode permitir, por exemplo, a discriminação entre grafita e sulfetos metálicos de interesse econômico (Pelton *et al.*, 1978). Estes últimos autores verificaram que os parâmetros espectrais c e R_0 variam pouco com o tipo de mineralização, sendo que o primeiro deles é um fator independente e praticamente constante, enquanto τ e m são os mais importantes e estão relacionados com o aumento dos teores (incrementos simultâneos de m e τ) e da granulometria (aumento de τ e diminuição de m) do minério. Os experimentos de Pelton *et al.* (1978) demonstraram também que a discriminação espectral entre mineralizações disseminadas, maciças e em vênulas (*veinlets*), não depende da composição química, mas sim do hábito ou da granulometria do minério. Após a remoção das distorções provocadas pelo acoplamento eletromagnético, os resultados são interpretados através de um programa de inversão, determinando-se os quatro parâmetros espectrais (R_0 , m , τ e c), os quais fornecem a curva de dispersão Cole-Cole que mais se ajustou aos dados de *SIP* medidos, além do

Polarização Induzida Espectral

erro médio quadrático (*rms*) da cargabilidade verdadeira.

No modo Cole-Cole empregado na presente pesquisa, no domínio do tempo (2s), as curvas de decaimento medidas são comparadas com curvas teóricas calculadas com um expoente c fixo e igual a 0.25 (incorporado ao *software* do equipamento em função dos experimentos de Pelton *et al.*, 1978) e τ entre 10 ms e 100 s, de modo que os dados apresentados deste último parâmetro correspondem às curvas teóricas que melhor se ajustaram aos dados observados. O sistema de polarização induzida utilizado nos ensaios, fabricado pela *Iris Instruments*, envolve um receptor multicanal (ELREC-10), o qual permite investigar dez níveis de profundidade, um transmissor (VIP-3000) com potência máxima de 3 kW, alimentado por um gerador Honda EM5000.

Geologia do Alvo Paqueiro

A área do Paqueiro constitui-se de uma seqüência clasto-química, formada por camadas com espessuras de centenas de metros de mármore intercalados a filitos e calco-filitos, com direção geral N45°E e mergulhos de alto ângulo preferencialmente para SE. Os mármore são predominantes e em geral calcíticos.

A segunda litologia mais importante são filitos avermelhados que ocorrem em camadas menos espessas. Intercalados nos filitos ocorrem na porção SE da seqüência, calco-filitos parcialmente cobertos por colúvios provenientes dos quartzitos que sustentam a Serra do Carumbé. Todo o conjunto de rochas do Paqueiro é cortado por diques básicos de direção N45W, geralmente com poucos metros de espessura.

Falhas transversais de direção E-W cortam a seqüência, gerando deslocamentos horizontais dextrais de até 200 metros. A mina do Paqueiro é composta basicamente por dois filões lenticulares subverticais de direção geral N60E, com 30 e 60 metros de extensão, profundidade desconhecida, e espessuras de 1m, atingindo um máximo de 2,5 metros. O minério do Paqueiro é constituído principalmente por cerussita, galena, piromorfita, limonita, pirita e quartzo, tendo como ganga os carbonatos. Ouro e prata ocorrem associados à mineralização. A prospecção geoquímica de solo, utilizando-se o método *mobile metal ion (mmi)*, revelou inúmeras anomalias de Cu (máximo de 54 vezes o *background*); Pb (máximo de 62 vezes o *background*) e Zn (máximo de 26 vezes o *background*).

Resultados Obtidos

Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 1 a 7 e foram derivados de duas linhas de SIP (LT-04NE e LT-00), espaçadas de 100m, com 1.000 e 800 m de extensão, respectivamente, na direção NW-SE, perpendicular às estruturas. O arranjo empregado foi o dipolo-dipolo ($a = 50m$), com seis (LT-00) e oito (LT-04NE) níveis de investigação, respectivamente. As profundidades adotadas para os mencionados níveis, em função dos espaçamentos do arranjo utilizado, foram aquelas sugeridas por Edwards (1977), ou seja, $n_1 = 21m$; $n_2 = 35m$; $n_3 = 48m$; $n_4 = 61m$; $n_5 = 74m$ e $n_6 = 87m$.

Todos os dados foram processados no módulo IP da *Geosoft OASIS Montaj™ (5.06)*, e os resultados das inversões da resistividade aparente e da cargabilidade global (cálculos dos modelos de profundidade) foram obtidos através do pacote *Zonge 2D Inversion for Interactiv™ IP*, da *Interpex/Geosoft*.

Como pode-se observar na Figura 1, a pseudo-seção da cargabilidade global aparente mostra um padrão típico de corpos verticais polarizáveis. Nota-se que o modelo obtido por inversão da mencionada variável definiu dois corpos, sendo que só aquele situado a SE, centrado no piquete 10 SE, coincidiu com fortes anomalias de Pb, entre 20 e 60 vezes o *background*, localizadas entre as estações 08-10 SE. Já o corpo mais polarizável, centrado no piquete 04 SE revelou apenas anomalias de Cu em torno de 10 vezes o *background* (Figura 3). A Figura 2 mostra os resultados da inversão dos dados de resistividade aparente, onde ressalta-se uma zona de baixa resistividade verdadeira posicionada em torno da estação 08 SE. É interessante ressaltar que a pseudo-seção da constante de tempo (Figura 4) define com clareza uma anomalia com altos índices de τ , definindo um corpo ente os piquetes 10-12 SE, justamente coincidente com anomalias de Pb de cerca de 60 vezes o *background* (Figura 3). Este fato induz à interpretação de que o parâmetro espectral discriminou um provável corpo sulfetado em detrimento do outro a NW, o qual deve refletir uma grande contribuição de outros minerais polarizáveis.

Os resultados da inversão dos dados de cargabilidade e resistividade aparente da LT-00 mostram claramente a existência de dois corpos polarizáveis e de baixas resistividades, centrados nas estações 4 SE e 5 NW. Neste caso, todos os segmentos compreendidos entre as mencionadas estações revelam anomalias geoquímicas significativas (35 de Cu, 27 de Pb e Zn e 15 de Cd), sugerindo a existência de corpos mineralizados em subsuperfície.

Polarização Induzida Espectral

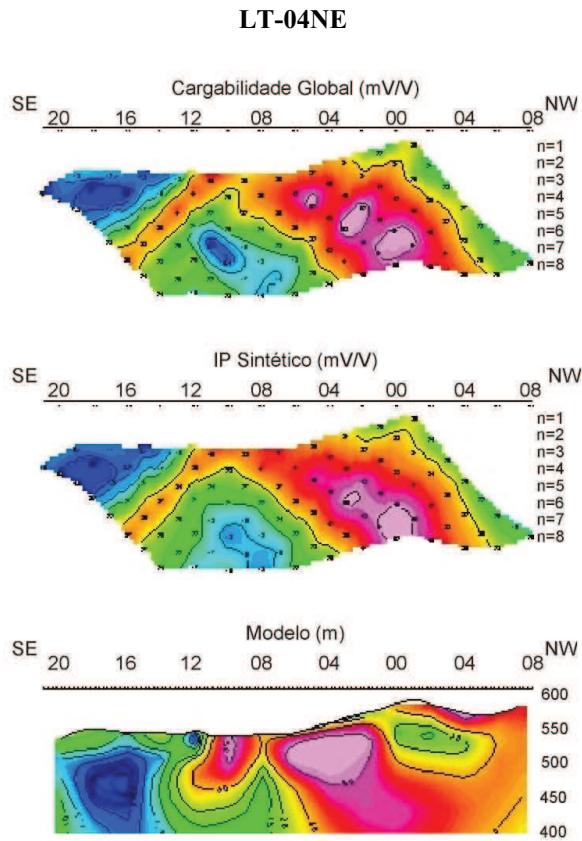


Figura 1 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e o modelo de profundidade obtido por inversão.

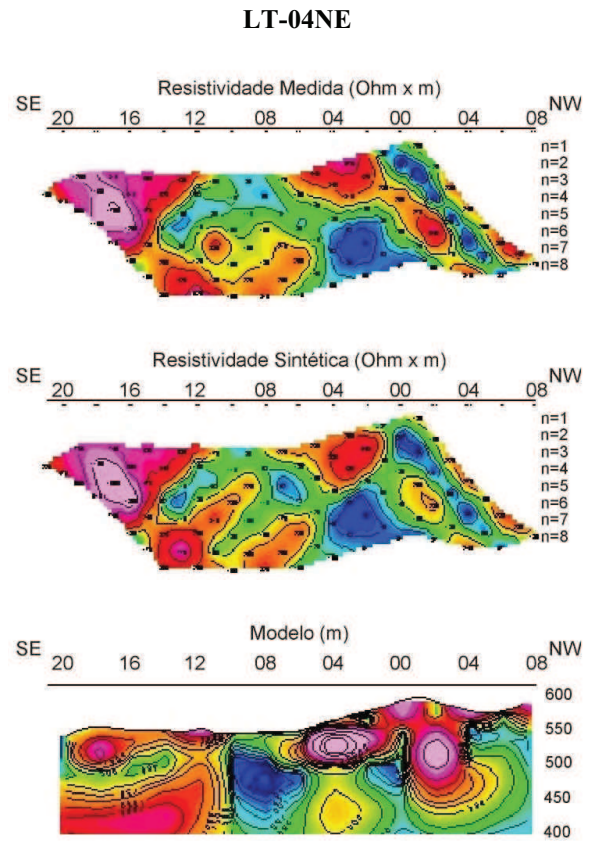


Figura 2 – Pseudo-seções de resistividade aparente e o modelo de profundidade obtido por inversão.

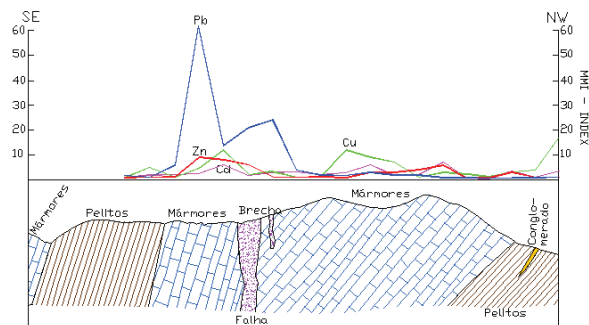


Figura 3 – Perfil geológico-geoquímico da LT-04NE.

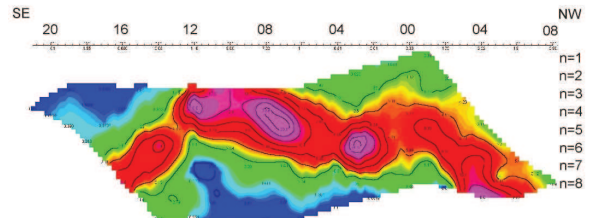


Figura 4 – Pseudo-seção da constante de tempo (τ).

Polarização Induzida Espectral

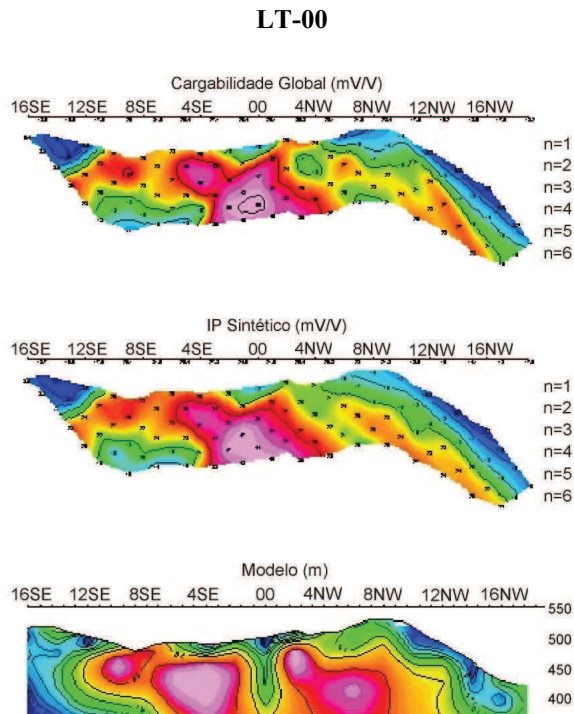


Figura 5 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e o modelo de profundidade obtido por inversão.

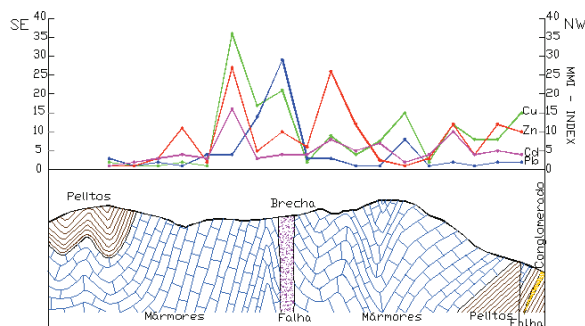


Figura 7 - Perfil geológico/geoquímico da LT-00.

Conclusões

Os trabalhos de polarização induzida espectral (SIP) realizados sobre fortes anomalias geoquímicas em solos de Cu-Pb-Zn-Cd, dosadas pelo método *mobile metal ion (mmi)*, sugeriram a existência de corpos polarizáveis (sulfetados) em subsuperfície, os quais devem ser confirmados por sondagens rotativas.

LT-00

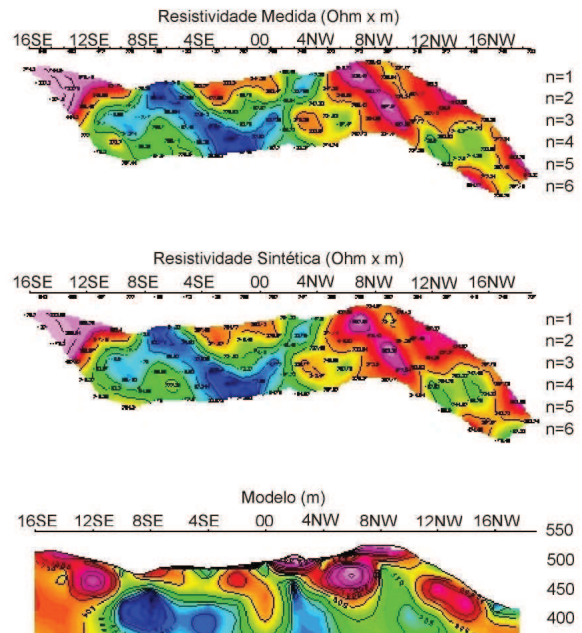


Figura 6 – Pseudo-seções de resistividade aparente e o modelo de profundidade obtido por inversão.

Agradecimentos Os autores agradecem ao Projeto Geofísica Aplicada CNPq/PADCT, Contrato N° 62.0155/97-3, o apoio para esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Cole, K.S. & Cole, R.H. 1941. Dispersion and absorption in dielectrics. *J. Chem. Phys.* v. 9, p. 341.
- Dias, C.A. 1972. Analytical model for a polarizable medium at radio and lower frequencies. *Journal of Geophysical Research*, 77 (26):4945-4956.
- Edwards, L.S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, v.42, p. 1020-1036.
- Johson, I.M. 1990. Spectral IP parameters from time-domain measurements, p. 57-78. *In: Induced Polarization—Applications and Case Histories*, SEG.
- Loke, M.H. 2000. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. *Advanced Geosciences, Inc.* 58p. (<http://www.agiusa.com>).
- Pelton, W.H. *et al.* 1978. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. *Geophysics*, v. 43, p. 588-609.
- Sampaio, E.S. *et al.* 1993. Polarização Induzida Espectral em Santa Luz - Ba. 3º Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica, SBGf, RJ, v.I, p.503-508.