

Avaliação Geométrica Detalhada da Pluma de Contaminação no bloco Aquífero Caraíba usando Eletrodos Enterrados.

Cianara M. Palma e Olivar A. L. Lima
CPGG/UFBA

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

An acid contamination around Caraiba Metalurgy has altered the water quality within a portion of the unconfined aquifer of Marizal Formation referred as the Caraiba block. Detailed geoelectrical surveys have been used to delineate the invasive paths and the underground acid accumulation within this sandstone sequence. However, due to the high resistivity and chargeability contrasts between the plume, its transitional zone and the virgin aquifer material, it is too difficult to get an unambiguous evaluation of these electrical parameter, using solely surface electrical measurements. Thus, a multi-electrode well has been constructed tapping through the transitional zone and the acid core up to the base of the plume. Ring-shaped electrodes (1cm width) are equispaced by 50 cm along a 2" well casing up to 13,31 m depth, each one connected by insulating cables to a surface control box. This multi-electrode well is being used both as a monitoring logging tool before and during the aquifer remediation development, as well, as to perform radial resistivity soundings in the area using underground electrodes. Normal and lateral logs of apparent resistivity and chargeability having several electrode spacing, allows to get detailed electrical images around the well interpreted in terms of petrophysical parameters and of the groundwater quality. Semi-Schlumberger soundings with surface and underground current electrodes were quite useful to define precisely, the electrical parameters of the plume and of its transitional zone. A conventional combination of electrical, sonic and radioactive logs were used for comparison.

Introdução

As instalações industriais da Caraíba Metais localizam-se no setor Noroeste do Pólo Petroquímico de Camaçari, Região Metropolitana de Salvador, Bahia(Fig1).

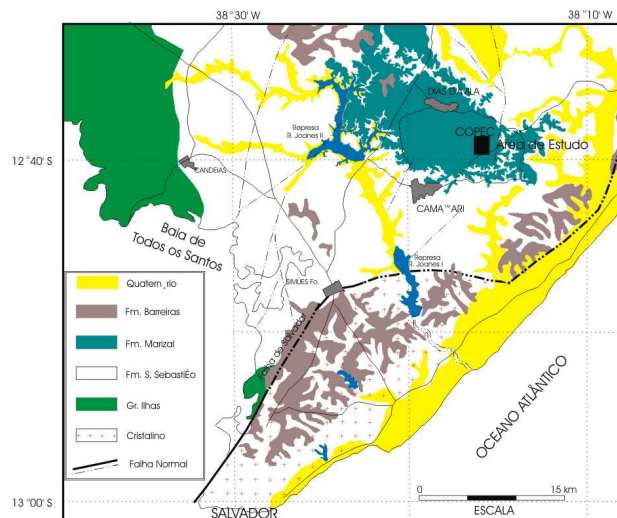


Fig – 1 Mapa de localização da área de estudo.

A metalurgia do cobre tem como sub-produto importante uma planta de ácido sulfúrico concentrado, com produção mensal de 18.000 m³. O complexo do cobre ocupa um terreno de 1,45 km² constituído pelos depósitos arenó-argilosos, fracamente consolidados, da Formação Marizal. Subjacente a eles ocorre a seqüência fluvio-lacustre da Formação São Sebastião, consistindo da alternância de arenitos, folhelhos e siltitos. São distinguidos dois sistemas aquíferos na área: (i) um sistema livre representando principalmente pelos arenitos da Formação Marizal (ii) um sistema semi-confinado composto pelas múltiplas camadas arenosas da Formação São Sebastião.

O bloco hidráulico denominado bloco Caraíba (Lima, 2000) que inclui uma parte do sistema aquífero livre, corresponde a um paralelepípedo com 3,2 km de comprimento, 2,1 km de largura e aproximadamente 50 m de espessura. Sua definição foi efetuada com base na estrutura geológica e no padrão do fluxo subterrâneo, de modo que a maior parte de seu contorno lateral corresponde à correntes superficiais de água(Fig.2).

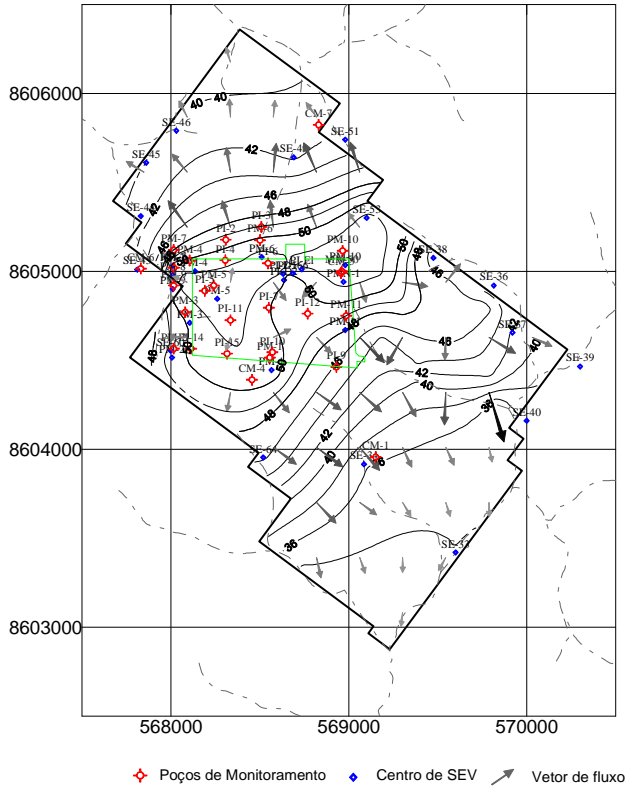


Fig2-Mapa do topo do lençol freático na área estudada

A contaminação do aquífero por ácido dentro do bloco Caraíba foi detectada em 1993, através de estudos geofísicos e hidrogeológicos (Lima et al., 1995). Uma pluma foi associada a uma anomalia elétrica dez vezes mais condutiva que o aquífero normal da região. Desde então a Caraíba Metais vem desenvolvendo um programa de monitoramento e contenção da contaminação que inclui: (i) a realização de análises químicas de águas coletadas mensalmente em poços rasos estrategicamente localizados na área industrial; (ii) uso de geofísica elétrica de detalhe para definir áreas fontes, percursos de percolação e zonas de acumulação da solução ácida; (iii) a execução de testes de bombeamento, modelagem do processo de extração e construção de poços para extração preferencial do núcleo mais acidificado da pluma.

Uma das dificuldades encontradas na interpretação das sondagens elétricas verticais de IP-resistividade na área reside no elevado contraste de resistividade entre a zona núcleo da pluma, a zona transional e o aquífero em suas condições naturais. Além disso, a camada resistiva do solo não saturado tende a mascarar os efeitos elétricos provenientes de zonas mais profundas. Conceitualmente, a solução exata desses problemas não existe. Todavia, soluções aproximadas satisfatórias para propósitos práticos, que capturam aspectos essenciais do problema analisado podem ser obtidas, à custos razoáveis, quando se combina diferentes propriedades físicas e/ou formas de aquisição com geometrias variadas (Johansen

1977; Constable et al.1987; Gupta et al.1997; Porsani et al.2001)

Neste trabalho, propomos um procedimento de avaliação geolétrica que inclui a obtenção de medidas de resistividade e de IP no domínio do tempo, obtidas entre eletrodos enterrados (multi-perfilagens elétricas) e entre estes e outros eletrodos localizados na superfície do terreno (sondagens elétricas com eletrodos enterrados). Os resultados obtidos permitiram determinar com precisão, a distribuição vertical da resistividade e da cargabilidade elétrica no subsolo e serviram para reavaliar, com grau maior de detalhes os estudos geolétricos superficiais anteriormente realizados.

Metodologia e Resultados Obtidos

Os métodos geolétricos tem sido empregados extensivamente em investigações hidrogeológicas e geotécnicas (Ward, 1990). Trata-se de uma técnica geofísica de baixo custo, robusta e com procedimentos de interpretação bem estabelecidos. Problemas dos tipos tais como a determinação da geometria de aquíferos e da qualidade de suas águas tem sido adequadamente resolvidos analisando-se os potenciais ou campos elétricos medidos com precisão na superfície da Terra (Gupta et al., 1997; Yi et al., 2001). Mais recentemente, esses métodos têm sido aplicados também na solução de problemas de poluição subterrânea (Lima et al., 1995; Vanhala, 1997; Rühlow et al., 1999).

Em princípio, a técnica envolve a medida das voltagens geradas no terreno por correntes elétricas nele injetadas nos eletrodos implantados na superfície ou em poços existentes. Funções resistividade e cargabilidade aparentes são computadas com essas medidas, e interpretadas em termos da geometria estrutural e distribuição das propriedades elétricas (resistividade e cargabilidade) no subsolo. Além disso, é possível avaliar, através das propriedades físicas derivadas, a variabilidade petrofísica e as características dos fluidos contidos nos poros das formações.

Visando contribuir para a construção de um modelo mais apropriado para descrever a estrutura do bloco aquífero Caraíba, assim como para melhor definir a configuração de sua pluma de contaminação, decidimos testar o emprego da técnica geolétrica com eletrodos em poços. Para isso, um poço de construção especial foi perfurado ao lado do primeiro poço da bateria de extração que está sendo implantada na área, visando recuperar as condições originais do aquífero. Foram fixados externamente ao revestimento do furo, efetuado em duas polegadas de diâmetro, 27 eletrodos equidistantes entre si de 50 cm. Cada eletrodo é um anel de alumínio com 1cm de largura e 2mm de espessura, que se salienta do revestimento através de uma fita de borracha de câmara de ar. Todos os eletrodos são conectados a superfície por meio de cabos individuais cuidadosamente isolados, até uma caixa de controle na superfície.

Nas multi-perfilagens, os eletrodos do poço foram combinados em dois arranjos com diferentes características de investigação: (i) arranjo normal, onde dois eletrodos (um de corrente e um de potencial) situam-

se no revestimento e os outros dois remotamente na superfície; (ii) arranjo lateral no qual três eletrodos situam-se no poço (um de corrente e dois de potencial), enquanto o outro fica remoto na superfície. Com cada configuração foram obtidas sete conjuntos de medidas tendo diferentes raios de investigação, proporcionais as separações crescentes de 0,5 a 3,5 m no caso do arranjo normal, e de 0,75 a 3,75 m no caso do arranjo lateral.

A figura 3 contém a perfilagem geofísica convencional do poço de produção nº 1, consistindo de perfis de radiação gama total, eletro-indução, normal de 16 polegadas de separação e sônico compensado. Ele mostra claramente a existência de uma zona de baixa resistividade (1,5 ohm.m, lida no perfil de indução), sobreposta por uma zona transicional, na qual a resistividade decresce linearmente com a profundidade a partir do nível estático de água subterrânea. A região condutora, por sua vez sobrepõe-se a uma camada de argila de cerca de 1,5 m de espessura (bem indicada no perfil GR) que estancou a invasão vertical do contaminante, de modo que a base arenosa até, 21m de profundidade, parece representar condições aquíferas normais. A parte argilosa inferior de furo, de 21 a 25m de profundidade, corresponde a um espesso pacote de folhelhos da Formação São Sebastião, que separa os dois sistemas aquíferos na área.

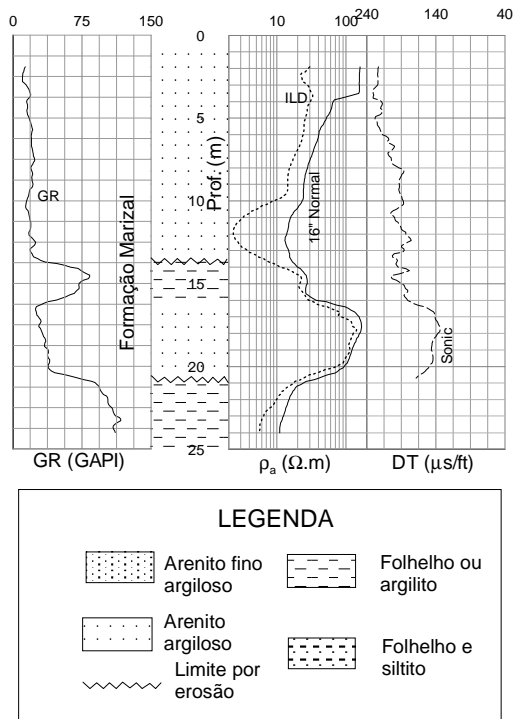


Fig. 3 – Perfilagem geofísica do poço de produção

A figura 4 contém pseudo-seções de resistividade e de cargabilidade aparentes obtidas usando arranjos normais de eletrodos. A figura revela a presença das seguintes regiões concêntricas com o furo: (i) uma região de baixa resistividade e baixa cargabilidade, próxima a parede do furo, que reflete a influência da lama de perfuração (que não pode ser completamente removida na completação do poço); (ii) uma região de relativamente elevada resistividade e cargabilidade intermediária, representando a zona invadida pela água da lama usada na perfuração; (iii) uma região onde a resistividade e a cargabilidade diminuem com a profundidade, com mínimo exatamente em frente ao núcleo ácido. Os perfis com arranjos laterais fornecem imagens elétricas com características bastante similares.

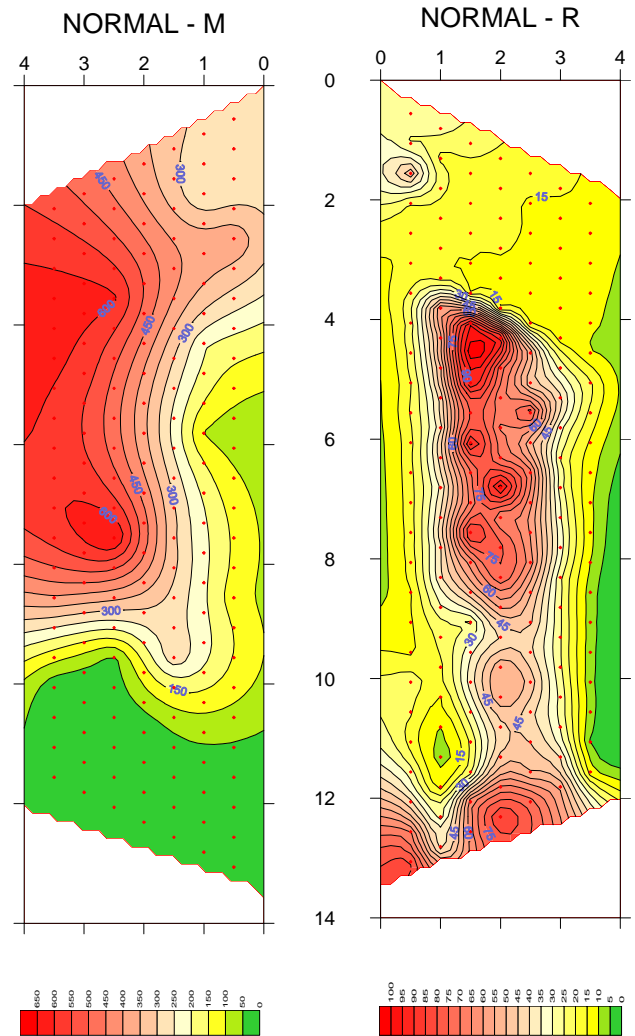


Fig. 4 –Pseudo-seção da resistividade (R) e cargabilidade (M) aparentes no arranjo Normal.

A figura 5 mostra curvas de sondagens elétricas obtidas com o arranjo semi-Schlumberger de eletrodos, usando três posições de eletrodos enterrados: um na superfície ($\cong 0,31m$); um na zona transicional a 7,31 m de

profundidade, e um no núcleo da pluma a 13,31m de profundidade. Esses resultados mostram que, em cada situação, a resistividade da camada penetrada pode ser determinada, com precisão, na curva de sondagem. Algumas distorções presentes nas curvas se devem a heterogeneidades laterais, especialmente na camada superficial não-saturada, eventualmente cimentada ou capeada com brita.

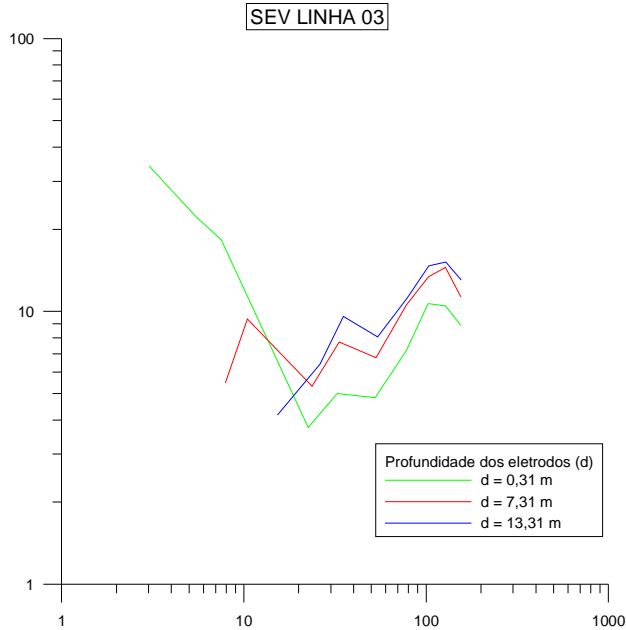


Fig .5 – Curva de sondagem elétrica com o arranjo semi-Schlumberger e eletrodos enterrados.

Conclusões

Os dados de multiperfilagens de resistividade e de cargabilidade, apresentados como pseudo-seções, são úteis para caracterizar as diferentes zonas do aquífero a partir da zona nuclear da contaminação. Eles estão sendo interpretados em termos das características petrofísicas do reservatório e das reações físico-químicas que acontecem entre a matriz rochosa e o fluido invasor. Sondagens com eletrodos enterrados, apesar de mais sensíveis a efeitos laterais superficiais, auxiliam a determinar, com melhor precisão, as resistividades das camadas intermediárias em sucessões com elevados contrastes de resistividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Caraíba Metais pela permissão de acesso a área da fábrica e a autorização para divulgação do presente trabalho, e ao CPGG/UFBA pelo apoio e ambiente adequado a realização da pesquisa. C. M. Palma agradece à CAPES pelo apoio na forma de bolsa de Mestrado e O.A.L. de Lima ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

Referências Bibliográficas

Lima, O.A.L., Sato, H. K. e Porsani M.J., 1995, Imaging industrial contaminant plumes with resistivity techniques. *Journal App.Geophys*, 34, 93 –108.

Lima, O.A.L., 2000, Estudo da Contaminação no aquífero freático Marizal sob a área da Caraíba Metais; Caracterização do sistema e análises de sua recuperação. Relatório Técnico conv. UFBA/FAPEX/ CARAÍBA METAIS.

Rühlow, A., Tekzan B e Lima, O .A .L., 1999, DC Resistivity and time domain induced polarization survey for the study of groundwater contamination in Bahia, Brazil. *European Jour. Env. & Eng. Geophys*, 3, 143-159.

Vahala, H., 1997, Mapping oil contaminated sand and till with the spectral induced polarization (SIP) method. *Geophys. Prosp*, 45, 303 – 326.

Yi, M., Kim, J., Song, Y.; Cho, S., Chung, S e Swih J., 2001, Three – dimensional imaging of subsurface structures using resistivity data. *Geophys. Prosp.*, 49, 483-497.

Ward, S.H. (Ed), 1990. *Geotechnical and Environmental Geophysics. Investigation in Geophysics 5*, Soc. Exp. Geophys., Tulsa.

Gupta, P.K., Sri Niwas, and V.K.Gaur.1997. Straightforward inversion of vertical electrical sounding data. *Geophysics* 52, 289 – 300.