

## Novas Técnicas Geoeletricas Otimizadas para Avaliar Danos Hidrológicos em Ambientes Subterrâneos

Olivar A. L. de Lima\* (CPGG/UFBA) e Patrícia de A. Pereira (CPGG/UFBA)

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent 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

In this paper we propose two new geoelectrical techniques designed to improve the structural delineation of underground contamination plumes, using multi-electrode arrays. These techniques were tested in a selected area surrounding the garbage landfill of Alagoinhas, Bahia. A permanent multi-purpose electrical logging device was installed on special monitoring wells. For this, drilled boreholes were completed using rigid PVC casings and filters containing ring electrodes 1cm wide, externally mounted at 0.5m distance interval along its entire length. These electrodes are transferred to the surface through an electric multi-cable. A multi-sounding surface techniques using two-sides semi-Schlumberger arrays were also developed to explore its sensitivity to lateral resistivity variations. The experimental results obtained attest the versatility of both techniques in evaluating the underground hydrological damages.

### Introdução

Um levantamento geoeletrico convencional com sondagens de IP-resistividade foi executado na área do entorno dos depósitos de lixo urbano de Alagoinhas, Bahia. Com ele foi possível delimitar, de forma satisfatória, uma extensa pluma de contaminação subterrânea acidificada, invadindo a porção superior do espesso aquífero livre regional (Pereira, 2004).

A extensão e a intensidade desse dano ambiental foi confirmada pela perfuração e construção de três poços de monitoramento, em adição aos já existentes naquela área. Os padrões geométricos da anomalia geoeletrica mapeada foram usados na locação desses novos poços. Estes foram completados não só para monitorar as características físico-químicas da água subterrânea, mas também para monitorar, eletricamente, o aquífero em regiões cilíndricas na vizinhança dos poços.

Na completação dos poços de monitoramento foram instalados, nas partes externas de seus revestimentos, conjuntos de eletrodos anelares de 1cm de largura espaçados de 0,5m entre si. Esses eletrodos, conectados por cabos isolados até a superfície, constituem dispositivos permanentes para execução de multi-

perfilagens elétricas com diferentes combinações ou arranjos de eletrodos.

Em função do elevado contraste de resistividade entre a zona não-saturada dos arenitos e o aquífero na região da contaminação, a interpretação de algumas das sondagens elétricas Schlumberger se mostrou incerta ou ambígua. Tais efeitos são referidos na literatura como problemas de equivalência e supressão elétricas (Keller e Frishknecht, 1966).

Além disso, algumas sondagens mostraram distorções típicas da presença de contrastes laterais de resistividade, incompatíveis com modelos de acamamento sub-horizontal. Para confirmar e melhor descrever esses efeitos foram realizados alguns perfis de IP-resistividade, construídos a partir de multi-sondagens elétricas alinhadas, efetuadas com arranjos semi-Schlumberger, lateralmente alternados a partir de um centro localizado nos poços de monitoramento. Neste trabalho discutimos os principais resultados e as vantagens práticas dessas duas novas técnicas de aquisição de dados geoeletricos.

### Metodologia

A partir dos resultados obtidos na primeira fase dos trabalhos, foram construídos três poços especiais de monitoramento localizados, um no antigo depósito de lixo, outro no aterro sanitário atual e outro num ponto externo a esses depósitos, próximo à uma plantação de eucaliptos (Fig. 1).

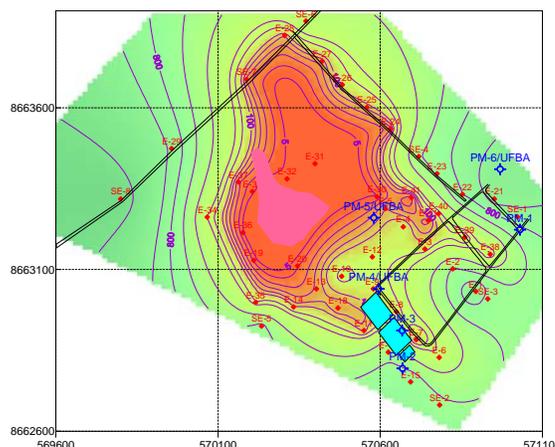


Figura 1 – Mapa da resistividade verdadeira do aquífero mostrando a extensão da pluma, a localização dos depósitos de lixo e dos poços de monitoramento.

Os poços foram construídos com revestimento de 4" em PVC rígido, com 4m de seção filtrante na base. Ao longo do revestimento foram fixados eletrodos anelares de 1cm de largura, equiespaçados de 0,5m entre si, com cabos numerados, diretamente conectados à superfície. As fotos 1 e 2 ilustram a disposição dos eletrodos e dos cabos num revestimento do poço.



Foto 1. Preparação do revestimento para instalação no poço de monitoramento com multi-eletrodos.



Foto 2. Disposição interna dos cabos de ligação dos eletrodos no revestimento dos poços multi-eletrodos.

Os eletrodos anelares podem ser combinados em diferentes arranjos, sendo os mais comuns os chamados arranjos normais, onde dois deles (um de corrente e outro de potencial) situam-se no revestimento e os outros dois, necessários para fechar os circuitos, são enterrados remotamente na superfície. No presente caso, cada poço foi perfurado duas vezes, com seis arranjos normais de espaçamentos variando de 0,5 a 3,0m. A primeira, realizada imediatamente após a conclusão e limpeza de

cada um deles com o compressor da perfuratriz. A segunda, após desenvolvimento adicional com compressor e com bombeamento centrífugo. Nessas perfilações foi usado o equipamento SYSCAL R-2 do CPGG/UFBA, fazendo-se leituras simultâneas de resistividade e de polarização elétrica induzida.

## Resultados

A Figura 2 mostra, na forma de seções transversais das funções resistividade e parâmetro de polarização aparentes, os resultados das perfilações dos poços especiais de monitoramento PM-4 e PM-5, o primeiro localizado sobre o antigo depósito de lixo, e o segundo na extremidade sul da área do atual aterro. Tais perfilações foram realizadas imediatamente após a conclusão final desses poços.

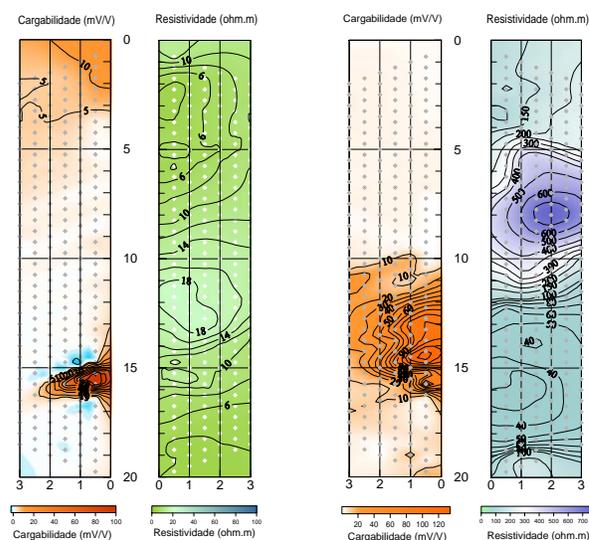


Figura 2. Imagens geoeletricas dos poços PM-5 (P-1) e PM-4 (P-2) obtidas logo após a perfuração dos poços.

Esses primeiros resultados mostram que os poços ainda apresentam sinais de danos de formação, causados pela invasão dos filtrados e das lamas usadas em suas perfurações, compostas a base de argilas bentonitas. O desenvolvimento com o compressor da sonda não foi suficiente para remover completamente a lama que invadiu os poros das formações. As zonas mais invadidas estão bem demarcadas pelas anomalias de cor laranja delineadas nas seções de cargabilidade elétrica.

As imagens do poço PM-5, além de destacar a zona de invasão, mostram que a parte superior do perfil correspondente à mistura de lixo com sedimentos, tem resistividade baixa, indicando a natureza condutiva do lixiviado na zona não-saturada do aquífero. O aquífero abaixo de 13,2m de profundidade também possui resistividade baixa, na mesma ordem de grandeza da zona superior. Essas duas zonas são separadas por um intervalo de transição onde a resistividade é ligeiramente mais elevada.

As imagens do poço PM-4 mostram uma zona invadida bem mais extensa que a de PM-5, indicando uma maior permeabilidade do aquífero no local. Além disso, sua zona saturada é caracterizada por valores de resistividade aparente acima de 300ohm.m. A resistividade verdadeira do aquífero é relativamente baixa, mas bem superior a do poço PM-5. É possível, ainda, usar essas medidas elétricas para estimar a condutividade da água no aquífero, a argilosidade dos arenitos e a variação de saturação ao longo de toda a zona vadosa.

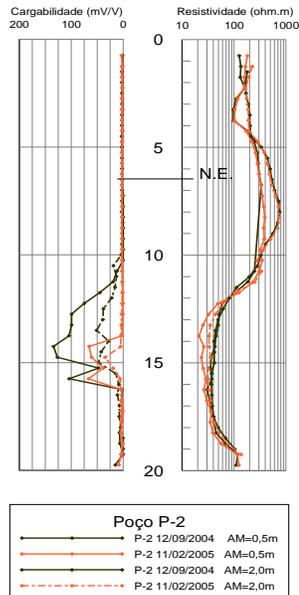


Figura 3. Variações de resistividade e de cargaabilidade nas duas perfilagens executadas no poço PM-4.

A figura 3 compara os dados das perfilagens obtidas no poço PM-4, com dois arranjos normais de 0,5 m e de 2,0 m de separação, logo após a conclusão do poço, e após seu posterior redesenvolvimento com compressor e bomba centrífuga. Os resultados mostram a efetiva retirada da argila da zona de invasão, tanto em profundidade rasa, quanto mais internamente no aquífero. Estes perfis permitem também definir a posição do nível freático (em torno de 10m de profundidade), tanto por um aumento da cargaabilidade, quanto pela redução da resistividade.

A zona não-saturada do sub-solo tem resistividades mais elevadas que as do aquífero e, os valores medidos em frente a ela, podem ser convertidos em índices de saturação com água usando a lei de Archie ou uma variante dela. Tais conversões estão sendo elaboradas e testadas pela integração dos resultados.

Para dirimir as incertezas relacionadas ao levantamento geoeletrico com sondagens Schlumberger nesta área desenvolvemos um novo esquema de aquisição para executar perfilagens usando multi-

sondagens com dois arranjos semi-Schlumberger simetricamente dispostos com respeito ao centro da linha.

Um arranjo semi-Schlumberger se obtém de um arranjo Schlumberger convencional removendo um dos eletrodos de corrente para infinito. Num terreno horizontalmente estratificado é possível mostrar que as resistividades aparentes calculadas para as configurações convencional e as duas possíveis semi-Schlumberger tem o mesmo valor. Portanto, a combinação dessas configurações pode ser usada para explorar efeitos de variações laterais de resistividade.

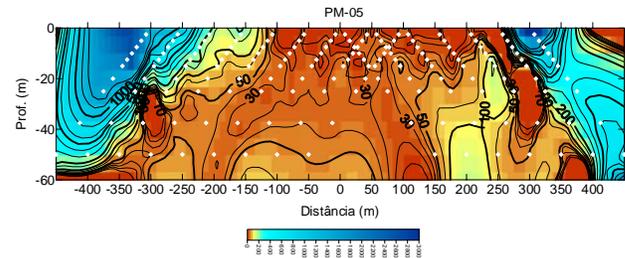


Figura 4 – Seção de resistividade aparente obtida com arranjos semi-Schlumberger de eletrodos ao longo de linha Leste-Oeste centrada no poço PM-05.

A figura 4 mostra a seção de resistividade aparente obtida na área usando a combinação proposta. Os valores medidos estão plotados a uma profundidade correspondente a  $AO/2$ ,  $AO$  sendo o espaçamento do arranjo semi-Schlumberger. O eletrodo do infinito situa-se em posição oposta a da inclinação das linhas de pontos de medição. Da análise desses resultados pode-se verificar que há uma melhor definição do posicionamento lateral e vertical das interfaces transicionais entre a pluma e o aquífero normal.

## Conclusões

A partir dos resultados descritos, conclui-se que a nova técnica de investigação com poços multi-eletrodos constitui uma alternativa eficiente e de baixo custo para executar monitoramentos geofísicos e hidrológicos de aquíferos. Os resultados ora descritos comprovam a eficácia desta técnica no monitoramento ambiental de áreas contaminadas. Dada o tempo de vida útil desses poços, eles podem ser usados também para monitorar as fases de remediação e de recomposição do sistema hídrico à seu estado natural.

A perfilagem superficial com multi-sondagens semi-Schlumberger também se mostrou bastante adequada para delinear com mais precisão os contatos laterais da pluma de contaminação. Além disso, a inversão de duas sondagens em cada centro, reduz sensivelmente a incerteza da interpretação quantitativa de sondagens elétricas.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Programa PROSAB da FINEP e a Prefeitura Municipal de Alagoinhas pelo apoio a realização do presente trabalho. Ao CPGG/UFBA pelo ambiente favorável e o suporte ao projeto. Ao CNPq pelo financiamento de bolsa de produtividade em pesquisa.

**Referências**

Keller G. V. e Frischknecht, F. C., 1966, Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, Oxford.

Pereira, P. A., 2004, Alterações ambientais causadas por depósito de lixo urbano e curtume no município de Alagoinhas, Bahia. Dissertação de Mestrado em Geoquímica, Universidade Federal da Bahia.