



## Aplicação do método eletrorresistivo na avaliação geoambiental da região de Alagoinhas, Bahia

\*Rogério de Jesus Porciúncula, CPGG/UFBA, Brasil

Olivar Antônio Lima de Lima, CPGG/UFBA, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

This work discuss the geophysical experiment with the electrical resistivity method performed in Alagoinhas county, BA. The goals were to gain informations about the environmental conditions of the area and to increase it hydrogeological knowledgment. The studied area contains an important aquifer composed by thick fluvial sandstones of the Marizal and São Sebastião formations. This system is being exploited both for urban supply as well as in industries of beverages. The urban and industrial development of the county is promoting environmental changes that may endanger the quality of its water resources, both surface and underground. In this geophysical study were performed 59 vertical electrical sounding using the Schlumberger electrode array up to a maximum AB/2 spacing of 1000 m. The geoelectrical data were inverted using the softwares RES1D and RESIST. Apparent resistivity maps and geological crosssections were constructed to represent the aquifer geometry and to infer the presence of possible water contaminations in it.

### Introdução

O crescimento populacional, os desenvolvimentos agrícolas e industriais estão se tornando, cada vez mais, agentes causadores de alterações ambientais como a contaminação de solos, águas subterrâneas e águas superficiais, devido aos seus produtos e rejeitos.

Águas superficiais poluídas não só reduzem o uso dos mananciais disponíveis como também levam a um crescimento desordenado da exploração hídrica subterrânea, entretanto, essa exploração sem um estudo prévio do ambiente hidrogeológico, pode afetar seriamente a disponibilidade do mesmo.

A preocupação com a conservação dos recursos hídricos põe a Geofísica como uma ciência fundamental para descrição e orientação do uso racional dessas reservas, tratando informações sobre a detecção e mapeamento da extensão de zonas contaminadas, direções de fluxos subterrâneos, além de fornecer informações sobre profundidades do topo da zona saturada e do substrato do aquífero. A natureza não invasiva, juntamente com o baixo custo operacional, rapidez e facilidade na

aplicação, são parâmetros que caracterizam a eficácia do método eletrorresistivo nos estudos geoambientais.

No município de Alagoinhas-BA, os resíduos sólidos urbanos são despejados num aterro sanitário que se localiza próximo a Rodovia BR-101 a uma distância de 12 km, aproximadamente, da zona urbana. Anteriormente, em área contígua a do atual aterro, os rejeitos eram depositados a céu aberto. Além disso, nessa área foi instalada a indústria de curtume da empresa BRESPEL desde 1979.

Um grande sistema aquífero subjaz quase toda área do município de Alagoinhas. Dele é extraída toda a água para atender às necessidades populacionais, agrícolas e industriais do município, com a indústria de bebidas SCHINCARIOL, a PETROBRAS e a BRESPEL. Alagoinhas faz parte do chamado Distrito Florestal do Litoral Norte, criado pelo Governo Federal, para extensivas silviculturas de eucaliptos.

Durante 2004, um levantamento geofísico elétrico, realizado pelo CPGG/UFBA nas proximidades do aterro, permitiu delinear uma extensiva pluma de contaminação cobrindo mais de 1,5 km<sup>2</sup> abaixo do nível freático. Tal pluma é caracterizada por um baixo pH e baixas resistividades e polarizabilidades elétricas em função da elevada carga de sais dissolvidos (Pereira, 2004).

Com o objetivo de ampliar o conhecimento geoambiental do município de Alagoinhas como um todo, foi executado um amplo levantamento geoelétrico com sondagens elétricas verticais utilizando o arranjo Schlumberger de eletrodos.

### Caracterização da área

O município de Alagoinhas situa-se no Nordeste da Bahia, entre as coordenadas geográficas 12°08'01" latitude sul, 38°25'25" longitude oeste e altitude média de 130 m. Possui cerca de 140.000 habitantes, que vivem numa área de 1179 km<sup>2</sup> a uma distância em torno de 107 km de Salvador.

A região de Alagoinhas se localiza na bacia sedimentar do Recôncavo. Sua cobertura é composta de sedimentos constituintes de formações quaternárias, Barreiras, Marizal e São Sebastião; esta última contendo um dos aquíferos mais importantes do estado da Bahia.

Os sedimentos Quaternários constituem sistemas de deposição recentes de origem fluvial e eólica.

A Formação Barreiras (Plioceno) constitui um sistema combinado de deposição fluvial e de leques aluviais. Compõe-se de areias finas a grossas, argilas cinza-avermelhadas, roxas e amareladas, ocorrendo sob a forma de extensos tabuleiros ligeiramente inclinados em direção à costa.

A Formação Marizal (Cretáceo Inferior) constitui também um sistema de deposição do tipo fluvial e de leques

aluviais originados da erosão dos altos tectônicos. Recobrem, em discordância erosiva, os arenitos da Formação São Sebastião. Compõe-se de arenitos grosseiros com estratificação cruzada de médio a grande porte, amarelados a avermelhados, intercalados com conglomerados com grãos de quartzo e fragmentos de rocha mal selecionados.

A Formação São Sebastião (Cretáceo Inferior) com espessura que pode chegar a 3.000 m é constituída de

arenitos quartzosos mal selecionados, amarelo-avermelhados, friáveis, feldspáticos, intercalados com argilas sílticas variegadas (Ghignone, 1979). Esta formação é bastante importante por conter a maior reserva de água subterrânea da Bacia do Recôncavo, ocupando uma área aproximadamente de 7.000 km<sup>2</sup>.

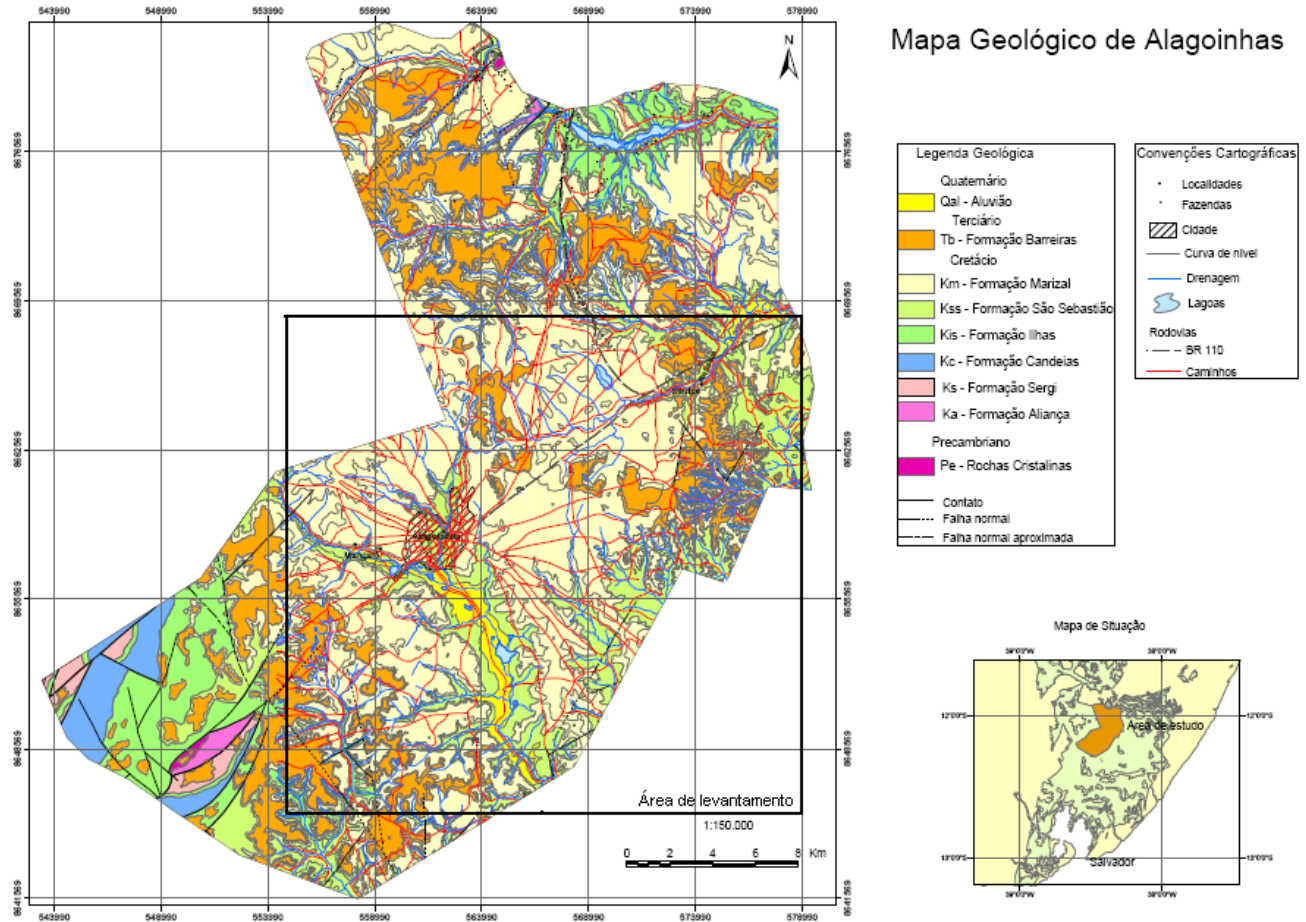


Figura 1: Mapa geológico do município de Alagoinhas.

**O Método Geoeétrico**

Este método consiste em injetar uma corrente elétrica no terreno através de dois eletrodos denominados eletrodos de corrente (A e B) e medir a diferença de potencial entre outros dois eletrodos denominados eletrodos de potencial (M e N). Conhecendo a intensidade de corrente injetada (I) e a diferença de potencial (ΔV) entre M e N, é possível computar uma função resistividade aparente para a subsuperfície (Telford e et al., 1990) dada por:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \tag{1}$$

onde,

$$K = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \tag{2}$$

é o fator geométrico do arranjo dos quatro eletrodos no terreno.

Neste trabalho utilizamos a técnica de sondagem elétrica vertical (SEV) usando o arranjo Schlumberger de eletrodos. Esta técnica consiste em determinar um conjunto de resistividade aparente em variação vertical de profundidade, efetuado com a separação crescente entre os eletrodos de corrente (A e B) e os eletrodos de potencial (M e N).

A expressão matemática de resistividade aparente para o arranjo Schlumberger é:

$$\rho = \pi \left( \frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \frac{\Delta V}{I} \tag{3}$$

Onde  $a = \overline{AB}/2$  e  $b = \overline{MN}$ .

**Aquisição e Processamento dos Dados**

O processo de aquisição de dados foi estabelecido durante quatro etapas, que se estenderam do dia 08/02/2007 ao dia 17/02/2007, do dia 16/04/2007 ao dia 26/04/2007, do dia 31/07/2007 ao dia 17/08/2007 e do dia 19/10/2007 ao dia 01/11/2007, num total de 59 sondagens.

Os dados das SEVs foram obtidos utilizando o arranjo Schlumberger com espaçamentos ( $a$ ) variando progressivamente de  $AB/2 = 1,0$  m a  $AB/2 = 1000$  m. As SEVs foram centradas ao longo das principais estradas da área e suas coordenadas foram obtidas por GPS.

Os equipamentos utilizados na aquisição foram resistivímetros modelos Syscal R2 e PRO, ambos fabricados pela Iris Instruments (França). Tais sistemas são constituídos de: (i) uma unidade transmissora e uma unidade receptora, acopladas e configuradas para realizar leituras simultâneas da resistividade aparente ( $\rho_a$ ) e cargabilidade aparente ( $m_a$ ); (ii) uma bateria de 12 Volts como fonte de alimentação à unidade transmissora, conectada a um conversor DC-DC de 250 Watts, com saída de 25 a 1600 Volts (Syscal PRO); (iii) eletrodos de aço para fazer contato com o terreno, além de fios, cabos, carretéis e outros aparatos.

Os dados obtidos em campo foram plotados em gráficos bi-logarítmicos de  $\rho_a$  versus  $AB/2$  a fim de controlar a qualidade das medidas através das correções entre ramos ou embregens e da observação do grau de suavidade das curvas.

Os dados foram invertidos utilizando, de maneira combinada, os programas RES1D (da GEOTOMO Softwares) e RESIST 1.0 um "software" de domínio público elaborado por Vander Velpen (1988). Estimativas iniciais sobre o número de camadas no modelo foram obtidas com o programa RES1D na opção de não entrar com modelo inicial. Nesta opção, o programa inverte para um modelo com um grande número de camadas que é então reduzido pelo intérprete, combinando as camadas com resistividades mais próximas. Assim, estabelece-se um bom modelo inicial para então garantir uma boa convergência e reduzir o número de iterações realizadas no RESIST 1.0. Mapas de isocontornos de resistividade aparente e seções geológicas foram construídos com auxílio dos "softwares" SURFER 8.0 e CORELDRAW, respectivamente.

**Resultados**

A figura 2 mostra um exemplo de curva de sondagens típicas da área e seu modelo final interpretado quantitativamente, determinada por inversão unidimensional de mínimos quadráticos (Koefoed, 1979), utilizando o RESIST 1.0 após estimativas iniciais adquiridas utilizando o RES 1D. Tal curva possui erro de ajuste de 2,7%.

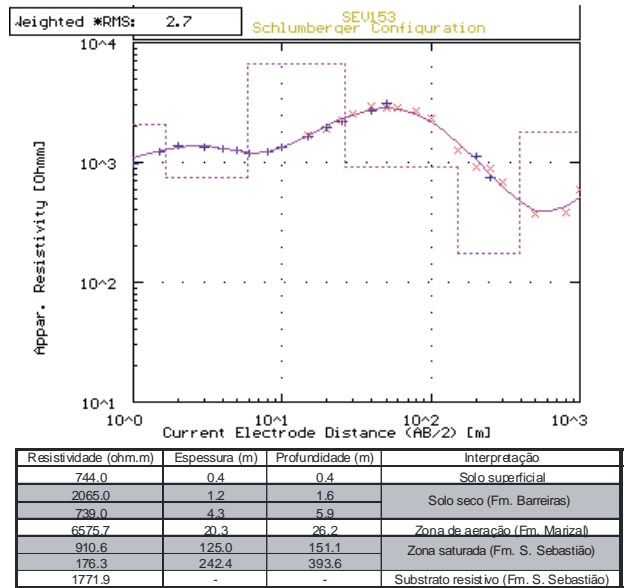


Figura 2: Curva de sondagem elétrica típica da área.

As figuras 3 e 4 mostram os mapas de isocontornos da função resistividade aparente em ohm.m medida para espaçamentos  $AB/2$  de 15 e 200 m. Elas refletem variações de resistividade desde as camadas mais próximas da superfície até uma profundidade da ordem de 100 m. Distinguem-se nesses mapas zonas bem definidas de elevada resistividade ( $> 2.000$  ohm.m) de zonas mais condutivas (entre 200 e 1.000 ohm.m). Localmente, se observa pequenas anomalias mais condutivas, em manchas vermelhas. As zonas de resistividades mais altas representam os efeitos das formações Marizal e Barreiras. Também é observado um crescimento na extensão e amplitude da zona condutora no mapa da figura 4 que se deve às manifestações de espessos pacotes de folhelho que constituem a base do componente aquífero freático regional formado pelo acoplamento das formações São Sebastião, Marizal e Barreiras.

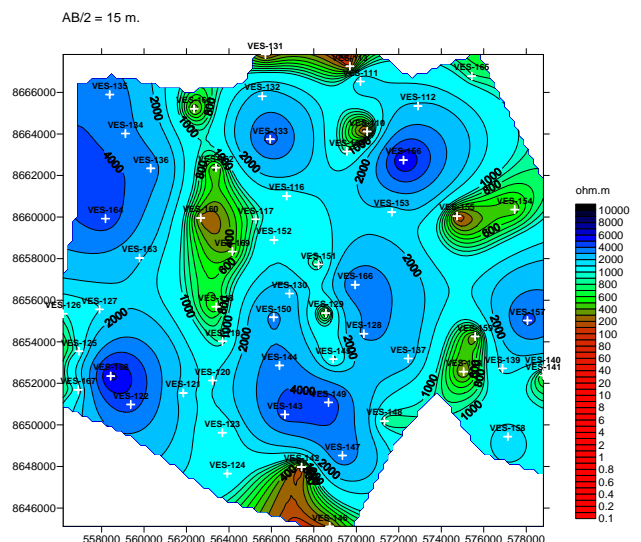
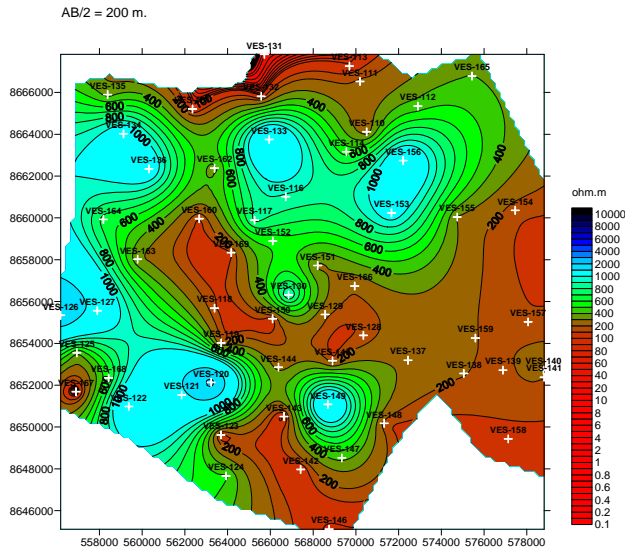


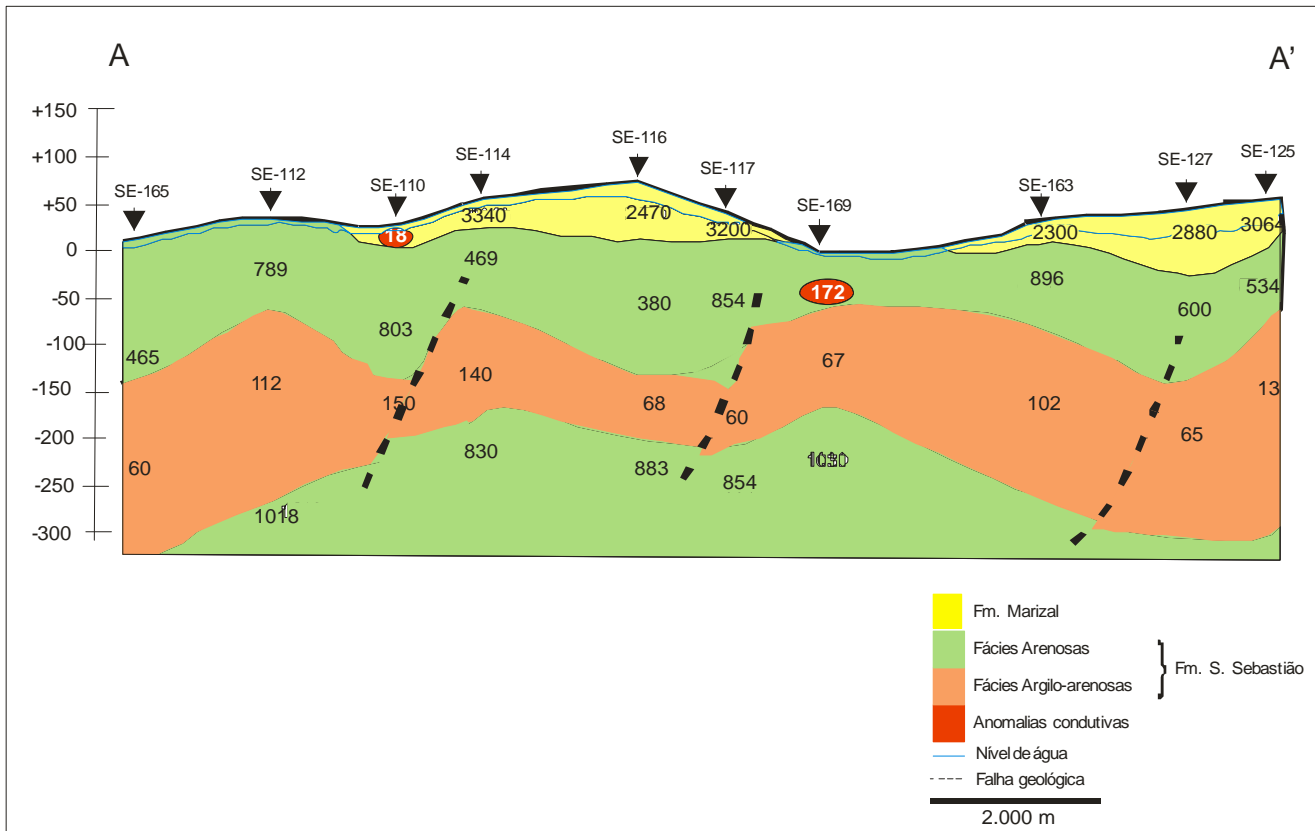
Figura 3: Mapa de isoresistividade aparente para  $AB/2 = 15$  m.



**Figura 4:** Mapa de isoresistividade aparente para  $AB/2 = 200$  m.

Um perfil geolétrico foi construído com base nos resultados interpretados das sondagens indicadas nos mapas esquemáticos das figuras 3 e 4. A seção A-A', de orientação NE-SW é constituída pelas SEVs 165, 112, 110, 114, 116, 117, 169, 163, 127 e 125, respectivamente.

Tal seção corta a região onde estão localizados o aterro e curtume e a zona urbana. Os resultados interpretados são mostrados na forma de perfil geolétrico na figura 5. Neste perfil se destaca a posição determinada para o nível freático no intervalo aquífero superior da Formação São Sebastião (em verde) e os arenitos Marizal (em amarelo). O intervalo ligeiramente mais condutivo com resistividades entre 60 e 150 ohm.m foi interpretado como pacotes mais argilosos constituídos por folhelho com intercalações de siltitos e arenitos.. Abaixo desse intervalo mais argiloso encontra-se um segundo intervalo arenoso da Formação São Sebastião que constitui a parte superior do sistema aquífero confinado regional. Também se destacam algumas estruturas do tipo falhas inferidas na seção, controlando a geometria estrutural dos aquíferos. As anomalias mais condutivas representadas em vermelho nas duas seções são interpretadas como zonas de contaminação no aquífero freático regional. Uma delas centrada em SE-110 é confirmada como pluma associada aos depósitos de lixo e ao curtume da empresa BRESPEL. A anomalia centrada em SE-169 parece refletir zona de contaminação associada à disposição de esgotos da zona urbana, comercial e industrial da cidade de Alagoínhas.



**Figura 5:** Seção geolétrica A-A' esquemática da área.



## Conclusões

O Método elétrico mostrou-se eficiente no sentido de avaliar o ambiente hidrogeológico da região de Alagoinhas-BA. Revelou respostas importantes para a elaboração de modelos da estrutura hidrogeológica dos aquíferos da área, capaz também de apontar algumas áreas indicativas de contaminação no aquífero. Além disso, promoveu informações sobre variações litológicas espaciais e sobre a distribuição do nível hidrostático em subsuperfície.

Os resultados permitiram identificar duas zonas muito condutoras associadas à poluição do aquífero freático, uma próxima ao depósito de lixo e curtume da empresa BRESPEL, e outra próxima a região urbana da cidade de Alagoinhas.

O modelo geoeletrico definido revelou que a Formação Marizal, em alguns lugares, tem ocorrência de espessuras superiores a 50 m, e que o nível estático de água subterrânea varia com a topografia do terreno, podendo variar de cerca de 3,0 m nos vales, a mais de 30 m nas colinas.

Do ponto de vista científico, este trabalho é de extrema importância para caracterização geoambiental da área e para mostrar o nível das intervenções antrópicas na degradação de solos e recursos hídricos da região.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CPGG/UFBA por ter dado a oportunidade e infra-estrutura para a realização deste trabalho, aos Professores Hédison Sato e Joaquim Neto pelas críticas e recomendações apontadas, a Luis Medeiros pelo apoio em campo e a CAPES pela disponibilidade de bolsa de estudo.

## Referências

**Ghignone, J. I.**, (1979) Geologia dos Sedimentos Fanerozóicos do Estado da Bahia, in: Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos, SME/COM, 1.

**Koefoed, O.**, (1979) Geosounding principles, 1: Resistivity Sounding Measurements, elsevier, Amsterdam – Oxford – New York.

**Loke, M. H.**, (2001) 1-d resistivity, ip e sip, inversion an forward modeling, Manual.

**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, Bahia.

**Pereira, P. A., Lima, O. A. L. e Rêgo, M. J. M.**, (2005) Estrutura elétrica da contaminação hídrica sob os depósitos de resíduos sólidos urbanos do município de Alagoinhas, Bahia.

**Reynolds, J. M.**, (1997) An introduction to applied and environmental geophysics, John Wiley and Sons, England.

**Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. e Keys, D. A.**, (1990) Applied Geophysics Cambridge Un. Press, Cambridge.