



# O método eletromagnético HLEM na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos

Leandro A. da Silva\*, Teófilo A. R. Chifunga e Irineu Figueiredo – Observatório Nacional, Brasil.

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica.

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

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of the 9th 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

O município de São Raimundo Nonato está localizado no estado do Piauí, Brasil. Em uma região denominada de polígono da seca, por ser dominada fundamentalmente por secas contínuas, e seu arcabouço geológico é constituído na sua maioria (cerca de 70%) por rochas cristalinas (granitos, gnaiesses). Estruturalmente verificam-se algumas feições do tipo graben, estruturas circulares, sistemas de fendas, fraturas interconectadas, descontínuas e com extensão limitada, além de lineamentos favoráveis a ocorrência de água subterrânea.

Uma conjugação de métodos foi utilizada pelo Observatório Nacional com o intuito de obter a localização mais provável de água subterrânea. Os levantamentos geofísicos se caracterizaram por métodos eletromagnéticos, em particular o método eletromagnético HLEM (horizontal loop electromagnetic).

Os dados gerados pelo método HLEM foram interpretados para identificação e localização de prováveis pontos de ocorrência de água subterrânea. Apresentando um bom resultado, da ordem de 90%. Entretanto, a inversão unidimensional destes dados utilizando o programa EM1DFM mostrou-se uma ferramenta ainda mais poderosa para a indicação de água subterrânea.

## Introdução

A região nordeste do Brasil tem uma área de 1.561.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 1.237.000 km<sup>2</sup> correspondem ao denominado polígono da seca. A região que compreende esse polígono engloba todo o estado do Ceará e parcialmente os estados do Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Paraíba e Bahia. O polígono da seca é caracterizado por uma escassez dos recursos hídricos de superfície, resultantes de baixas precipitações pluviométricas, que além de concentradas em uma única e curta estação úmida, apresentam irregularidades interanuais responsáveis por secas periódicas de efeitos muitas vezes catastróficos. Por outro lado, a região também está sujeita a taxas de evapotranspiração muito elevadas, oscilando com maior frequência em torno de 90%.

Atualmente os estudos realizados pelo Observatório Nacional, em áreas cristalinas, objetivam localizar poços para água subterrânea em falhas e fraturas, eventualmente existentes. Os estudos têm alcançado bom impacto social, em especial a locação de poços em área extremamente carente do semi-árido nordestino. Os trabalhos envolvem a interpretação de fotos aéreas e a utilização de um conjunto de técnicas geofísicas: Magnetometria, Eletromagnético Transiente (TEM), e Método Eletromagnético com Bobina Horizontal (HLEM), este último método foi utilizado neste trabalho. Esta metodologia tem sido desenvolvida ao longo dos últimos anos (Fontes et al., 1997; Meju et al. 2001; Chifunga, 2003), sendo aplicada principalmente na localidade de São Raimundo Nonato, sudeste do Piauí (destacado em azul no mapa da figura 1).

## Métodos e equipamentos

O processo de indução eletromagnética é conceitualmente resumido na figura 2. Uma corrente elétrica variável com o tempo é gerada em uma bobina no transmissor. Conseqüentemente, a corrente gera um campo magnético primário de mesma frequência e fase que se propaga acima e abaixo do solo. Linhas de força deste campo magnético penetram no solo e conseqüentemente no corpo condutivo, se o mesmo estiver presente. Quando isso acontece uma força eletromagnética ou voltagem é ajustada no condutor. Sendo assim uma corrente fluirá dentro do condutor em resposta a força eletromotriz induzida. Esta corrente flui normalmente no condutor em planos perpendiculares as linhas de força do campo magnético primário transmitido. A corrente que flui dentro do condutor gera um campo magnético secundário, cujas linhas de força, são as que opõem a variação do campo magnético primário. Assim uma resposta completa a esta corrente induzida é obtida pelo fato de existir uma combinação dos efeitos do campo primário e secundário.

O método é composto de um Transmissor (Tx), e Receptor (Rx) que são móveis. A extensão do cabo que liga o transmissor ao receptor é fixa. As bobinas são coplanares e quase sempre orientadas para detectar componentes verticais, embora isso não seja um requisito necessário. A interpretação de anomalias usando o método HLEM (Horizontal Loop EletroMagnetic) é um pouco mais simples do que outros métodos eletromagnéticos. Entretanto a principal vantagem é que a distância fixa existente entre o transmissor e receptor mantém uma mútua indutância.

A metodologia aplicada para a prospecção de água subterrânea em região cristalina requer alguns estudos pré-campo, tais como a obtenção de informações das áreas mais afetadas pelas secas junto as autoridades governamentais do estado (neste caso o estado do Piauí), a localização destas áreas em mapa, o estudo Geológico e estrutural da região a ser pesquisada, a localização de lineamentos estruturais (fraturas e falhas) no mapa e fotos aéreas em todas as localidades a serem pesquisadas e a localização de estradas e trilhas no mapa a serem percorridas durante os trabalhos.

Após esta etapa, inicia-se o trabalho de campo onde as fraturas e falhas identificadas em mapas e fotos são localizadas no terreno, definindo-se assim perfis perpendiculares a estrutura. Em seguida, para cada perfil, marca-se um ponto de referência para o início da leitura das medidas ao longo do perfil. O Transmissor (Tx) é posicionado no início da trilha, afastado a alguns metros do local onde se encontrava a estrutura Geológica, e o Receptor (Rx) afastado do transmissor de 50m. Este espaçamento pode ser alterado dependendo da extensão da estrutura encontrada. As frequências utilizadas, neste trabalho foram de 14080, 7040, 3520, 1760, 880, 440, 220, 110 Hz, as medidas foram feitas a cada 10 ou 20 metros ao longo do perfil e foram anotadas em cadernetas de campo.

Ao fim dos trabalhos os dados são digitados numa planilha e plotados, para cada perfil, em um software de gráficos. Após esta etapa as curvas obtidas são analisadas para identificar anomalias relacionadas a condutores elétricos. A figura 3 mostra o resultado para o perfil denominado de Currais. Neste, a anomalia indica que o condutor se encontra entre 110 e 150 metros do começo do perfil. O próximo passo seria a perfuração no local indicado para verificar a existência ou não de água subterrânea. Dos pontos indicados e já perfurados obteve-se um índice de acerto da ordem de 98%.

Entretanto, algumas vezes a curva de  $H_x/H_0$  não mostra uma anomalia tão evidente ou mostra mais de uma anomalia, dificultando a localização de um possível aquífero.

## Inversão 1D

O Observatório Nacional obteve junto University of British Columbia, Canadá, um programa de inversão, desenvolvido por eles, denominado EM1DFM, ou seja (EM)-Eletromagnético, (1D)-Unidimensional, (F)-Observações no domínio da frequência e (M)-Fontes magnéticas (dipolo) e receptor. Neste programa o modelo de terra obtido varia apenas em profundidade. O método calcula apenas modelos de condutividade ou susceptibilidade. Quatro opções são viáveis: modelo condutivo em cada camada (opção utilizada neste trabalho), modelo de susceptibilidade (forçada a ser positiva) em cada camada, modelo de condutividade e susceptibilidade com a restrição positiva e modelo de condutividade e susceptibilidade sem a restrição positiva.

O programa está definido para interpretar dados eletromagnéticos, obtidos no domínio da frequência. O mesmo programa, determina variações na condutividade elétrica ou susceptibilidade magnética da sub-superfície. Estas variações podem ser de interesse por várias razões. Por exemplo, elas podem indicar o local e o tamanho de um depósito mineral nas vizinhanças da rocha hospedeira, pode revelar a espessura da carga que foi removida durante uma operação de mineração ou dar a profundidade do aquífero e sua extensão.

Estudos para tentar identificar a salinidade e o volume de água do aquífero foram realizados (Chifunga, 2003), mostrando que apenas as informações obtidas com métodos eletromagnéticos são insuficientes para tal.

## Resultados

A figura 4 mostra o resultado da inversão 1D para o perfil Currais da figura 3. Nesta, utilizou-se um modelo de 3 camadas, baseando-se nas informações litológicas do poço perfurado no local indicado. Nota-se, que o resultado obtido com a inversão define bem a anomalia, isto é o modelo fornece uma boa estimativa tanto da extensão quanto da profundidade.

## Conclusão

Após a comparação dos dois resultados (curva  $H_x/H_0$  e modelo 1D), é possível dizer que a inversão 1D, de dados obtidos com o método HLEM, forneça resultados mais confiáveis para prospecção de água subterrânea em regiões cristalinas fraturadas.

Os resultados de inversão indicam que a água em rochas fraturadas no município de São Raimundo Nonato pode ser encontrada em profundidades não superior a 90 metros.

### Referências Bibliográficas

Fontes, S. L., Meju, M. A., Lima, J. P. R., Carvalho, R. M., La Terra, E. F., Germano, C. R., & Metelo, M., 1997, Geophysical Investigation Of Major Structural Controls On Groundwater Distribution, North Of São Raimundo Nonato, Piauí State. Congress, Brazil. Geophys. Soc. Expanded abstracts, Vol. 2, p.766-769.

Meju, M. A.; Fontes, S.L.; Ulugergerli, E. U.; La Terra, E. F.; Germano, C. R. and Carvalho, R.M., 2001, A joint TEM-HLEM Geophysical Approach to borehole siting in deeply weathered granitic terrains. *Ground Water*, vol. 39, 4, 554-567.

Chifunga, T. A. R., 2003, Estudos de Aquíferos em Regiões Cristalinas do Piauí com o Método Eletromagnético HLEM. Tese de Mestrado- Observatório Nacional, Brasil.

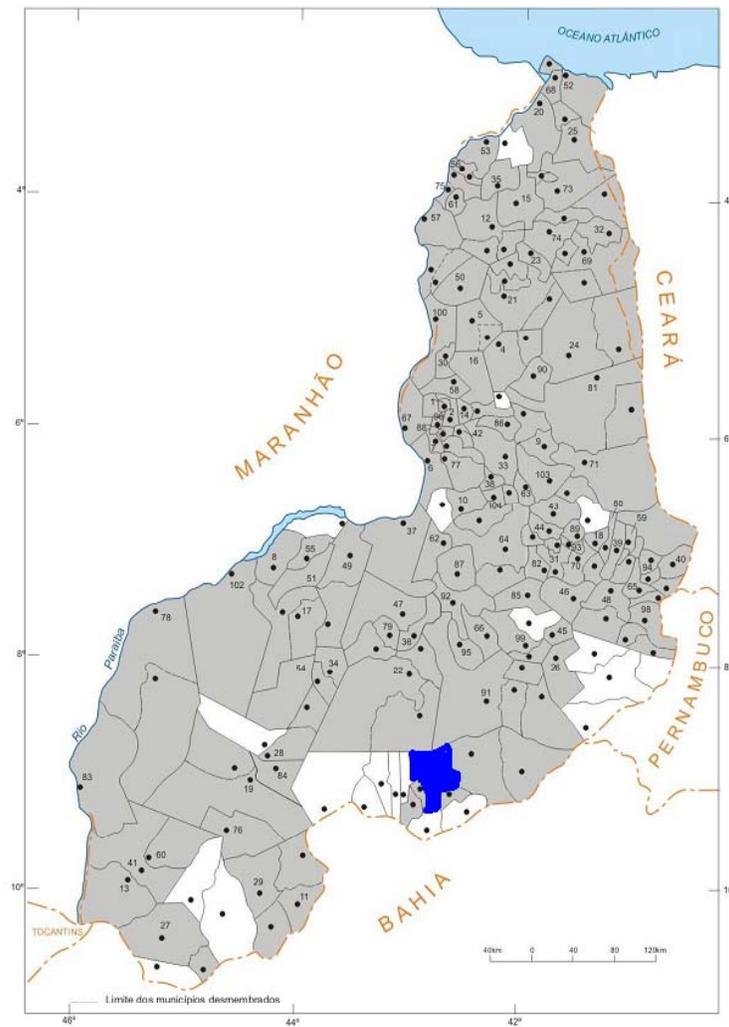


Figura 1 – São Raimundo Nonato , Piauí, destacado em azul no mapa.

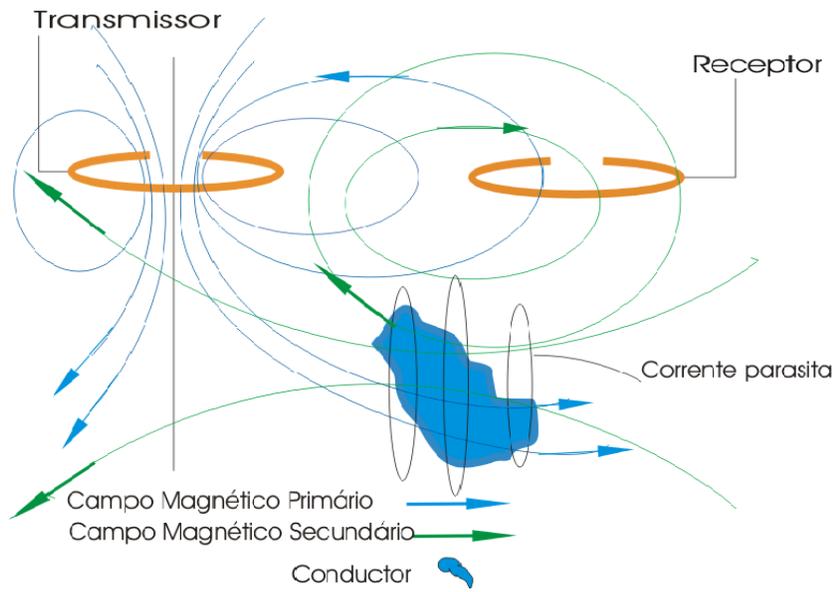


Figura 2 – Processo de indução eletromagnética.

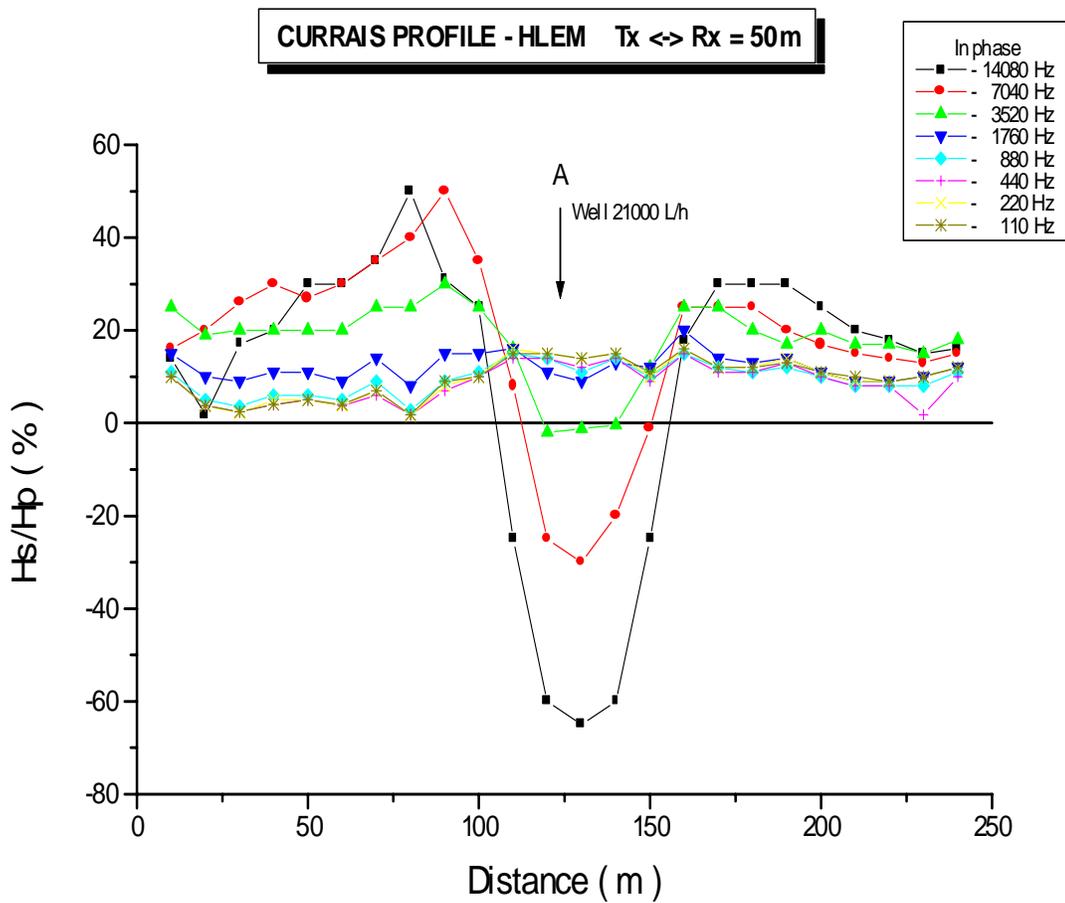


Figura 3 – Curva obtida pelo método HLEM indicando a presença de um condutor entre 10 e 150 m do início do perfil.

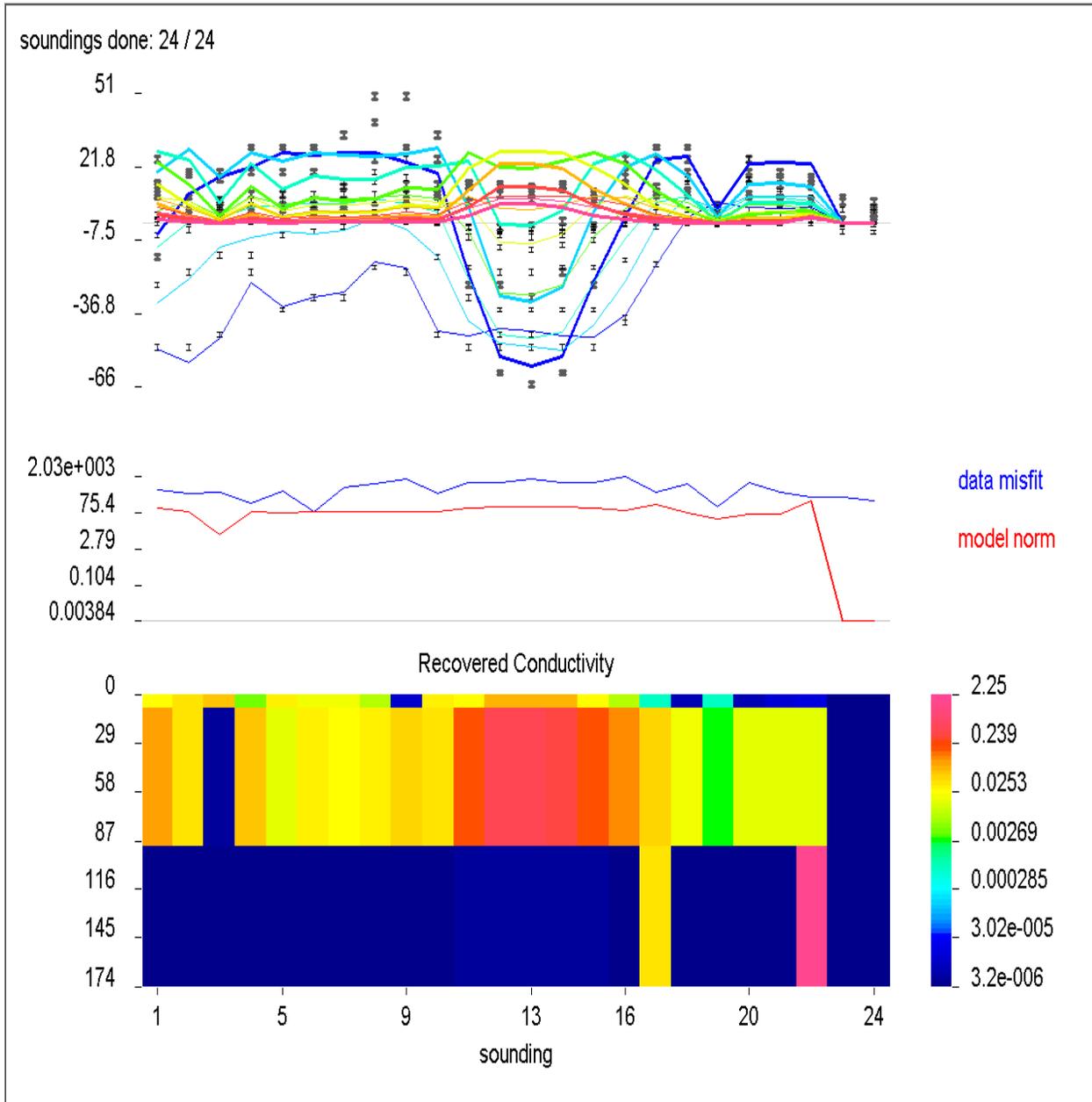


Figura 4 – Modelo de 3 camadas obtido pela inversão 1D para o perfil Currais.