

EMPREGO DE GEO-RADAR NA DETECÇÃO DE INTRUSÃO SALINA E NA IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS EM ÁREAS LITORÂNEAS

**Wagner França Aquino¹, Marco Antônio Barsottelli Botelho² e
Otávio Coaracy Brasil Gandolfo³**

Resumo - O ambiente litorâneo se mostrou muito favorável à utilização do método de Geo-Radar, principalmente nos locais de dunas, uma vez que os ambientes arenosos, possuindo baixa condutividade, favoreceram a penetração dos sinais eletromagnéticos em profundidade.

A identificação do lençol freático nos ambientes estudados foi bastante clara, revelando uma transição entre zona não saturada e zona saturada bem definida, constituindo uma franja capilar pouco espessa, ao contrário de solos argilosos onde esta pode alcançar espessuras consideráveis e a identificação do nível d'água não é tão evidente.

Além disso, foi possível identificar a presença da intrusão da água salgada, que devido ao elevado valor de sua condutividade elétrica, causou forte atenuação da onda eletromagnética e por este motivo pode ser mapeada. Através da identificação da cunha salina, calculou-se o valor do gradiente da transição entre água salgada e água doce, cujos resultados estão compatíveis aos estudos recentes derivados dos princípios de Ghyben e Herzberg.

Outra feição observada nas seções obtidas pelo Geo-Radar foi a presença de estratificação cruzada das dunas, que em algumas seções é bem evidenciada.

¹ Cia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345. Pinheiros, S.Paulo. Tel (011) 3030-6597, Fax (011) 3030-6577, e-mail wagnera@cetesb.br

² Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Geociências, Campus Universitário de Ondina, R. Barão de Geremoabo, s/n. Salvador. Tel (071) 247-8151, Fax (071) 247-3004

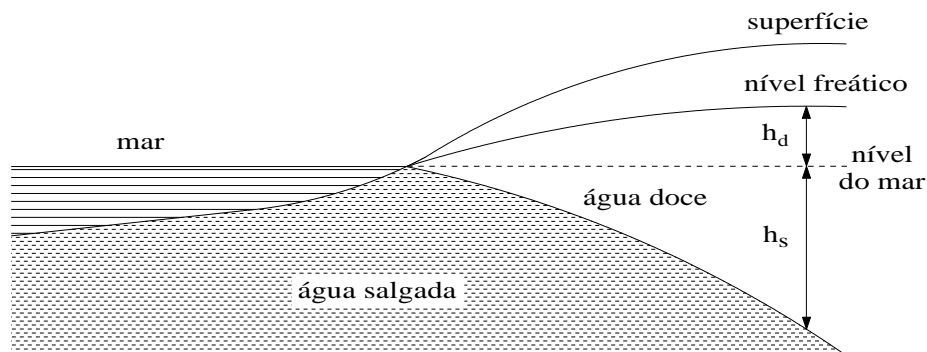
³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), IGCE-Depto. de Geologia Aplicada, R.10, 2527, Rio Claro-SP. Tel (019) 526-2803, e-mail gandolfo@cwaynet.com.br

INTRODUÇÃO

Nas áreas costeiras, a intrusão da cunha salina muitas vezes impossibilita a utilização da água subterrânea para consumo público, daí a necessidade de se determinar com precisão a interface da água doce/água salgada, com intuito de se preservar a qualidade desse recurso hídrico subterrâneo.

A água salgada do mar nessas regiões infiltra-se pelo subsolo e mergulha em direção ao continente. O lençol de água doce, menos denso, flutua sobre o de água salina delimitando uma interface. O estudo da forma, localização e variação temporal desta interface é de extrema importância para exploração das águas subterrânea.

Os estudos do equilíbrio entre água doce/água salgada foram iniciados por Ghyben e Herzberg. Os pesquisadores descobriram que a altura do nível da água doce (freático) em relação ao nível do mar e a profundidade do sua base (topo da cunha salina) em relação ao mesmo nível guardam entre si uma relação de 1:40 (Bowen, 1986).



$$h_s = 40 \cdot h_d$$

Figura 1 - Ilustração da relação de Ghyben-Herzberg

Ou seja, para cada metro que o nível estático fica acima do nível do mar, existem 40 metros de água doce abaixo dele. Ou mesmo, 1 metro de rebaixamento do nível estático implicará em 40 metros de elevação da interface, ainda que de forma vagarosa, pois a intrusão é um processo lento. Pesquisas recentes mostram que este fator, ao invés de 40, assume valores em torno de 20-25 (in Soldal et al., 1994).

A detecção da interface água doce/água salgada já foi realizada com sucesso através da utilização dos métodos geofísicos de eletrresistividade e os eletromagnéticos indutivos (Stewart, 1982; Barker, 1990). Nas regiões litorâneas as resistividades das litologias são influenciadas de forma bastante pronunciadas pela salinidade da água que satura os sedimentos, proporcionando, portanto, grande possibilidade de aplicação desses métodos.

A proposta principal desse estudo é apresentar uma metodologia que possibilita a identificação da interface da intrusão salina com a água doce, além de definir o nível d'água e a geologia nos locais estudados.

METODOLOGIA UTILIZADA

O Geo-Radar ou GPR ("Ground Penetrating Radar") é uma técnica geofísica baseada na reflexão de ondas eletromagnéticas de altas frequências (10 - 1000 MHz) em descontinuidades presentes no subsolo. As reflexões ocorrem nas interfaces entre camadas que apresentam diferentes valores da permissividade dielétrica (ϵ) e, conseqüentemente, diferentes velocidades de propagação da onda eletromagnética.

A água apresenta o maior valor permissividade dielétrica (81) quando comparada aos diversos materiais geológicos, e sua presença nas litologias possibilita a aplicação da técnica em estudos hidrogeológicos (Davis & Annan, 1989).

A principal limitação está em sua utilização em solos eletricamente muito condutivos (argilas, em geral), onde a onda de radar sofre forte atenuação. Por outro lado em solos arenosos, ou ambientes constituídos predominantemente por areia, como é o caso das dunas litorâneas, o emprego do Geo-Radar fornece ótimos resultados. Estes terrenos, pouco condutivos (inferior a 10 mS/m), possibilitam boa penetração do sinal do radar.

O método fornece alta resolução para corpos de poucos centímetros dependendo da frequência da antena a ser utilizada, isto porque altas frequências conferem maior detalhamento e baixas frequências maior profundidade de penetração.

Os levantamentos de campo foram desenvolvidos em dois locais costeiros distintos, na lagoa do Abaeté em Salvador (BA) e na Praia de Itaipu no município de Niterói (RJ). No primeiro local foi utilizado o equipamento GSSI, com antenas de 40 e 80 MHz, e no segundo, foi utilizado o Geo-Radar marca Ramac/Mäla, cujas antenas foram 50 e 200MHz.

DUNAS COSTEIRAS: GENERALIDADES

Duna é um depósito pouco consolidado, extremamente homogêneo, formado pela ação do vento dominante na região. O aparecimento destes depósitos eólicos, variáveis em forma e tamanho, ocorre onde é abundante o estoque de areia disponível nas proximidades e ainda exista a presença de algum tipo de obstáculo que provoque a diminuição da velocidade do vento e conseqüente o acúmulo e deposição das partículas de areia.

As dunas costeiras são caracterizadas por estratificações cruzadas (Sugio, 1980) e o aparecimento destas é motivado pela desigualdade de declives existentes entre os ângulos a barlavento e a sotavento do depósito (Guerra, 1975).

Em um ambiente de praia, temos três unidades geomórficas distintas: antepraia, zona de maré (estirâncio) e pós-praia. As duas últimas constituem a praia propriamente dita. As dunas, caso ocorram em uma determinada região, situam-se além destas três unidades, mais para o interior, em local chamado de “campos de dunas” (Mendes, 1984).

O perfis de Geo-Radar executados nos trabalhos de campo iniciaram-se próximos à praia, atravessaram as unidades correspondentes à zona intermarés e pós-praia, finalmente alcançando o campo das dunas.

RESULTADOS OBTIDOS

Nas dunas eólicas da lagoa do Abaeté foi possível identificar o nível d'água local, nos pontos onde este é controlado topograficamente pelo substrato argiloso, ou no meio das dunas de areias. Foram determinadas porções de areias não saturadas com até 15 metros de espessura e pacotes de areia saturada, de até 6 metros de espessura, que adentram a lagoa do Abaeté. Além disso, através dos dados das seções de Geo-Radar, identificou-se, também, feições como a paleotopografia do substrato argiloso, as superfícies erosionais internas ao pacote de areia, que separam diferentes gerações de campo de dunas, e ainda as estratificações cruzadas nas dunas mais recentes.

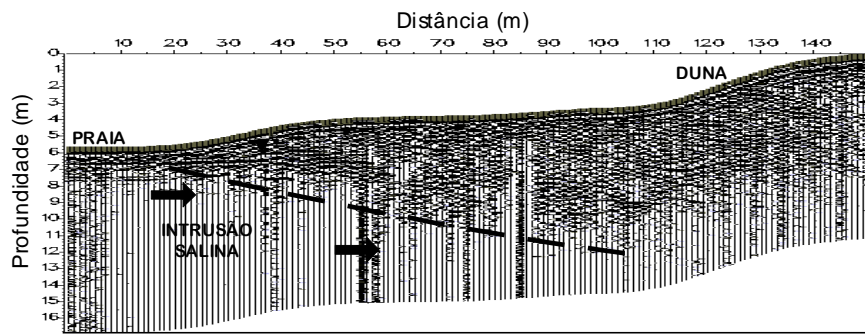


Figura 2A - Seção de Geo-Radar: Praia de Itaipu, antena de 200 MHz.

Os resultados obtidos nos perfis da Praia de Itaipu apresentaram seções onde pode ser determinada a interface entre água doce e água salgada, assim como o nível d'água freático. A intrusão da cunha salina aparece nas seções como um zona de atenuação do sinal de radar (zona de sombra) devido à alta condutividade da água salgada, a qual é melhor visualizada no perfil levantado com a antena de 200 MHz, posto que a atenuação do sinal é maior em frequências mais altas.

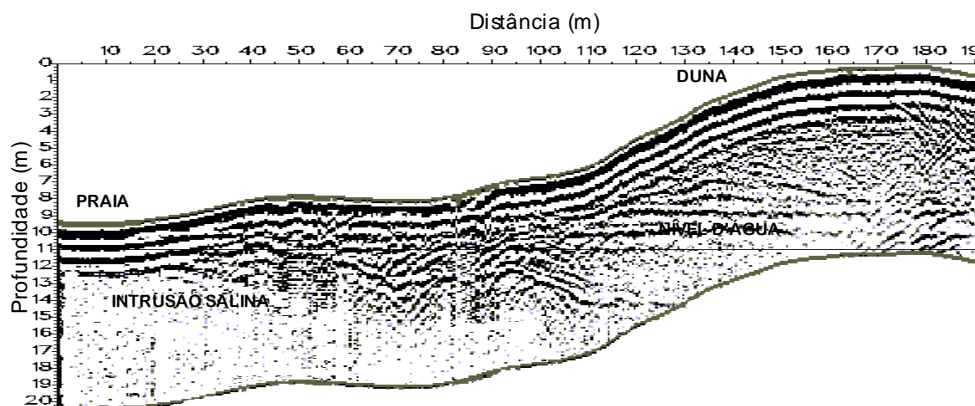


Figura 2B - Seção de Geo-Radar: Praia de Itaipu, antena de 50 MHz.

A relação calculada na seção obtida, entre o gradiente do lençol freático (água doce) e o gradiente da cunha salina (interface água doce/salgada), aproximadamente 20, está de acordo com os recentes estudos desenvolvidos a partir da relação de Ghyben-Herzberg.

A análise das seções de radar permitiu rastrear lateralmente o lençol freático, verificar os locais onde ele é controlado pelo substrato e, também, determinar os locais

onde a zona saturada apresenta maior espessura. O método, também, se mostrou eficaz para determinar a intrusão da cunha salina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Barker, R. D. 1990. Investigation of Groundwater Salinity by Geophysical Methods. Geotechnical and Environmental Geophysics, SEG, v.II: Environmental and Groundwater, p.201-211.
- BOWEN, R. 1986. Groundwater. Elsevier Applied Science Publishers, 427p.
- Davis, J. L. 1989. Ground-Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy, Geophysical Prospecting, v.37, n.5, p.531-551.
- Guerra, A. T. 1975. Dicionário Geológico-Geomorfológico. IBGE, Rio de Janeiro, 439p.
- Mendes, J. C. 1984. Elementos de Estratigrafia. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, 566p.
- Soldal, O; Mairing, E; Halvorsen, E; Rye, N. 1994. Seawater Intrusion and Fresh Groundwater Hydraulics in Fjord Delta Aquifers Inferred from Ground Penetrating Radar and Resistivity Profiles-Sunndalsora and Esebotn, Western Norway. Journal of Applied Geophysics, v.32, p.305-319.
- Stewart, M. T. 1982. Evaluation of Electromagnetic Methods for rapid Mapping of Salt-Water Interfaces in Coastal Aquifers. Ground Water, v.20, n.5, September-October.
- Suguio, K. 1980. Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 500 p.