

# METODOLOGIA GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA APLICADA EM ESTUDOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE HIDROGEOLÓGICO

**Clovis José <sup>1</sup> & Itabaraci N. Cavalcante <sup>2</sup>**

**Resumo** - Nessa última década a instrumentação geofísica de indução eletromagnética de correntes no terreno, originalmente desenvolvida para a exploração mineral, tornou-se suficientemente sensível para detectar e medir pequenas variações de condutividades causadas pela presença e qualidade da água subterrânea.

Entre outras importantes aplicações do método geofísico eletromagnético em hidrogeologia, inclui-se o mapeamento e o monitoramento de intrusões salinas em regiões costeiras. Essa interface pode ser rapidamente mapeada por meio de condutímetro eletromagnéticos, dependendo da profundidade de investigação requerida. O mapeamento e o monitoramento de contaminantes na água subterrânea, originados de resíduos industriais, lagoas de estabilização de esgotos, rejeitos de mineração, ou ainda de infiltrações de produtos utilizados na agricultura, constituem também importantes aplicações para esses instrumentos geofísicos.

Condutímetros eletromagnéticos, como os Geonics EM31 e EM34-3, são utilizados tanto na forma de perfilagens eletromagnéticas quanto na de sondagens verticais para detecção de condições elétricas favoráveis da sub-superfície, levando-se em conta as diferenças de condutividades entre a rocha sã, improdutiva, e as zonas mais promissoras para água subterrânea.

Situações típicas são consideradas levando-se em conta a potencialidade da aplicação dessa metodologia em ambientes geologicamente semelhantes onde, tanto a captação de água subterrânea quanto sua preservação assumem significativa importância social para melhoria e manutenção da qualidade de vida local e regional.

---

<sup>1</sup> DEGEO/UFC – Programa DCR/CNPq – Campus do Pici, Bl. 912. Tel.: (085) 288-9867. Fax: (085) 287-9872. E-mail: clovisj@fortalnet.com.br.

<sup>2</sup> DEGEO/UFC – MIDAS - Campus do Pici, Bl. 913 – Lab. de Hidrogeologia. Tel.: (085) 288-9869 - Fax: (085) 288-9872. E-mail: ita@fortalnet.com.br

## **1. INTRODUÇÃO**

O desafio de se encontrar água em regiões semi-áridas para suprimento de pequenas populações tem encontrado ressonância em metodologias baseadas em técnicas geofísicas e de sensoriamento remoto, no entanto é comum verificar-se um baixo índice de sucesso, em geral abaixo de 50%, de poços produtivos em terrenos cristalinos. A locação de poços nessas áreas, fundamentada apenas no mapeamento de fraturas, ou falhas, por meio de fotografias aéreas ou na análise do próprio local, tem se mostrado eficiente onde a cobertura do terreno é pouco espessa, porém, frequentemente falha no detalhamento de zonas mais convenientes de fraturamentos ou de rochas intemperizadas.

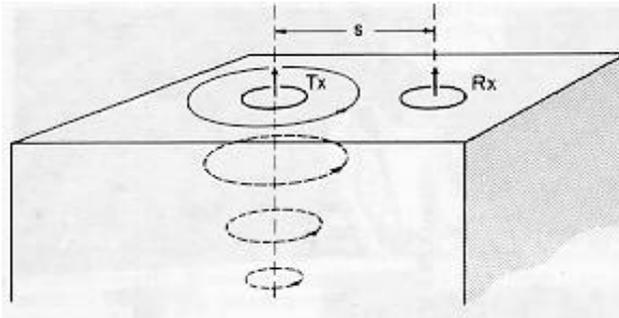
Baseadas em princípios semelhantes, as técnicas geofísicas de indução eletromagnética de correntes no terreno (EM) e de *Very Low Frequency* (VLF) têm sido utilizadas com sucesso na busca desse detalhamento, reduzindo a margem de erro nas locações dos poços e diminuindo os custos envolvidos na construção. Diversos projetos internacionais de larga escala têm sido reportados, como os da África ocidental, onde o uso dessas técnicas para locação de poços em terrenos cristalinos reduziu os custos de perfuração em cerca de 40% (Palacky et al.,1981; Payne, M.I.,1995).

Outro aspecto da utilização da metodologia geofísica eletromagnética abordado no presente trabalho se refere à contaminação do ambiente hidrogeológico, onde, através de técnicas de mapeamento e de monitoramento, é possível se estabelecer os limites da área contaminada e sua evolução espacial e temporal. A possibilidade de se detectar e monitorar a contaminação da subsuperfície, de modo não invasivo, complementa a informação muito localizada de um testemunho de um furo de sondagem ou de uma amostra de água subterrânea de um poço. Exemplos de sua aplicação podem ser encontrados, entre outros, em Greenhouse, J.P & D.D. Slaine, 1983, e em Baganha. C.A. & Clovis J., 1997, onde são abordados casos de contaminação do ambiente hidrogeológico devido à deposição de rejeitos na superfície de terrenos, e na área de domínio de aterros sanitários.

## **2. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INDUÇÃO**

## ELETROMAGNÉTICA

A aplicação de técnicas eletromagnéticas para medida da resistividade, ou mais apropriadamente, da condutividade<sup>1</sup>, não é nova. Excelentes descrições dessa técnica, utilizada para diferentes objetivos, são fornecidas na literatura (4), (5), (7).



**Figura 1.** Fluxo de corrente Induzida (semi-espaço homogêneo).

Consideramos a Figura 1, em que uma bobina transmissora  $T_x$ , energizada com uma corrente alternada de audio frequência, seja colocada sobre o terreno (considerado uniforme) e uma bobina receptora  $R_x$  seja posicionada à uma pequena distância  $s$  daquela. O campo magnético variável com o tempo, gerado pela corrente alternada na bobina transmissora, induz correntes muito pequenas no terreno. Essas correntes geram um campo magnético secundário  $H_s$  que, juntamente com o campo primário  $H_p$ , é detectado pela bobina receptora.

Em geral, esse campo magnético secundário é uma função complicada da distância "s" entre as bobinas, da frequência de operação, "f", e da condutividade do terreno " $\sigma$ ". Sob certas condições tecnicamente definidas como "operação a baixos valores de números de indução", o campo magnético secundário, é uma função muito simples dessas variáveis.

Essas condições são incorporadas nos projetos dos equipamentos EM31 e EM34-3, para os quais o campo magnético secundário pode ser expresso por:

$$\frac{H_s}{H_p} \cong \frac{i\omega\mu_0 s^2 \sigma}{4} \quad (1)$$

onde:

<sup>1</sup> Nas técnicas indutivas prefere-se usar a **condutividade**, uma vez que a resposta é diretamente proporcional à condutividade e inversamente proporcional à resistividade.

$H_s$  é o campo magnético secundário na bobina receptora;  $H_p$  é o campo magnético primário na bobina receptora;  $w = 2\pi f$ ;  $s$  é a condutividade do terreno em mho/m;  $f$  é a frequência em Hz;  $\mu_0$  é a permeabilidade do espaço livre;  $s$  é a distância entre as bobinas, e  $i = 0-1$ .

A razão entre o campo magnético secundário e o campo magnético primário é portanto linearmente proporcional à condutividade do terreno, fato esse que torna possível construir um medidor linear de condutividade do terreno, com leitura direta, através da simples medida dessa razão. Dados  $H_s/H_p$  a condutividade aparente indicada pelo instrumento é definida a partir da equação (1) como sendo:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \frac{H_s}{H_p} \quad (2)$$

As unidades MKS para a condutividade são o mho por metro (ou Siemens por metro) ou então, mais convenientemente, o milimho por metro (ou miliSiemens por metro).

### 3. INSTRUMENTAÇÃO.

O EM31 possui um espaçamento fixo entre as bobinas de 3,7 metros, que resulta numa profundidade efetiva de exploração de cerca de 6 metros, podendo, também, ser operado em posição girada sobre seu próprio lado, caso em que, a profundidade efetiva de exploração se reduz a aproximadamente 3 metros. O instrumento é portátil, sendo operado por apenas uma pessoa e pode ser usado tanto na forma de leitura “estação por estação” quanto na forma de leitura contínua. A presença de estratificação no terreno pode ser detectada erguendo-se o instrumento e anotando-se as leituras em função de sua altura em relação à superfície. Se o terreno apresentar duas camadas, a condutividade de ambas as camadas e a espessura da camada superior podem ser resolvidas.

O EM34-3, que é operado por duas pessoas, possui duas bobinas que podem ser conectadas entre si com distâncias variáveis. O espaçamento entre as bobinas é medido eletronicamente, de tal modo que o operador do receptor simplesmente lê um medidor e cuidadosamente ajusta a distância entre as bobinas para o espaçamento correto, que pode ser 10, 20 ou 40 metros de modo a variar diretamente a profundidade efetiva de exploração, conforme mostra a Tabela 1.

Espaçamento entre as Bobinas (metros)	Profundidade de Exploração (metros)	
	Dipolos Horizontais	Dipolos Verticais
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

**Tabela 1:** Profundidade de exploração para o EM-34/3 a vários espaçamentos entre as bobinas.

Para se medir a condutividade do terreno, o operador do transmissor se posiciona sobre a estação de medida; o operador do receptor move a bobina para trás ou para frente (afastando-a ou aproximando-a da transmissora) até que seu medidor indique o correto espaçamento entre as bobinas e ele lê, em um segundo medidor, a condutividade do terreno, com tal procedimento levando de 10 a 20 segundos. As bobinas são normalmente operadas com seus planos na vertical (modo de dipolo horizontal) uma vez que nessa posição as medidas são relativamente insensíveis ao desalinhamento das bobinas. No caso de se desejar uma maior profundidade de exploração, resultante quando as duas bobinas estão no modo de dipolo vertical, um maior cuidado deve ser tomado em relação ao alinhamento entre elas. Devido aos espaçamentos relativamente pequenos entre as bobinas, o alinhamento correto normalmente não é difícil de ser obtido.

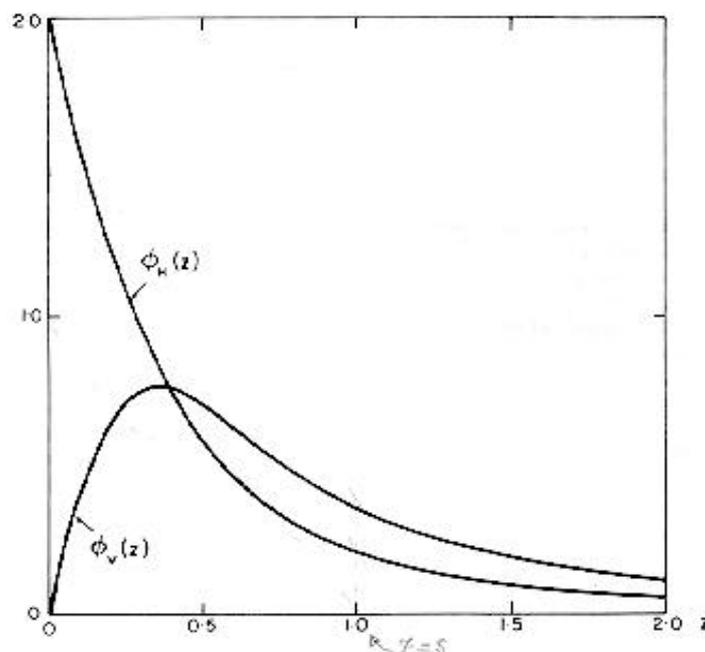
Ambos instrumentos são calibrados para terem a condutividade do terreno em milimhos/m (ou miliSiemens/m). Para converter essas leituras em valores correspondentes de resistividade (ohm-metros) deve-se multiplicar seu inverso por 1000, isto é, por exemplo, uma condutividade de 50 milimhos por metro é equivalente a uma resistividade de 20 ohm-metro.

#### **4. TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO E INTERPRETAÇÃO.**

Tanto para o EM31 quanto para o EM34-3 pode ser demonstrado que em um terreno homogêneo, ou horizontalmente estratificado, o fluxo de corrente é inteiramente horizontal. Além disso, devido as condições com as quais os aparelhos são projetados, o fluxo de corrente em qualquer ponto no solo é independente do fluxo de corrente em

qualquer outro ponto, uma vez que o acoplamento magnético entre todos os “loops” de corrente é desprezível.

Segundo Stewart (1982), a resposta instrumental para materiais a profundidades específicas, varia com a orientação das bobinas. As bobinas devem sempre ser coplanares, contudo podem ser usadas em uma posição vertical ou dispostas horizontalmente no solo, isto é, com a orientação dos dipolos respectivamente na horizontal ou na vertical. A Figura 2 apresenta uma comparação entre as respostas relativas,  $F(z)$  para as duas configurações de bobinas e enfatiza as diferentes formas com que elas respondem aos materiais à diferentes profundidades. A diferença é importante, uma vez que os instrumentos podem ser girados de tal modo que a geometria transmissor/receptor, com dipolos verticais, se torna uma geometria transmissor/receptor com dipolos horizontais, e vice-versa. Vemos que, para a orientação vertical dos dipolos, o material localizado à uma profundidade de aproximadamente  $0,4x\mathbf{s}$  fornece um máximo de contribuição para o campo magnético secundário, contudo o material à uma profundidade  $1,5x\mathbf{s}$  ainda contribui significativamente ( $\mathbf{s}$  = espaçamento entre as bobinas). É interessante notar ainda que o solo à profundidade zero, isto é, o material da superfície, oferece uma contribuição muito pequena para o campo magnético secundário e, portanto, essa configuração de bobinas é insensível a variações de condutividade nas proximidades da superfície.



**Figura 2.** Comparação das respostas relativas para os dipolos horizontais e verticais, (after McNeill, 1980b).

## 5. APLICAÇÕES NA PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS.

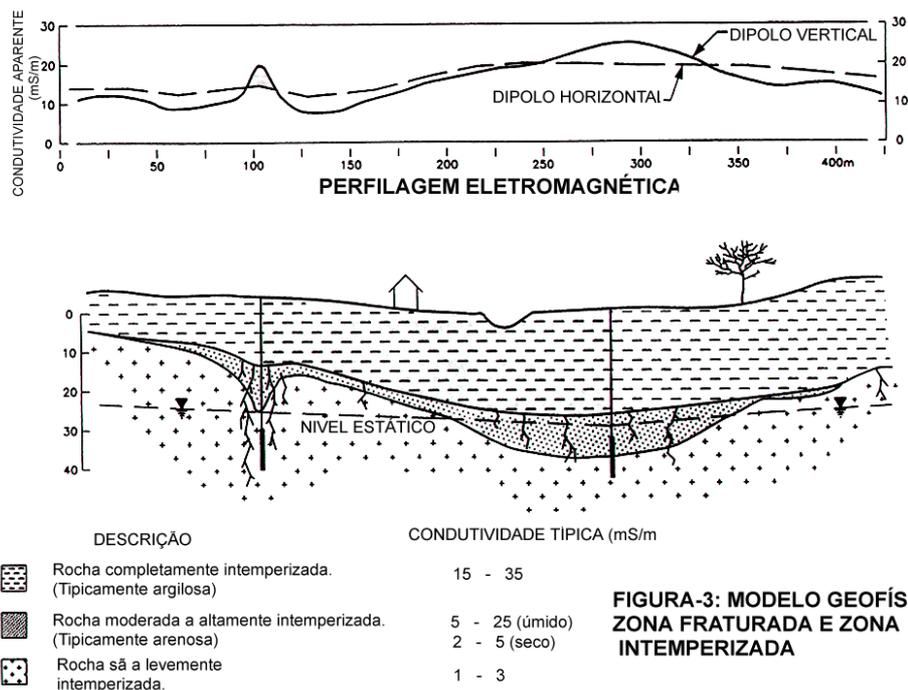
A despeito de sua utilidade já comprovada em diversos países, com relação à prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos, o método geofísico de indução eletromagnética de correntes não apresenta, ainda, uma aplicação sistematizada em áreas semelhantes de nosso país. Particularmente em regiões semi-áridas de terrenos cristalinos, são comuns os insucessos na locação de poços produtivos devido às próprias características hidrogeológicas do meio, controladas pelo sistema de fraturas.

A perfilagem eletromagnética é um método rápido, simples e eficiente para a detecção de zonas de fraturamentos, ou altamente intemperizadas, com maior probabilidade de sucesso na locação de poços de captação de água subterrânea nesse tipo de terreno.

Historicamente, a locação de poços para captação de água tem sido selecionada objetiva, principalmente, atender a pequenas demandas e/ou minimizar os custos da rede de distribuição. As perfurações frequentemente falham na interseção de rochas suficientemente fraturadas ou intemperizadas, o que proporciona um incentivo ao uso de metodologias eficientes para a investigação dessas áreas. O mapeamento de fraturas, ou falhas, através de fotografias mostra-se eficiente onde ocorre o cristalino exposto, ou onde as camadas de cobertura do terreno são pouco espessas.

Em zonas tropicais áridas podemos considerar três modelos básicos relacionados a aquíferos produtivos em rochas cristalinas. Em ordem de importância relativa podemos classificá-los como: zona altamente intemperizada; zona fraturada; e zona de dique vertical altamente condutivo. Frequentemente a experiência local é um fator importante a ser considerado na definição final de um alvo para medidas de condutividade aparente, a qual deve ser função da condutividade elétrica medida da água subterrânea, da precipitação anual da região ou do tipo de rocha.

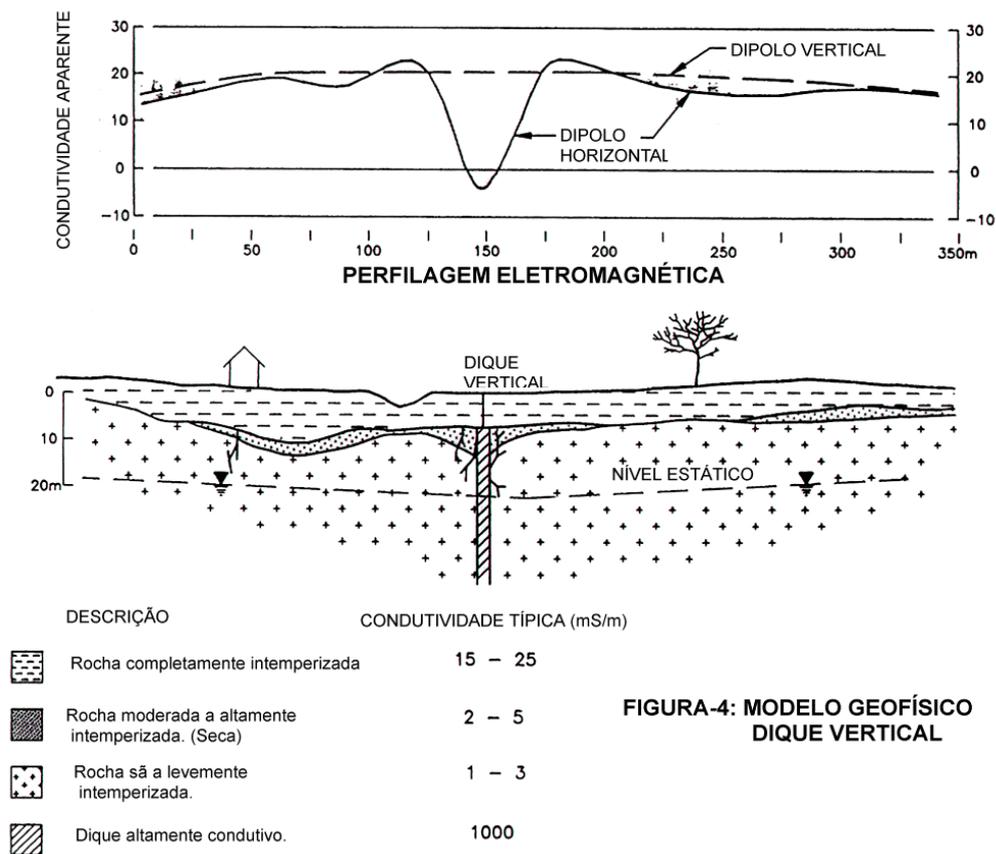
A Figura-3 mostra uma representação do modelo para zona altamente intemperizada e para zona fraturada. A resposta dos condutímetro para esses casos é caracterizada por uma alta condutividade elétrica relativa aos valores de referência (*background*), tanto nas medidas com os dipolos orientados na vertical quanto na horizontal.



**FIGURA-3: MODELO GEOFÍSICO - ZONA FRATURADA E ZONA INTEMPERIZADA**

Comparativamente, verificam-se também nessas áreas valores de condutividades ainda mais elevados para medidas com dipolos na vertical do que aqueles obtidos para a orientação horizontal dos dipolos.

Os condutímetro de indução eletromagnética respondem à presença de diques verticais altamente condutivos de uma maneira significativamente diferente de suas respostas a outras estruturas subsuperficiais. Na prática, a exploração desses alvos constitui um último recurso após um insucesso na localização de zonas intemperizadas ou fraturadas. Nesses casos, os medidores não mostram a condutividade verdadeira, mas sim apresentam uma curva de respostas de condutividades que indicam a presença de um dique vertical. A Figura 4 mostra um modelo para a exploração de um dique vertical. Essa curva é caracterizada por leituras muito baixas, ou negativas, sobre o dique e leituras relativamente altas a uma distância do dique da ordem da metade do espaçamento entre as bobinas do condutímetro. Em muitas situações, a resposta característica para um dique vertical é importante pelo fato de indicar falsos negativos e leituras positivas exageradas.



**FIGURA-4: MODELO GEOFÍSICO  
DIQUE VERTICAL**

Quando se define um local em que o padrão de condutividades seja semelhante a um dos modelos, esse local deve ser detalhado através de medidas em linhas próximas entre si, perpendiculares ou paralelas. O objetivo desse detalhamento é o de se determinar a extensão da estrutura fraturada, ou então para se certificar se as medidas de condutividades são causadas pela proximidade de um dique altamente condutivo.

A experiência regional com o uso desse método é bastante útil na formulação de um modelo hidrogeológico e geofísico para um alvo de perfuração bem sucedido. Essa experiência deve ser adquirida através de investigações de condutividades tanto nas imediações de poços produtivos quanto em locais de furos secos previamente existentes, considerando-se áreas de terrenos geologicamente semelhantes.

O uso de sofisticados equipamentos geofísicos na exploração de água subterrânea pode, às vezes, ser dificultado devido a falta de informações relativas às áreas investigadas ou de facilidades locais. Em áreas de aquíferos rasos, bons resultados podem ser obtidos com a utilização de fotos aéreas e de investigações hidrogeológicas de campo. Em bacias sedimentares, investigações por meio de furos de sondagens a trado, ou de baixo custo, mostram-se bastante eficientes e bem sucedidas. Contudo, em áreas

mais complicadas com relação à prospecção de águas subterrâneas, onde seja necessária a utilização de máquinas perfuratrizes para a construção de poços, a investigação geofísica é plenamente justificada, seja para escolha ou descarte de um local de construção, evitando-se assim os elevados custos de construção de um poço que pode resultar seco e, também, a frustração das comunidades locais devido às expectativas criadas.

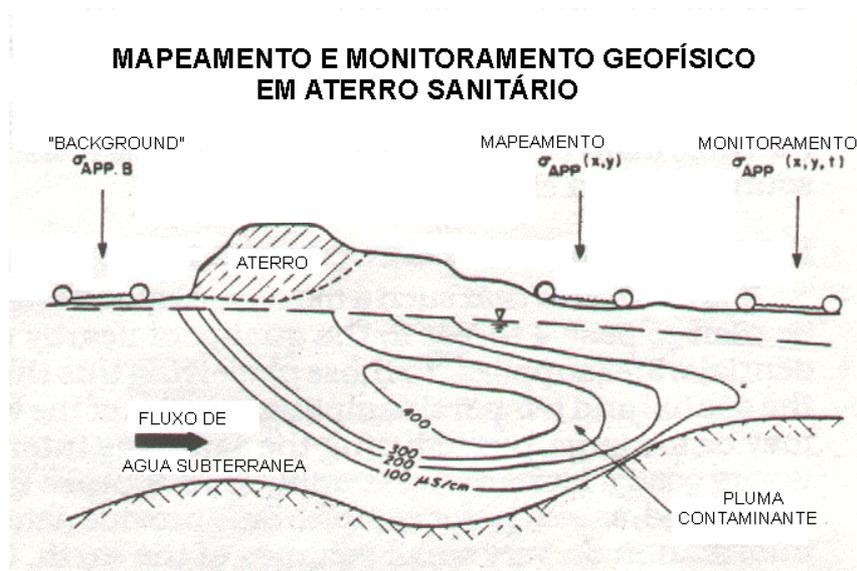
Com base nos resultados de investigações geofísicas algumas recomendações podem ser feitas com o objetivo de se reduzir consideravelmente os custos de implantação de um poço: (i) Por meio de uma melhor definição do local a ser perfurado, a porcentagem de poços produtivos aumenta, conseqüentemente diminuindo as despesas com poços secos; (ii) Pela indicação dos casos em que a perfuração manual pode ser utilizada, podem ser evitados os altos custos desnecessários com perfuratrizes mecânicas; (iii) Pela redução da profundidade de perfuração em locais hidrogeologicamente interpretados, custos consideráveis poderão ser evitados.

## 6. APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA AMBIENTAL

Técnicas geofísicas são amplamente utilizadas na avaliação de terrenos potencialmente suscetíveis à contaminação do ambiente hidrogeológico ou de áreas já comprometidas em função de atividades antrópicas, tais como: instalações industriais; lagoas de estabilização de rejeitos; aterros sanitários para diversos fins; intrusões salinas em captações de água subterrânea em áreas costeiras, ou outras formas de contaminação potencial devido à deposição de materiais na superfície dos terrenos. A metodologia geofísica de indução eletromagnética de correntes no terreno, vista anteriormente, é particularmente eficiente na detecção de alterações de condutividades impostas por essas situações.

As aplicações dessa metodologia nesses casos podem ser classificadas em duas categorias: o **mapeamento** e o **monitoramento**, os quais identificam contaminações no ambiente hidrogeológico devido a alterações do parâmetro **condutividade elétrica** associadas a elevações anormais na concentração de Sólidos Totais Dissolvidos-STD, ou mesmo na depleção da condutividade aparente global devido a presença de quantidades significativas de hidrocarbonetos.

A Figura 5 mostra uma representação esquemática dessas duas categorias de abordagem geofísica do ambiente hidrogeológico.



**Figura 5:** Representação esquemática dos processos de mapeamento e monitoramento da contaminação de água subterrânea usando instrumentos geofísicos. A resposta do mapeamento  $\sigma_{APP}(x,y)$  é medida em um local em um determinado tempo da história da pluma. A resposta do monitoramento  $\sigma_{APP}(x,y,t)$  é medida em um dado local em função do tempo desde o início da investigação. (adap. Greenhouse & Williams, 1985).

O mapeamento compreende a tarefa de se avaliar a distribuição espacial e a extensão da contaminação do ambiente hidrogeológico nas imediações de uma área em um dado tempo. Normalmente esse tipo de investigação é feito somente após uma suspeita de infiltração de um agente contaminante. Quando usado criteriosamente, o mapeamento permite uma forma rápida e de baixo custo para a investigação de uma ampla área, servindo como um guia para a organização de um programa de furos de sondagens para coleta de amostras.

Usualmente não existem dados geofísicos anteriores disponíveis relativos às áreas alvo e a investigação deve mapear as variações de condutividade elétrica do ambiente hidrogeológico da área em relação a um referencial padrão de condutividades tomado nas imediações da área, fora da zona de domínio da contaminação. Deve ser considerada ainda a influência de possíveis agentes culturais, tais como cercas metálicas aterradas, linhas de transmissão de energia, ou mesmo anomalias geológicas locais.

Diversos artigos descrevem aplicações bem sucedidas desse tipo de investigação, devendo ser ressaltado, no entanto, que a ocorrência de incertezas na investigação de padrões característicos de contaminações contra referenciais afetados por muitos ruídos, pode resultar num mapeamento relativamente insensível em alguns casos.

O **monitoramento**, por outro lado, analisa as variações dos padrões de condutividades de uma determinada área em função do tempo. À partir de um padrão de condutividades inicialmente medido, são registradas as variações de futuras investigações. Nesse tipo de aplicação as fontes de ruído podem ocorrer devido a alterações hidrogeológicas e culturais, tais como, variações de profundidade do nível estático da água subterrânea, escavações locais, construção ou remoção de obras civis, etc. Essas mudanças são em geral menores e mais previsíveis do que o ruído encontrado em uma investigação de mapeamento. Assim, o monitoramento tem a potencialidade de detectar anomalias de condutividades mais imediatamente relacionadas à contaminação do que no mapeamento.

A abordagem geofísica de problemas ambientais apresenta o considerável mérito de promediar as propriedades condutivas de um grande volume de terreno, porém com menor nível de detalhamento. Nesse aspecto, sua maior força está em orientar eficientemente um programa de furos de sondagens para a amostragem de pontos específicos com elevado nível de detalhes.

Obviamente existem limites que possam ser detectados através do monitoramento geofísico. Esses limites dependem de diversos parâmetros específicos do local, particularmente da profundidade, extensão e níveis de contaminação de uma pluma contaminante qualquer. O uso de modelagem numérica pode ajudar a definir esses limites em função do que constitui um nível local aceitável para uma dada ocorrência de infiltração. Em um aterro sanitário urbano, por exemplo, a condutividade do material percolado é insensível ao seu conteúdo orgânico e bacteriológico (apesar de que, na maior parte dos casos, esses componentes vêm acompanhados de espécies inorgânicas condutivas). Uma investigação geofísica não fornece garantias contra baixos níveis de infiltrações contaminantes altamente tóxicos, no entanto poderá ser útil como uma componente de um sistema completo de monitoramento nesse local.

## **7. CONCLUSÕES**

Em geral, as investigações geofísicas podem ser realizadas em qualquer área de uma zona rural, podendo ser executado de modo rápido e eficaz no campo, particularmente quando for suficiente o emprego de uma técnica adequada e de baixo custo, como é o caso da indução eletromagnética. Não apenas os custos devem ser considerados, mas também as expectativas das comunidades com relação a uma fonte

de abastecimento em áreas anteriormente consideradas como sem nenhum potencial para um suprimento de água local.

Como acontece com todos os tipos de monitoramento, a definição de sucesso para um monitoramento geofísico não é direta. Um monitoramento poderá ser considerado um sucesso se detectar a contaminação em algum estágio de sua história evolutiva. O papel representado pelo monitoramento geofísico e hidrogeológico pode ser considerado cada vez mais como uma proteção contra uma eventualidade improvável de uma contaminação do que uma probabilidade de sua ocorrência em grande escala no ambiente hidrogeológico local. Seu sucesso deverá então ser medido em termos tais como o de custo efetivo; capacidade teórica de se obter os requisitos de detecção, ou mesmo a eficiência do monitoramento, julgada por aqueles para os quais o projeto tem por objetivo proteger.

Evidentemente, um monitoramento geofísico nunca deverá consistir num único procedimento de controle da contaminação do ambiente hidrogeológico. Sua função principal é a de suplementar e complementar um programa de amostragens em furos de sondagens, reduzindo dessa forma os custos e aumentando a eficiência de um programa de monitoramento mais abrangente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BAGANHA, C.A. e CLOVIS J. -1997- **Deteção e Monitoramento da Contaminação Ambiental Hidrogeológica na Área de Influência do Aterro Sanitário do Parque Santa Bárbara, Município de Campinas, SP.** Revista Brasileira de Ecologia, v.1, p. 41-45.
2. BOIAN, C. e CLOVIS, J. -1996- **Aplicação Geofísica à Estudos Geoambientais em Sedimentos do Grupo Bauru: Aterro Sanitário de São José do Rio Preto, SP.** Anais do I-Congresso Científico da Universidade do Tocantins, v.1, p. 236. Palmas, To.
3. GREENHOUSE, J.P. and D.D. SLAINE -1983– **Case Studies of Geophysical Contaminant Mapping at Several Waste Disposal Sites.** Ground Water Monitoring Review, v.3, n.2, pp.47-59.
4. GREENHOUSE, J.P. and M.M. WILLIAMS -1985– **Geophysical Monitoring of Ground Water Contamination Around Waste Disposal Sites.** Ground Water Monitoring Review, Fall, 1985, pp.63-69.

5. JOSÉ, C. -1989- **Abordagem Geofísica para o Mapeamento e Monitoramento da Pluma de Contaminação na Área de Influência de um Aterro Sanitário Urbano.** Congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica , Revista Brasileira de Geofísica, v.7, nº1, p.92.
6. JOSÉ, C., BOIAN, C. e BARÇA, S.F. -1994 - **Mapeamento da Contaminação do Ambiente Hidrogeológico pelo Método Geofísico de Indução Eletromagnética.** Anais do I-Congresso Brasileiro de Análise Ambiental, pp. 5-6.
7. MACNEILL, J.D. -1980b – **Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Inductin Numbers.** Geonics Ltd. – Technical Note, TN-6.
8. PALACKY, G.I., R.L. RITSEMA and S.J. JONG -1981– **Electromagnetic Prospection for Groundwater in Precambrian Terrains in the Republic of Upper Volta.** Gephysical Prospecting, 29, pp.932-955.
9. PAYNE, M.I. -1995– **The Electromagnetic Traversing Method of Groundwater Exploration in Crystalline Rock Terrain.** Thurber Environmental Consultants Ltd., Victoria, Canada, pp.863-875.
10. REBOUÇAS, A.C. & I.N. CAVALCANTE -1987– **Hydrogeology of Crystalline Rocks in Brazil.** Proceedings of Workshop in Harade, Zinbabwe, v.1, sessions-1-5, Series n. CSC(89)WUR13. Technical Paper, 273, pp.103-126.