

# **Métodos Geofísicos Eletromagnéticos (EM e Geo-Radar) na Investigação da Pluma de Contaminação por Resíduos Industriais**

Wagner Franca Aquino - Cia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo - IGCE/Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Marco Antonio Barsotelli Botelho - IG/Universidade Federal da Bahia (UFBA)

José Milton Benetti Mendes – IG/Universidade de São Paulo (USP)

## **RESUMO**

A aplicação de métodos geofísicos para estudos da contaminação do solo e da água subterrânea tem se mostrado uma eficiente ferramenta de diagnóstico na investigação preliminar de áreas contaminadas.

Neste trabalho foram utilizados os métodos geofísicos eletromagnéticos EM e Geo-Radar para avaliação de duas áreas abandonadas, contaminadas pela disposição inadequada de resíduos industriais. A primeira técnica (EM) foi empregada para delimitar a extensão da pluma de contaminação disseminada no solo e na água subterrânea. Enquanto que, o Geo-Radar foi aplicado para imagear a pluma de contaminação e detectar possíveis tambores enterrados.

A combinação dessas duas técnicas proporcionaram uma maior compreensão em relação à geologia local e à determinação da posição e do sentido de propagação dos contaminantes. As informações derivadas desses levantamentos forneceram subsídios às futuras atividades de monitoramento e de remediação que serão desenvolvidas nas áreas em questão.

## **INTRODUÇÃO**

O emprego de métodos geofísicos como auxílio à resolução de problemas ambientais relacionados à contaminação do solo e das águas subterrâneas vem se desenvolvendo de forma marcante nos últimos anos. A adoção crescente desse tipo de levantamento não invasivo (de superfície) se justifica pela eficiência e rapidez que esses métodos apresentam para diagnosticar a presença de contaminantes em subsuperfície.

A caracterização de áreas contaminadas através de levantamentos geofísicos consiste na aquisição de dados de subsuperfície, cujo o objetivo é a avaliação das condições locais, tanto em relação à contaminação existente, como dos possíveis processos dinâmicos de migração do contaminante através do meio geológico (Nobes, 1996).

A interpretação dos dados geofísicos podem fornecer informações sobre litologia, estratigrafia, profundidade do embasamento, potenciometria, presença de aquíferos importantes, existência de falhas e fraturas, delimitação da contaminação do solo e das águas subterrâneas, área e volume do material depositado, presença de tambores e tanques enterrados, além do mapeamento de galerias de utilidades.

O emprego de dois métodos geofísicos distintos aumenta a precisão das interpretações, sendo que a geologia local e a natureza dos contaminantes são os fatores determinantes na seleção dos métodos a serem utilizados (Greenhouse et al., 1983).

## **ESTUDO DE CASO**

Os levantamentos geofísicos foram desenvolvidos em dois locais de descarte indevido de resíduos industriais situados nos municípios de Santo Antonio de Posse e Araras.

O primeiro caso (Santo Antonio de Posse), está associado a um aterro industrial desativado em 1987, onde ocorreu a disposição dos resíduos, tais como borra ácida, organoclorados, sais, inclusive em estado líquido, cujas valas mal construídas e sem impermeabilização de fundo, favoreceram a dispersão dos contaminantes.

O segundo exemplo (Araras) se refere ao estudo em área industrial abandonada, onde a contaminação decorreu por infiltração de resíduos diretamente no solo através de poços de injeção. Esses resíduos eram provenientes da fabricação de sais e solventes halogenados (organoclorados), cujo o período de produção foi de 1981 a 1988. Nessa área, um dos fatores de risco é a presença da Represa Herminio Ometto a jusante do local de infiltração, pois esta represa é manancial parcial de abastecimento da cidade de Araras.

A geologia desses locais é bastante similar, caracterizada pela presença e alternância de sedimentos argilosos e arenosos pertencentes ao Grupo Tubarão (Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1981) e a condutividade hidráulica média desses locais, obtidas através de ensaios em sondagens, é da ordem de  $10^{-6}$  e  $10^{-7}$  cm/s.

## METODOLOGIA EMPREGADA

Nas duas áreas investigadas foram executados levantamentos combinando-se dois métodos geofísicos: eletromagnético indutivo (EM) e Geo-Radar.

O método EM se baseia na indução de um campo eletromagnético primário para subsuperfície, através de uma bobina transmissora, e sua relação de amplitude e fase com um campo eletromagnético secundário, captado numa bobina receptora. A propriedade física envolvida nesse método é a condutividade elétrica, e esta é proporcional a relação entre o campo primário e o secundário. Outro aspecto importante é que a profundidade de investigação desse método depende da frequência e da distância entre as bobinas (Monier-Williams et al., 1990).

Nos dois locais de estudo foi utilizado o condutivímetro de campo EM34-3XL, marca Geonics (Canadá), sendo as leituras de condutividade executadas a cada 20 metros nos perfis realizados.

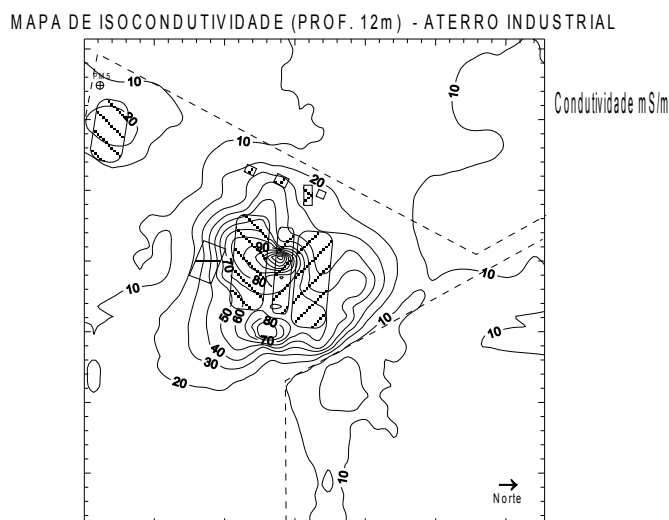
O outro método geofísico empregado foi o Geo-Radar. Esse método de alta frequência (10 a 1000MHz) utiliza princípios da propagação e da reflexão de ondas eletromagnéticas em subsuperfície. As reflexões da onda eletromagnética em subsuperfície se desencadeiam a partir dos contrastes das propriedades dielétricas dos materiais geológicos (Annan et.al, 1991).

A influência dominante nos sinais de Geo-Radar está representada pelo coeficiente dielétrico e pela condutividade elétrica apresentada pelos materiais. Meios muito condutivos atenuam de forma marcante o sinal, o que possibilita a aplicação dessa metodologia na identificação de plumas de contaminação (Greenhouse et al., 1993).

A profundidade de investigação depende da frequência de emissão utilizada e da condutividade do meio investigado. O equipamento utilizado foi o Geo-Radar Ramac, marca Måla Geoscience (Suécia), com antenas de 100 e 200MHz.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

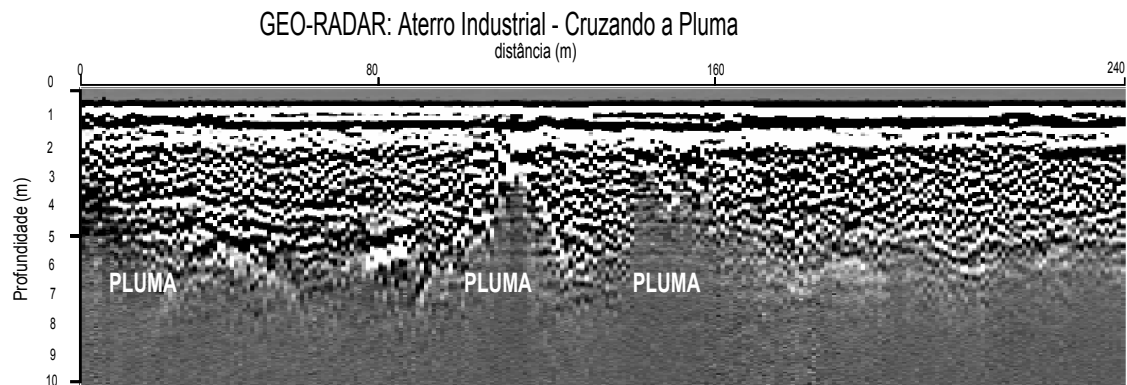
O método eletromagnético indutivo (EM) pode estabelecer a extensão da contaminação, estimar a profundidade atingida da mesma, determinar o sentido de fluxo da contaminação e verificar a homogeneidade litológica do local. Esses resultados podem ser vistos através de mapas de isocondutividade aparente (figura abaixo) e das pseudo-seções de isocondutividade.



Quanto aos resultados obtidos através das seções do Geo-Radar, puderam ser visualizadas as plumas de contaminação como regiões de forte atenuação do sinal (“zonas de sombra”) e estabelecido o sentido de propagação dos contaminantes.

Os resultados obtidos por esse método mostraram-se melhores com o emprego da antena de 100MHz de frequência, pois como os terrenos são predominantemente argilosos, e consequentemente condutivos, o sinais provenientes da antena de 200MHz sofreram forte atenuação natural devido a este tipo de solo.

Um aspecto importante, representado numa das seções de Geo-Radar do aterro industrial, foi a individualização das plumas de contaminação de diferentes valas de disposição.



Este fato é resultado da alta resolução que o método apresenta e da possibilidade de execução de seções contínuas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annan,A.P.; Cosway,S.W.; Redman,J.D.: 1991, "Water Table Detection with Ground Penetrating Radar", Expanded Abstracts, Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists 61, 494-496.
- Greenhouse,J.P.; Harris,R.D.: 1983"Migration of Contaminants in Grondwater at a Landfill: a Case Study, 7. DC, VLF and Inductive Resistivity Surveys", Journal of Hydrology 63, 177-197.
- Greenhouse,J.P.; Brewster,M.; Schneider,G.W.; Redman,D.; Annan,A.P.; Olhoeft,G. Lucius,J.; Sander,K.; Mazzella,A.:1993, "Geophysics and Solventes: The Borden Experiment", The Leading Edge 12, 261-267.
- Mapa Geológico do Estado de S.P. 1981 - Escala 1: 500.000 - D.M.G.A - IPT - S.P. - Vol. I e II.
- Monier-Williams,M.E.; Greenhouse,J.P.; Mendes, J.M.; Ellert,N.: 1990, "Terrain Conductivity Mapping with Topographic Corrections at Three Wate Disposal Sites in Brazil, in S.H. Ward (ed.) Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol II - Environmental e Groundwater, Society of Exploration Geophysicists, 41-45.
- Nobes,C.D.: 1996, "Troubled Waters: Environmental Applications of Electrical and Eletromagnetic Methods", Surveys in Geophysics 17, 393-454.