

CEMITÉRIOS E MEIO AMBIENTE - A GEOFÍSICA COMO MÉTODO AUXILIAR NA AVALIAÇÃO DE SUA INFLUÊNCIA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

José Milton Benetti Mendes (*)

Alberto Pacheco (*)

Seiju Hassuda (**)

RESUMO

Os cemitérios são fontes geradoras de impactos ambientais, entre os quais se destaca o risco de contaminação das águas subterrâneas por microorganismos, que proliferam durante o processo de decomposição dos corpos.

Uma pesquisa vem sendo desenvolvida em alguns cemitérios das cidades de São Paulo e Santos, no Estado de São Paulo, com o objetivo de avaliar as consequências para o meio ambiente, em particular para as águas subterrâneas, decorrentes da localização e operação inadequadas de cemitérios em meio urbano.

Os dados geofísicos analisados neste trabalho fazem parte de uma pesquisa, onde estarão envolvidos, ainda, reconhecimento geológico, perfuração de poços de amostragem, instalação de piezômetros e análises físico-químicas e biológicas de amostras de água subterrânea.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Um estudo sistemático utilizando várias metodologias está sendo desenvolvido através do CEPAS - Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do Instituto de Geociências da USP, visando avaliar a influência dos cemitérios na qualidade das águas subterrâneas.

A falta de critérios geológicos e hidrogeológicos na escolha dos locais para sua instalação, agravada pela ocupação das áreas próximas por população de baixa renda, evidencia a necessidade de uma série de medidas voltadas para a preservação do meio ambiente e que levem em conta aspectos sanitários básicos.

Dentre os métodos utilizados neste estudo, destacam-se os geofísicos, já consagrados pelo sucesso nos casos de poluição por produtos químicos, infiltração de vinhaça, aterros sanitários, penetração da cunha saína em aquíferos costeiros e outros. Conhecidos pela sua eficiência e rapidez, os métodos geofísicos procurarão fornecer dados que permitam

(*) CEPAS/Instituto de Geociências-USP

(**) Instituto Geológico/CEPAS

mapear em superfície e em profundidade manchas de poluição.

METODOLOGIA

Os cemitérios escolhidos para monitoramento são os de Vila Formosa e Vila Nova Cachoeirinha, da Prefeitura do Município de São Paulo, e da Areia Branca, da Prefeitura de Santos.

Geologia

O principal critério utilizado na escolha destas necrópoles foi o condicionamento geológico. Procurou-se selecionar áreas com características geológicas distintas, para se avaliar o tipo de resposta ao processo de poluição, em função da litologia.

Por se tratar de áreas inseridas em regiões bastante estudadas, sua geologia já se encontra descrita em literatura especializada.

Em Vila Formosa, predominam os sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo, onde é frequente a alternância de lentes e camadas de espessura e granulometria variadas.

Em Vila Nova Cachoeirinha, o solo é proveniente da alteração de granito, sendo predominantemente arenoso, com níveis mais argilosos.

Em Santos, como em toda a Baixada Santista, predominam os sedimentos Quaternários marinhos, arenosos, com alta porosidade e permeabilidade. Nas regiões litorâneas os problemas com os cemitérios tendem a manifestar de uma forma mais intensa devido a pequena profundidade do nível d'água e de sua flutuação com o regime de marés.

Um outro critério utilizado na escolha dos locais para estudo foi a existência de espaço para execução de levantamento geofísico. Apenas o cemitério da Areia Branca não atendeu a este requisito.

Geofísica

A aplicação dos métodos geofísicos de prospecção visou fornecer dados para complementar as informações geológicas, tais como profundidade do nível d'água e do topo rochoso, e auxiliar a locação dos poços de amostragem e piezômetros.

Para a obtenção dos dois primeiros dados utilizou-se o método da eletroresistividade, através do procedimento da sondagem elétrica. Para auxiliar locações foi utilizado o método eletromagnético indutivo, através de caminhamentos eletromagnéticos.

Os dois métodos citados estão intimamente relacionados com a resistividade e/ou condutividade dos materiais do sub-solo, e estas propriedades dependem basicamente da quantidade e qualidade da água que os saturam. Deste modo, os valores anômalos de condutividade da água indicam

a presença de agentes poluentes. Neste caso particular as anomalias são provocadas pelos sais minerais e outras substâncias liberadas com a decomposição dos corpos, e não pela presença de vírus e bactérias.

a) Sondagem Elétrica

Consiste numa sucessão de medidas da resistência elétrica do solo, através de um arranjo de quatro eletrodos (A-M-N-B). Injeta-se a corrente (I) através dos dois eletrodos externos (A-B), e mede-se a diferença de potencial (ΔV) nos dois internos (M-N). A relação $\Delta V/I$ fornece a resistência dos materiais por onde a corrente circula. A resistência, multiplicada por uma constante (K) que depende apenas do espaçamento entre os eletrodos fornece a resistividade ($\rho = \text{ohm.m}$) dos materiais investigados.

Aumentando-se a distância entre os eletrodos externos aumenta-se a profundidade de investigação. A interpretação da curva de resistividade aparente resultante fornece a espessura e resistividade das diferentes camadas, às quais deve ser dada uma interpretação geológica.

b) Caminhamento Eletromagnético

A medida da condutividade é feita através da indução de uma corrente no sub-solo, por um campo eletromagnético alternado criado por uma bobina transmissora colocada na superfície.

A corrente induzida tem uma intensidade que depende das características do sub-solo no local e, por sua vez, vai criar um campo eletromagnético secundário que vai induzir correntes em uma bobina receptora, que produz uma saída que é proporcional à condutividade do solo.

A profundidade de investigação aumenta com a distância entre as bobinas e varia com a posição de seu eixo. Em geral, os equipamentos são calibrados para dar a condutividade (σ) em milimho/m.

No caminhamento eletromagnético os pontos de medida estão dispostos ao longo de perfis paralelos que recobrem a área de interesse. As anomalias condutoras observadas podem ser associadas a variações laterais de condutividade provocadas por mudanças faciológicas, manchas de poluição e outras situações.

Poços de Amostragem e Piezômetros

Nos locais indicados pela interpretação geofísica foram implantados poços de amostragem e piezômetros com dupla finalidade: medição do nível estático para determinar o fluxo da água subterrânea, e coleta de amostra de água do aquífero para determinar o nível de poluição.

Os furos para construção dos poços de amostragem e piezômetros foram executados com trado manual de 4 polegadas de diâmetro. Os poços de

amostragem e piezômetros são constituídos de tubos de PVC de 3 polegadas de diâmetro, com ranhuras horizontais de 2 mm de espessura no último metro. A porção ranhurada do tubo foi envolta com tela de material interno de forma a reduzir o espaço das ranhuras.

O espaço anular, entre o tubo e o furo, foi preenchido com cascalho até cobrir as ranhuras, servindo como pré-filtro. Acima dele colocou-se o próprio material retirado do furo, e na superfície em volta da boca do tubo foi construída uma laje de concreto que tem a função de selo sanitário.

Análises Físico-Químicas e Biológicas

Esta etapa dos trabalhos está em desenvolvimento, e como o monitoramento da qualidade das águas será feito ao longo de um ano hidrológico, os resultados serão assunto de nova publicação.

A amostragem está sendo feita em períodos regulares, dando-se especial atenção às análises de caráter biológico, usando-se, para tanto, indicadores como: Coliformes totais, Coliformes fecais, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp e outros.

RESULTADOS DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Os métodos geofísicos descritos foram aplicados nos cemitérios de Vila Formosa e Vila Nova Cachoeirinha.

No primeiro foram feitas 14 sondagens elétricas e 3.900 metros de perfis de caminhamento eletromagnético, com 5 profundidades de investigação: 3,0, 6,0, 7,5, 15,0 e 30,0 metros, aproximadamente. Os perfis recobriram uma área de 36.000 m², com os pontos de medida dispostos segundo uma malha quadrática com 10 metros de lado (Figura 1).

No segundo, foram feitas 6 sondagens elétricas e 1.720 metros de caminhamento eletromagnético, com 4 profundidades de investigação: 4,0, 6,0, 7,5 e 15,0 metros, aproximadamente. A área recoberta pelos perfis foi de aproximadamente 16.200 m², com pontos de medida distanciados de 10 metros.

Vila Formosa

As sondagens elétricas detectaram o nível d'água entre 4 e 12 metros, aproximadamente, variando em função da cota do ponto investigado. Um comportamento bastante irregular da cota do nível d'água faz prever a existência de aquífero suspenso na área compreendida pelas sondagens.

A espessura do pacote sedimentar, e consequentemente a profundidade do topo rochoso, foi determinada entre 35 e 40 metros, nos locais das sondagens. Isto define a faixa vulnerável à ação dos agentes poluentes.

Na sondagem SE-1 (Figura 2) o nível d'água foi detectado a 7 metros de profundidade e o topo rochoso a 36 metros.

Os mapas de isocondutividade, elaborados a partir dos dados do caminhamento eletromagnético, evidenciam áreas anômalas de condutividade que serviram para orientar a locação dos poços de amostragem e piezômetros.

As anomalias não são muito claras na profundidade de 7,5 metros, porque em vários pontos o nível d'água é mais profundo, passam a ser bem evidentes a 15 metros, e, em alguns pontos, se manifestam até 30 metros de profundidade (Figura 3).

Vila Nova Cachoeirinha

As sondagens elétricas detectaram o nível d'água a profundidades variando entre 4 e 9 metros, e caracterizou a existência de aquífero suspenso no local. Este fato ficou evidente quando o nível d'água foi encontrado a 5 metros de profundidade em perfurações para instalação de piezômetro, em quadra onde os sepultamentos tinham sido suspensos devido à presença de água a menos de 1 metro.

O topo rochoso é bastante irregular, no local estudado, profundidade de entre 8 e 36 metros, como é comum em se tratando de rocha granítica.

Também em Vila Nova Cachoeirinha o caminhamento eletromagnético gerou mapas de isocondutividade com anomalias cuja distribuição superficial e profundidade orientaram as perfurações.

CONCLUSÕES

A Geofísica mostrou ser uma ferramenta útil em estudos de avaliação da influência de cemitérios na qualidade das águas subterrâneas.

Neste caso particular, as anomalias de condutividade, que tornam viável o emprego dos métodos da eletroresistividade e eletromagnético indutivo, não são devidas à presença de vírus ou bactérias, mas sim dos sais minerais e outras substâncias liberadas, também, durante o processo de decomposição dos corpos.

Os contrastes observados não são de mesma amplitude dos medidos nos casos de poluição por aterros sanitários, produtos químicos de uma maneira geral, infiltração de vinhaça e outros, mas são perfeitamente mensuráveis.

O mapeamento das anomalias permitiu um perfeito posicionamento dos poços de amostragem e piezômetros. A etapa de amostragem e análises está em desenvolvimento, porém já foi notada a presença de microorganismos patogênicos em várias amostras. Os resultados finais serão tema de nova publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MENDES, J.M.B. *Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas*. São Paulo, 1987. 196 p. (Tese-Doutoramento, Instituto de Geociências da USP).
- PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. Revista do SPAM, São Paulo, 17, p. 25-37, agosto, 1986.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. O problema geo-ambiental da localização de cemitérios em meio urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5, São Paulo, 1988. *Anais...*, São Paulo, ABAS, 1988, p. 207-215.

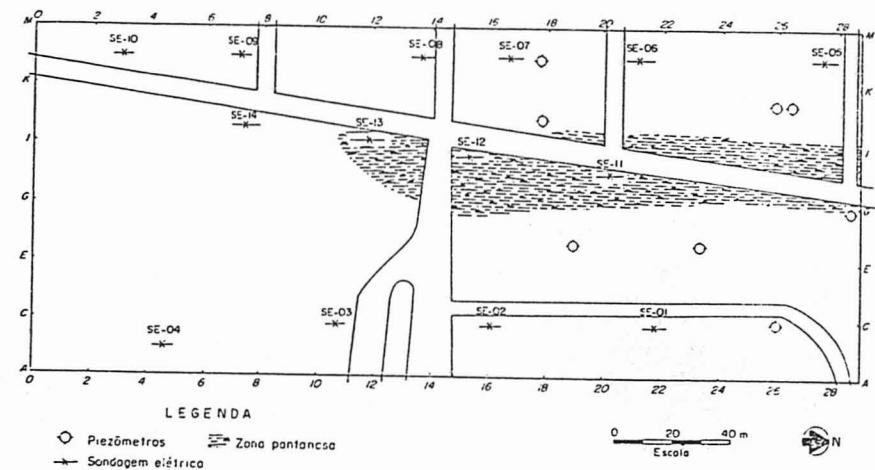


Figura 1 - Área de investigação geofísica (Cemitério de Vila Formosa).

CURVA DE RESISTIVIDADE APARENTE

INTERPRETAÇÃO

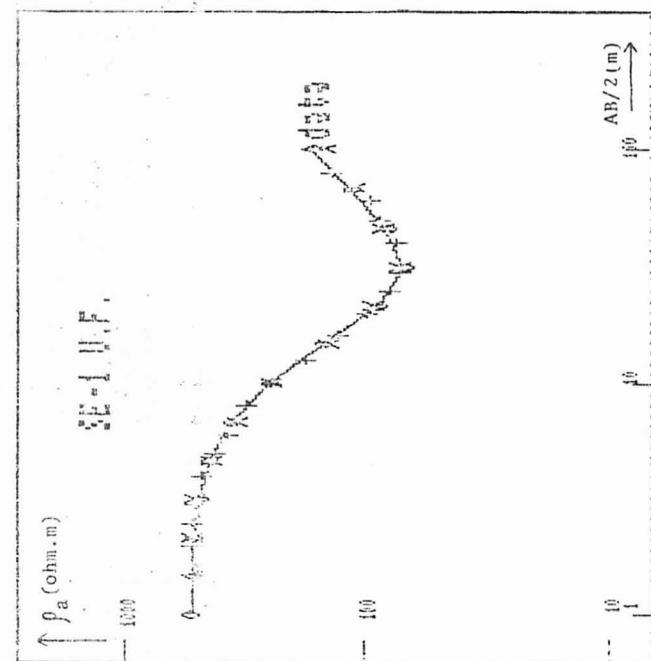
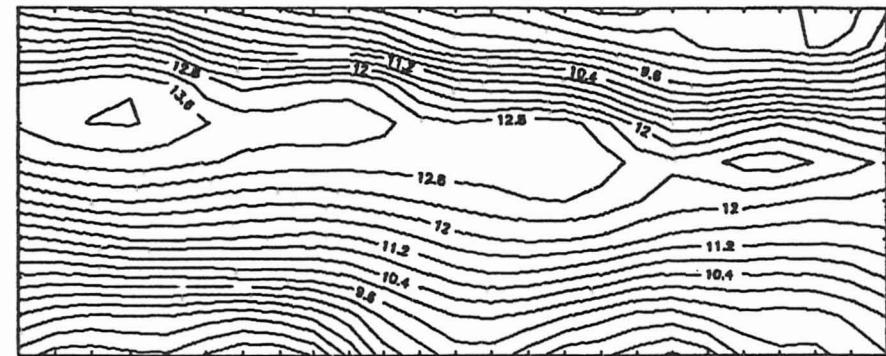
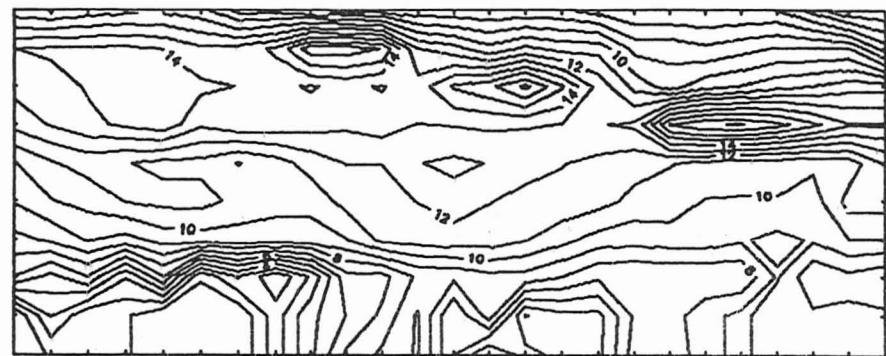


Figura 2 - Sondagem Elétrica (Vila Formosa)

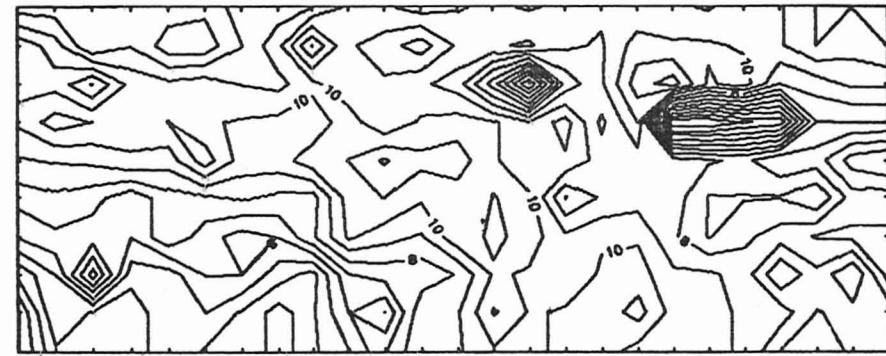
CAMADA (n°)	ESPESSURA (m)	RESISTIVIDADE (ohm.m)
1	3,2	553
2	3,8	253
3	29,0	50



EM-34/10m - HORIZONTAL (profund. 7,5 m)



EM-34/20m - HORIZONTAL (profund. 15,0 m)



EM-34/20m - VERTICAL (profund. 30,0 m)

Figura 3 - Mapas de isocondutividade (Vila Formosa).