



LIXÃO DO ALVARENGA – MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO PELOS MÉTODOS GEOELÉTRICOS

José Domingos Faraco Gallas^{1*}, Walter Malagutti Filho², Renato Luiz Prado³, Fabio Taioli¹ 1. IGc/USP 2. UNESP/Rio Claro 3. IAG/USP, Brasil

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

This paper presents the results of geophysical methods employed in a public garbage disposal area – Lixão do Alvarenga, São Bernardo do Campo, Brazil to evaluate the contamination plume of this site.

Combined information from electric resistivity, induced polarization (IP) and self potential (SP) data sets resulted in a picture of the contamination plume. Electric resistivity and IP data allowed mapping its lateral limits and depth, SP data shown the preferential flow paths.

Introdução

Nos últimos anos, a geofísica aplicada tem aumentado intensamente a diversidade de suas áreas de atuação, principalmente na área ambiental e de hidrogeologia.

Os resultados ora apresentados e discutidos abordam um caso de uma situação típica do uso da geofísica aplicada em um caso ambiental, empregando-se os métodos da eletrorresistividade, polarização induzida (IP) e potencial espontâneo (SP). Trata-se de uma área adjacente a um lixão, situado no município de São Bernardo do Campo/SP, denominado de Lixão do Alvarenga. A situação física do local onde foram desenvolvidos os ensaios é de uma várzea plana e alagadiça, situada a jusante do lixão. Na seqüência, a jusante desta várzea, situa-se a represa Guarapiranga, para onde flui todo o chorume, que é levado pelo córrego e águas de subsuperfície que atravessam a referida várzea.

O objetivo dos ensaios realizados foi o de fornecer subsídios a um estudo mais amplo que abrangeu diversos aspectos referentes ao meio físico. Este estudo contemplou a definição do contorno da pluma de contaminação, a determinação da permeabilidade dos solos locais e o fornecimento de orientações gerais para o encaminhamento das operações de recuperação ambiental da área do lixão do Alvarenga (IPT, 1998).

Os levantamentos geofísicos buscaram identificar, através dos contrastes nas propriedades físicas medidas, correlações com a pluma de contaminação proveniente do lixão, bem como determinar as direções preferenciais de fluxos d'água, poluídas pelo chorume. Além disso, os parâmetros medidos também podem auxiliar na

determinação da permeabilidade dos solos locais, auxiliando nas outras diretrizes do projeto.

Geologia da Área do Lixão do Alvarenga

Na área do lixão do Alvarenga ocorrem rochas metamórficas de baixo grau, representadas por xistos e filitos (IPT, 1998). Os xistos apresentam granulação predominantemente fina a média, foliação bem desenvolvida e de constituição ora mais micácea, ora mais quartzosa. Essas rochas normalmente apresentam espesso manto de alteração (solo de alteração + rocha muito alterada), atingindo até uma dezena de metros nos relevos suavizados e alguns metros, nos acidentados. O solo de alteração possui constituição variando de argilo-siltosa nos xistos micáceos a areno-siltosa, nos xistos quartzosos e espessura da ordem de 2 a 3 m.

Os filitos, por sua vez, apresentam granulação muito fina e foliação bem desenvolvida, sendo constituídos predominantemente por quartzo e sericita. Seu solo de alteração normalmente é siltoso e pouco espesso, da ordem de 1 m. O manto dessa alteração da rocha, no entanto, é bastante espesso, apresentando de dezenas de metros, nos relevos suavizados, a alguns metros, nos acidentados.

Segundo IPT (1998), na área em análise ocorre o sistema aquífero cristalino, de características heterogêneas e localmente constituído por xistos. Na porção do aquífero em que a rocha apresenta-se inalterada a água escoar somente pelas fissuras, contendo pouca água. Já na porção em que na constituição predomina rocha parcialmente alterada, o aquífero é permeável e de alta transmissividade.

Metodologia e Sistemática dos Trabalhos Desenvolvidos

Para os ensaios IP-resistividade, optou-se pelo arranjo elétrico dipolo-dipolo. A abertura entre eletrodos usada foi $AB=MN=5m$, sendo a separação entre perfis de 10m ou segundo as limitações de acesso do local. Os levantamentos foram tomados segundo duas orientações perpendiculares entre si, sendo uma delas paralela e outra perpendicular à drenagem existente no local. A opção por este arranjo deveu-se aos objetivos a serem alcançados pela geofísica, quais sejam a determinação dos limites da pluma de contaminação do chorume, bem como indicações do comportamento da poluição com a profundidade.

Os levantamentos SP foram tomados em uma malha 5 x 5m, utilizando-se a técnica dos potenciais, ou seja: mantendo-se um eletrodo de referência fixo e um eletrodo itinerante ao longo das linhas de medição.

A integração das informações obtidas com os três métodos empregados certamente fornece uma melhor caracterização das plumas de contaminação e direções preferenciais de fluxos em subsuperfície.

Discussão, Análise e Interpretação dos Resultados

IP-resistividade

As pseudo-seções IP-resistividade mostraram em detalhe o comportamento destes parâmetros e sua relação com pluma de contaminação. No entanto, a informação contida nas mesmas restringe-se ao perfil ensaiado.

Para ter-se uma visão global da distribuição destes parâmetros na área pesquisada, torna-se necessário que sejam elaborados mapas a partir dos dados das pseudo-seções dipolo-dipolo. Para tanto, elege-se um dos níveis de investigação dos perfis levantados e elabora-se o mapa correspondente. A escolha deste nível é feita por uma avaliação do conjunto das linhas ensaiadas, valendo para isso o bom senso e a experiência do intérprete. Se a escolha da abertura entre eletrodos foi adequada, o alvo do levantamento é alcançado de maneira efetiva ao menos no segundo nível, sendo este, quase sempre, o nível mais representativo (GALLAS, 2000).

Para obter-se uma visualização em planta deste comportamento à medida que aumenta a profundidade podem ser confeccionados mapas com níveis de investigação de ordens superiores (ou inferiores). Novamente, se a abertura entre eletrodos foi correta, geralmente o nível adequado para isto é o quarto nível (GALLAS, 2000). Uma forma de representar esta visualização de forma realçada é sob a forma de simulações tridimensionais (3-D), como feito aqui.

A Figura 1 – simulação 3-D da resistividade aparente do nível 2 do dipolo-dipolo – confirmando evidências de campo – mostra que as zonas de resistividades mais baixas (cor amarelo-avermelhada) guardam estreita relação com os locais mais intensamente atingidos pela pluma de contaminação.

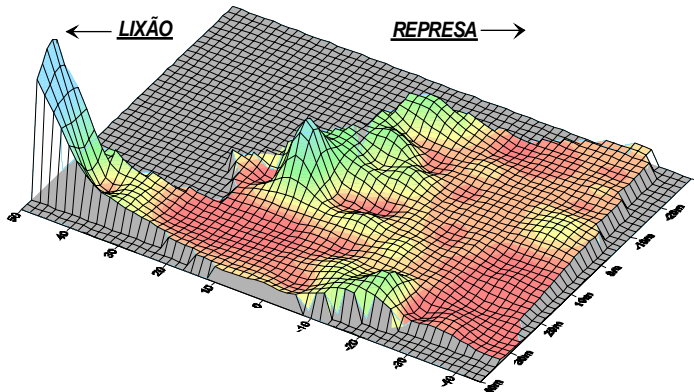


Figura 1 – simulação 3-D da resistividade aparente do nível 2 do dipolo-dipolo.

A Figura 2 contém a simulação 3-D da resistividade do nível 4 do dipolo-dipolo e mostra que a resistividade é mais elevada nesta profundidade, indicando que a contaminação é menor em níveis mais profundos. Também pode ser observado nesta Figura que na porção mais a jusante do mapa existe um local que permanece com baixas resistividades, o que sugere uma penetração mais intensa da pluma de contaminantes neste local.

As Figuras 3 e 4 trazem as simulações 3-D de cargabilidade aparente elaborados a partir dos dados dos níveis 2 e 4 do dispositivo dipolo-dipolo. Estas Figuras mostram, a grosso modo, um comportamento semelhante àquele dos dados de resistividade. Os valores mais baixos de cargabilidade correlacionam-se aos níveis de investigação mais superficiais, onde a presença da pluma de contaminação é mais intensa. Assim, neste caso, a presença dos poluentes contidos na pluma conferem um padrão de baixa cargabilidade ao meio contaminado.

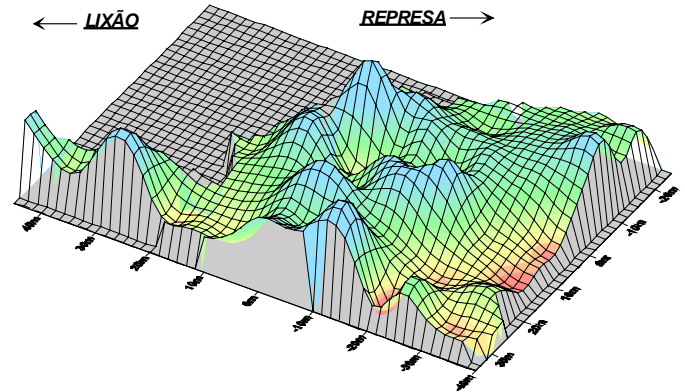


Figura 2 – simulação 3-D da resistividade do nível 4 do dipolo-dipolo.

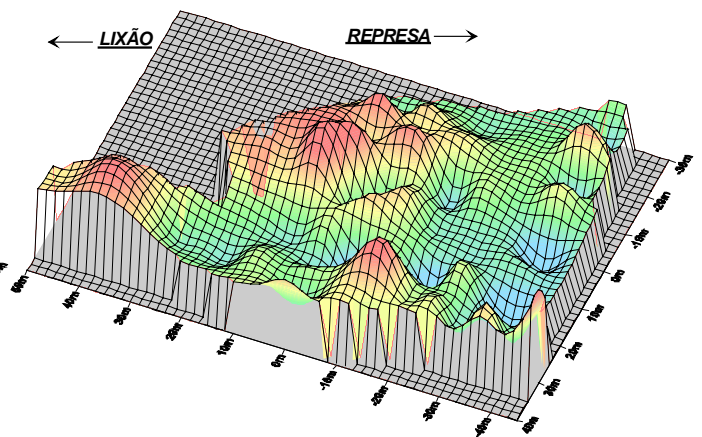
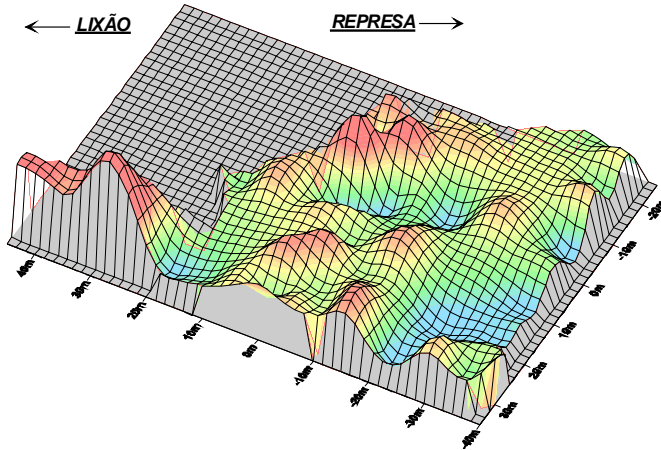


Figura 3 – simulação 3-D de cargabilidade aparente do nível 2 do dipolo-dipolo.



Figuras 4 – simulação 3-D de cargabilidade aparente do nível 4 do dipolo-dipolo.

No entanto, para a tomada de decisões em programações de coleta de amostras, instalação de piezômetros e quaisquer outras investigações diretas que venham a ser efetuadas, informações detalhadas e uma análise mais acurada devem ser vistas em detalhe pela observação individual das pseudo-seções de resistividade e cargabilidade aparentes. Estes dados de detalhe não são apresentados aqui pela exigüidade de espaço disponível em um resumo expandido.

Os dados das pseudo-seções IP-resistividade também podem ser processados por meio de programas de inversão disponíveis atualmente no mercado, como o RES2DINV da ABEM Instruments, que buscam estabelecer uma seção isenta (modelada) das distorções presentes nas representações convencionais (Halloff, 1957) comumente usadas. As seções modeladas por este programa são resultantes de um processo automático de inversão 2-D (técnicas de elementos finitos e diferenças finitas). Os processos de inversão de dados de IP-resistividade buscam estabelecer um modelo da provável distribuição real destes valores em subsuperfície. As eventuais distorções nas pseudo-seções inerentes aos arranjos de eletrodos são, teoricamente, eliminadas pelos processos de inversão.

Apresenta-se neste trabalho um dos perfis IP-resistividade processado pelo RES2DINV, na Figura 5a e 5b. Os resultados da inversão apresentados foram interpolados pelo Surfer 8, que possui uma forma de apresentação de dados superior à do RES2DINV.

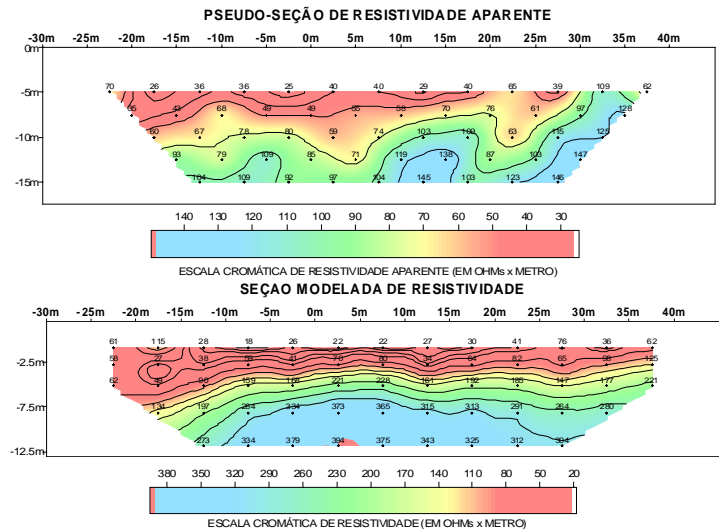


Figura 5a – Pseudo-seção e seção modelada de resistividade.

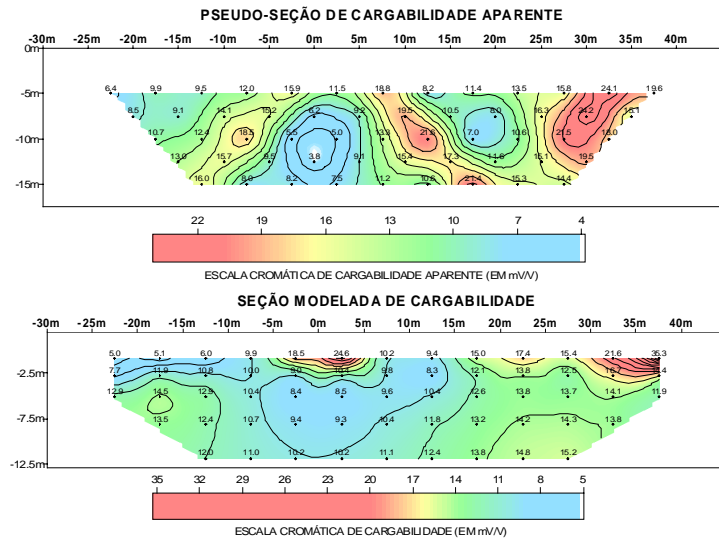


Figura 5b – Pseudo-seção e seção modelada de cargabilidade.

Potencial Espontâneo (SP)

A aplicação do método do potencial espontâneo teve como principal objetivo a indicação de fluxos preferenciais dos fluidos subsuperficiais na região contaminada e foram tomados com uma densidade de amostragem 5m x 5m.

A Figura 6 mostra os resultados do levantamento SP efetuado na área estudada. A análise qualitativa desta figura indica que a direção geral de fluxos no local é no sentido do lixão para a represa, apresentando uma diferenciação na parte central superior do mapa. Dentro desta porção, identificada pela coloração amarelo-avermelhada (valores positivos), distinguem-se dois trechos preferenciais de fluxos que são separados por segmentos negativos de valores de SP, indicados pela coloração verde-azulada conforme visto na Figura 6.

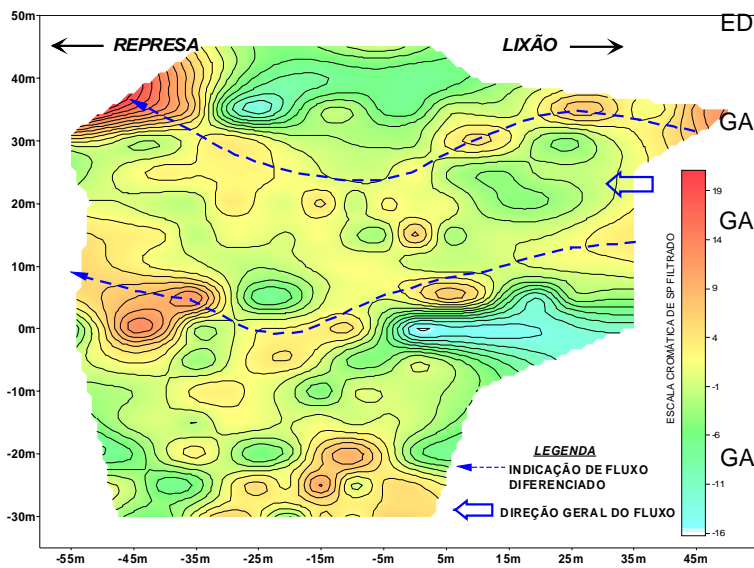


Figura 6 – Mapa de Potencial Espontâneo (SP).

Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que os métodos do potencial espontâneo (SP), eletrorresistividade e polarização induzida (IP) são uma excelente ferramenta em casos ambientais que envolvam áreas contaminadas, permitindo uma precisa delimitação da área atingida pelos poluentes, bem como os fluxos presentes.

O método SP mostrou sua eficiência na determinação das direções de fluxos, sendo também um método rápido e de baixos custos – tanto no que se refere aos equipamentos necessários como no tocante ao tempo de aquisição.

A resistividade, neste caso, mostrou uma melhor correlação com a presença da contaminação (resistividades mais baixas) do que a polarização induzida. É possível, no entanto, que este método, em outros contextos geológicos e de contaminações possa apresentar resultados tão bons ou até superiores ao da eletrorresistividade. Uma limitação para seu emprego é o custo mais elevado dos equipamentos necessários para as medidas IP e o maior tempo empregado para a aquisição dos dados.

Bibliografia

ABEM INSTRUMENTS, 1998. Geoelectrical Imaging 2D & 3D – RES2DINV, ver. 3.3 for Windows 3.1, 95 and NT. Rapid 2D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. By M. H. Loke. ABEM Instruments, P. O. Box 20086, S-161 02 Bromma, Sweden. Paginação irregular.

BERTIN, J. & LOEB, J. *Experimental and theoretical aspects of induced polarization*. Gebruder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, Germany: Geopublication Associates, 1976, v.1, 250p.

EDWARDS, L. S. A modified pseudo-section for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, v.3, p.78-95, 1977.

GALLAS, J. D. F. 1999 – Geofísica – Uma Aplicação em Área Urbana de Ocorrência de Colapso de Terreno. *Acta Geologica Leopoldensia*, XXIII(49), p. 103-109.

GALLAS, J. D. F., SANTORO, E., MESQUITA, N. N., DINIZ, H. N., SOUZA, L. A. P. 2000 – Ensaio Geofísicos em Apoio ao Diagnóstico de Recalque de Solo em Área Urbana Ocorrido no Município de Taubaté, SP. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais (em CD-ROM) do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, RS.

GALLAS, J. D. F. 2000 – Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Rio Claro, 174p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

GALLAS, J. D. F., TAIOLI, F., MALAGUTTI, W. F., PRADO, R. L., DOURADO, J. C. 2002 – Métodos e Técnicas Geofísicas de Superfície e Comparação entre seus Resultados na Delimitação de Área Afetada por Ruptura em Teto de Túnel Urbano. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19 (1), p. 33-46.

GALLAS, J. D. F. & MALAGUTTI FILHO, W. 2001. – O Método do Potencial Espontâneo (SP) na Detecção de Infiltrações em Barragens. Anais (em CD-ROM) Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Salvador, BA.

HALLOF, P. G. 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements: Cambridge, MIT, Ph. D. thesis.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. 1998. Parecer Técnico IPT-7.231. Análise dos estudos de projeto do aterro sanitário Tiradentes e diagnóstico do meio físico em área pertencente ao Lixão do Alvarenga, município de São Bernardo do Campo. IPT, 70p.

ORELLANA, E. *Prospeccion geoeletrica en corriente continua*. Madrid: Paraninfo, 1972, 523 p.

SUMNER, J. S. 1976. *Principles of induced polarization for geophysical exploration*. New York: Elsevier Scientific Publishing Co., 277p.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. 1990. *Applied geophysics*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p.