



Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em uma área industrial contaminada em São Paulo – Brasil – resultados preliminares

Marina Minozzo , IAG/USP, Brasil
Vagner Roberto Elis, IAG/USP, Brasil
Andréa Teixeira Ustra , IAG/USP, Brasil
Fábio Missaki , IAG/USP, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent 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 work presents the results of Electromagnetic and Resistivity methods applied to an industrial facility polluted with benzene, toluene, xylene (BTX) and organochlorine compounds, in São Paulo city, Brazil. The results suggest that high resistivity anomalies are due to contaminated compounds in the soil, typically resistive; and low resistivity anomalies are consequences of electrical properties changes of the polluted environment, caused by biodegradation. The acquisition techniques showed to be efficient for contamination mapping in industrial sites studies and should be considered in this type of study.

Introdução

As geociências vêm experimentando nos últimos anos um aumento de seu campo de atuação em função do desenvolvimento tecnológico, econômico e do crescimento da urbanização. Este aumento de atuação está relacionado principalmente, à busca do equilíbrio entre o crescimento urbano e industrial e a preservação do meio ambiente.

Como consequência deste desenvolvimento urbano e industrial, o uso cada vez maior de derivados de petróleo em processos industriais proporciona a geração de uma diversidade de produtos cada vez mais utilizados pela sociedade atual. As consequências negativas do uso e manipulação de hidrocarbonetos é a geração de resíduos e efluentes altamente poluidores.

A destinação destes resíduos ou efluentes apresenta-se como um dos principais problemas ambientais que está sendo enfrentado nos últimos anos, pois muitas vezes não existem opções de reutilização e o transporte e disposição em locais adequados demanda elevados investimentos. Procedimentos inadequados resultam em ações danosas ao meio ambiente, como o descarte indevido, com graves consequências tanto ao solo quanto aos recursos hídricos subjacentes (rios e água subterrânea), além do extenso passivo ambiental

herdado de décadas de falta de planejamento e descaso. O diagnóstico e o monitoramento de áreas potencialmente contaminadas são necessários devido ao risco à saúde e a qualidade de vida da população.

Sendo assim, a utilização de técnicas geofísicas podem se constituir em uma metodologia eficiente na avaliação e caracterização de problemas ambientais. A natureza não invasiva dos métodos geofísicos (não afeta e não destrói camadas selantes naturais ou artificiais), aliada ao baixo custo operacional, rapidez e facilidade de aplicação dos ensaios, torna-os particularmente adequados para aplicação no estudo de tais problemas. De uma forma geral a utilização da geofísica na caracterização de uma área afetada por substâncias poluentes consiste na detecção e mapeamento da extensão da área afetada e informações sobre a profundidade da zona saturada, direção do fluxo subterrâneo e profundidade do substrato rochoso inalterado.

Em conjunto com métodos diretos de investigação, como poços de monitoramento, as técnicas geofísicas como Eletrresistividade, Radar de Penetração no Solo (GPR) e Eletromagnético Indutivo (EM) são cada vez mais aplicadas na caracterização e monitoramento de áreas impactadas por contaminantes Fase Líquida Não Aquosa (NAPL) (Atekwana et al., 2000; Readman et al., 1994; Ellert et al., 1988).

A eletrresistividade é uma das ferramentas mais comumente utilizadas em estudos de contaminantes em solo e água subterrânea, devido ao elevado contraste de propriedades elétricas entre o meio geológico e os tipos de contaminantes frequentemente encontrados neste meio, essencialmente constituídos por compostos orgânicos e inorgânicos.

A aplicação do método eletromagnético indutivo (EM) em estudos ambientais reside na possibilidade de determinação da condutividade aparente do terreno para diversas profundidades. As principais vantagens deste método são a facilidade de aquisição de dados, realização de leituras em diversas profundidades, versatilidade do equipamento em campo e a possibilidade de varredura de grandes áreas num curto espaço de tempo (McNeill, 1980; EPA, 1993; Goldstein et al., 1990). Estas vantagens são traduzidas em rapidez e baixos custos.

Os trabalhos de Benson & Stubben (1995) e Sauck (1998) relacionam a presença de zonas de mancha em perfis GPR com contaminações antigas de LNAPL, caracterizadas por anomalias de baixa resistividade em relação padrão natural do aquífero.

O uso combinado de métodos elétricos e eletromagnéticos por Benson et al. (1997) no mapeamento de uma pluma de contaminação composta por benzeno, tolueno, xileno e etil-benzeno (BTEX) e com elevada quantidade de sólidos totais dissolvidos, resultou na detecção de uma anomalia de alta resistividade, associada a elevadas concentrações de hidrocarbonetos sob a forma de fase livre pouco degradada, predominante em relação à quantidade de sólidos totais dissolvidos.

Este trabalho apresenta a aplicação dos métodos eletrorresistividade e eletromagnético indutivo em uma área industrial contaminada por Organoclorados (Clorofórmio; 1,2 Dicloro-Etano; 1,1,1 Tricloro-Etano; Tricloro-Etileno; Tetracloro-Etileno), Benzeno, Tolueno e Xilenos e discute as alterações físicas do meio contaminado a partir dos resultados obtidos.

Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é uma indústria química, localizada na zona sul do município de São Paulo - SP, no bairro de Parelheiros.

O perímetro da indústria química alvo das investigações é limitado à oeste por uma estrada que margeia a represa de Guarapiranga (Figura 1).



Figura 1. Área da indústria química alvo dos estudos

Na área de estudos desenvolvem-se atividades relacionadas à fabricação de tintas, empregando no processo de produção solventes diversos, contendo hidrocarbonetos derivados de petróleo e organoclorados.

Há cerca de 30 anos esta indústria foi afetada por um acidente, quando, por motivos não esclarecidos, um incêndio ocorrido na fábrica de tintas ocasionou uma

explosão que possibilitou a infiltração de quantidade não estimada de solventes no solo não impermeabilizado (Salles, 1999).

Além do acidente, práticas de armazenamentos de tambores contendo resíduos de solventes em áreas não impermeabilizadas e expostas à intempéries constituem possíveis fontes de contaminação de solo e água subterrânea.

Como terceira fonte de contaminação, foram notificados derramamentos acidentais de produto na área onde são efetuados trabalhos de recuperação de solventes. O manuseio de produto ocasiona perdas acidentais de pequenos volumes que migraram pelas canaletas de contenção existentes nas proximidades para o exterior da indústria, eventualmente atingindo a zona que margeia a represa de Guarapiranga.

Salles (1999 e 2005) realizou trabalhos de caracterização geológica e hidrogeológica na indústria química, que incluiu a instalação de inúmeros poços de monitoramento para a realização de análises químicas da água subterrânea, assim como medidas de potenciometria e cálculo da velocidade do fluxo de água subterrânea. Também determinou as plumas de contaminação e velocidade de deslocamento das mesmas.

Segundo Salles (1999), a área de estudo está inserida no Grupo Açungui, Complexo Pilar, o qual é caracterizado pela predominância de quartzo-mica xistos, biotita-quartzo xistos, muscovita-quartzo xistos, granada-biotita xistos, xistos grafitosos, clorita xistos, sericita-biotita xistos, talco xistos, magnetita xistos e calcoxistos com intercalações subordinadas de filitos, quartzitos, calcossilicáticas e metassiltitos. O autor cita que estruturas metamórficas são ainda preservadas no solo de alteração, tendo sido identificadas foliações com direção predominante NE-SW e mergulho preferencial médio de 70° rumo à NW.

Através das medidas dos níveis d'água dos poços de monitoramento e suas cotas, foram determinados os valores de potenciometria em cada poço que permitiu a definição dos sentidos preferenciais de fluxo da água subterrânea. A potenciometria indica a existência de um divisor de águas situado na porção Oeste da área, condicionando o fluxo da água subterrânea para Leste e Nordeste, em direção à represa.

As análises químicas das águas subterrânea de poços de monitoramento na indústria química revelaram que os parâmetros que ultrapassaram os limites estabelecidos pela CETESB (2001) foram: Organoclorados (Clorofórmio; 1,2 Dicloro-Etano; 1,1,1 Tricloro-Etano; Tricloro-Etileno; Tetracloro-Etileno) Benzeno, Tolueno e Xilenos.

Baseado na análise conjunta dos dados geológicos, hidrogeológicos e dos resultados das análises químicas da água subterrânea estabeleceu-se a localização dos perfis eletromagnéticos e de eletrorresistividade conforme ilustrado na figura 2.

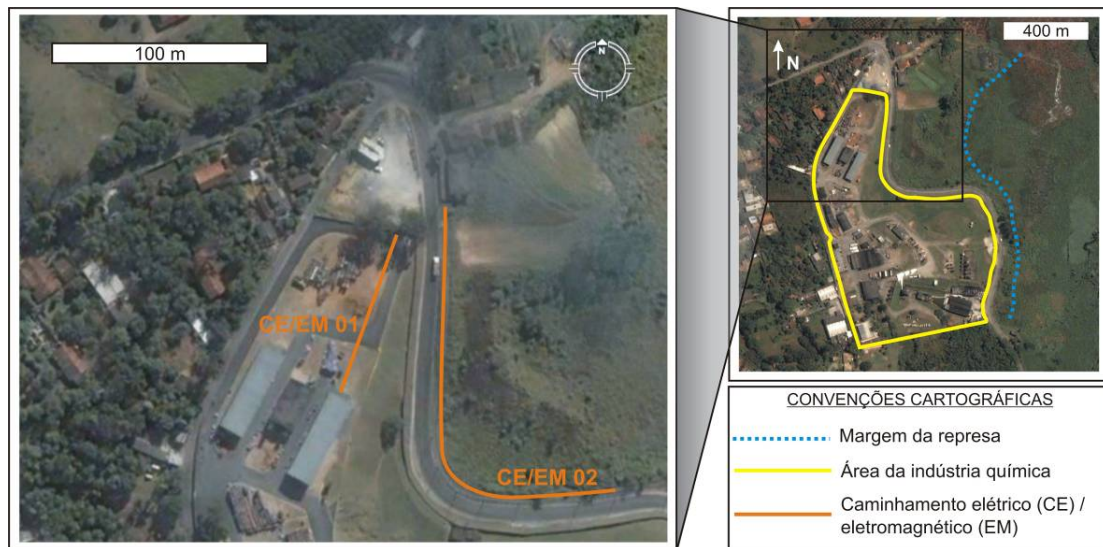


Figura 2. Imagem mostrando a área da indústria química e o local onde foram realizados os levantamentos eletromagnéticos e de eletroresistividade.

Metodologia

O método da eletroresistividade consiste em aplicar uma corrente elétrica artificial no terreno através de dois eletrodos e medir o potencial elétrico gerado em outros dois eletrodos nas proximidades do fluxo de corrente, de maneira a determinar a resistividade aparente ou real em subsuperfície.

A propagação de corrente elétrica nos materiais ocorre através da condução eletrônica e eletrolítica. A condutividade eletrônica em solos e rochas pode ser devida à presença de minerais metálicos e grafita (condutores) em sua matriz, e a condutividade eletrolítica é devida ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras dos solos e rochas.

A condutividade é geralmente eletrolítica, pois apenas em casos específicos os minerais condutores ocorrem em rochas em quantidades suficientes para aumentar sua condutividade global. A condução eletrolítica ocorre nos espaços entre os poros, nas superfícies dos grãos, fraturas, falhas e diques.

A resistividade dos solos e rochas que possuem condutividade eletrolítica é afetada fundamentalmente pela composição mineralógica, porosidade, e principalmente o teor em água e a quantidade e natureza dos sais dissolvidos. O aumento do teor de umidade e da quantidade de sais dissolvidos leva a uma diminuição dos valores de resistividade.

Um bom meio para caracterizar uma zona contaminada é através da resistividade elétrica do solo. Hidrocarbonetos em geral têm resistividades muito maiores que da água, assim sendo, a pluma de contaminação pode ser detectada por anomalias de alta resistividade (Vega, et.al., 2003).

A técnica de aquisição de dados utilizada neste trabalho foi o caminhamento elétrico. Os dados foram coletados com o resistivímetro francês de marca *Iris*, modelo *Syscal R2*, que consiste de um conversor de voltagem e um sistema de emissão e recepção montados em uma única unidade, investigando cinco níveis teóricos. Utilizou-se o arranjo dipolo-dipolo com espaçamento de 5 (CE 01) e 10 (CE02) metros entre os dipolos.

Para minimizar a contaminação dos dados pelo ruído gerado pela polarização de eletrodo, foram utilizados dois eletrodos metálicos como eletrodos de corrente, e eletrodos não-polarizáveis como eletrodos de potencial. Os eletrodos não-polarizáveis consistem em um metal imerso em solução saturada de seu próprio sal, no caso o cobre (Cu) em sulfato de cobre (CuSO_4), dentro de um recipiente poroso que permite que a solução vazze lentamente e faça contato com o solo.

Para determinar o modelo de resistividade da subsuperfície, os dados foram submetidos a rotina de inversão por suavização pelo método dos mínimos quadrados.

A rotina de inversão pelo método dos mínimos quadrados de Gauss-Newton consiste na geração de um modelo de resistividade da subsuperfície. O modelo é automaticamente ajustado através de um processo iterativo, tal que a resposta do modelo converge para os dados medidos. O ajuste do modelo de resistividade criado é dado por um valor residual. Esse valor é uma comparação entre a resistividade aparente medida e a resistividade aparente calculada como resposta do modelo invertido.

O método eletromagnético indutivo envolve a medida de uma ou mais componentes induzidas dos campos, magnético ou elétrico, na subsuperfície, por um campo

magnético artificial de corrente alternada (Borges, 2007) e determina a condutividade elétrica dos materiais em subsuperfície utilizando o princípio da indução eletromagnética de baixo número (Benson & Stubben, 1995).

A partir da década de 80 este método passou a ser extensamente aplicado em estudos de detecção e monitoramento da poluição gerada por resíduos industriais e urbanos (Benson et. al., 1982; Ellert et. al., 1990).

Através dos equipamentos EM-31, EM-34 e EM-38, que são individualizados pela frequência de operação, são realizadas medidas diretas da condutividade do terreno em profundidades teóricas pré-estabelecidas. Dessa forma, como na maioria dos casos a presença de poluentes causa um aumento na condutividade elétrica, esses podem ser rapidamente detectados e mapeados. De acordo com McNeil (1980), uma adição de 25 ppm de material na água subterrânea causa um aumento da condutividade em aproximadamente 1 mS/m. O método eletromagnético indutivo tem-se mostrado como uma ferramenta rápida e de baixo custo, para estudos de áreas com influência de contaminação.

O mais comum sistema eletromagnético, utilizado em investigações geofísicas de engenharia e ambiental, é o método de bobina dupla de fonte móvel (*moving-source dual-coil method*), (McNeill, 1980). Duas bobinas separadas, conectadas por um cabo de referência, fornecem a base do sistema. Uma bobina serve como um transmissor, para gerar um campo magnético primário e outra atua como um receptor que mede tanto o campo primário, quanto o campo secundário. Acoplada à bobina transmissora existe um módulo de controle e emissão de corrente elétrica MC, alimentado por uma bateria. À bobina receptora está acoplado um módulo de leitura ML. Os módulos são ligados por um cabo de referência CR. A separação entre as bobinas é mantida fixa e o par de bobinas é movido ao longo de um perfil, em intervalos discretos. O ponto de referência para a medida é, frequentemente, o centro entre as bobinas. Os sistemas de dupla bobina possuem inúmeras combinações de orientação de bobinas, entretanto somente duas configurações serão utilizadas neste trabalho: a vertical coplanar (dipolo magnético horizontal – DMH) e a horizontal coplanar (dipolo magnético vertical – DMV).

O equipamento utilizado neste trabalho é o EM-34, da Geonics. As frequências de operação do EM-34, bem como as profundidades de investigação, variam de acordo com a disposição e o espaçamento entre as bobinas. Neste trabalho, os dados foram coletados com os cabos de 10 e 20 m, investigando os níveis teóricos de 7,5, 15 e 30 m. Os dados de condutividade podem ser plotados em perfis, em função da distância, e um conjunto de perfis permite a confecção de mapas. A interpretação desses dados é qualitativa, porém existem, em desenvolvimento, softwares para quantificação desses dados. Para uma melhor visualização dos perfis, estes foram plotados em pseudo-seções de condutividade aparente, utilizando-se o software *Surfer 6.0*, da Golden Software.

Uma das principais limitações desta técnica é o ruído produzido pela interação do campo eletromagnético gerado pelo equipamento, com estruturas metálicas, fios de alta tensão tambores metálicos e outras estruturas (McNeill, 1980). Esta interação resulta em valores de condutividade aparente incoerentes, o que torna o uso desta técnica limitado em centros urbanos, instalações industriais, entre outros.

Resultados

Neste trabalho são apresentadas duas seções verticais do modelo de resistividade gerado pelo processo de inversão após cinco iterações e duas pseudo-seções verticais do modelo de condutividade aparente. Os perfis de resistividade e condutividade foram realizados nos mesmos locais (Figura 2), para que os dados de ambos pudessem ser analisados e comparados.

Nas pseudo-seções de condutividade aparente as cores quentes (vermelho, violeta) indicam elevada condutividade, enquanto que as cores frias (verde, azul) indicam baixa condutividade. Nas seções de resistividade elétrica as cores quentes (vermelho, violeta) indicam baixa resistividade, enquanto que as cores frias (verde, azul) indicam alta resistividade.

A pseudo-seção de condutividade aparente EM 01 (200 m de comprimento, atingindo até 15 m de profundidade) apresenta valores elevados de condutividade aparente (acima de 30 mS/m) em todo perfil, como pode ser observado na figura 3. Nota-se que condutividades mais elevadas (acima de 70 mS/m) predominam a partir dos 110 m, até o final do perfil..

Na seção CE 01 (figura 4), uma anomalia fortemente resistiva é detectada pelos altos valores de resistividade (até 2.000 ohm.m) na porção que compreende desde os 40 aos 100 m do perfil e uma anomalia pouco resistiva é detectada a partir dos 110 m. Pode-se obter uma forte correlação desta seção com a pseudo-seção EM 01, que sofre um forte aumento da condutividade aparente exatamente em 110 metros.

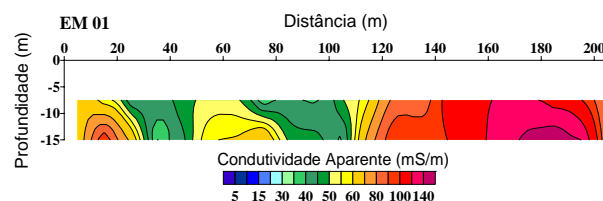


Figura 3. Pseudo-seção de condutividade aparente da linha de caminhada EM 01, adquirida com o cabo de 20 m.

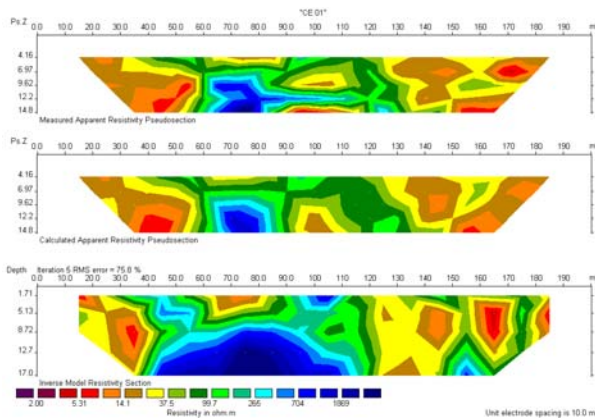


Figura 4. Seção de resistividade elétrica da linha CE 01 adquirida com o arranjo Dipolo-Dipolo.

A pseudo-seção de condutividade aparente EM 02 (80 m de comprimento, atingindo até 30 m de profundidade) apresenta valores elevados de condutividade aparente (acima de 30 mS/m) localizados em sua porção inicial (10 a 20 metros) e final (70 a 80 metros), como pode ser observado na figura 5. Baixos valores de condutividade aparente são observados na porção central e mais profunda da linha de caminhamento.

Na seção CE 02 (figura 6), uma anomalia fortemente resistiva é detectada pelos altos valores de resistividade (até 1.500 ohm.m) na porção central do perfil. Tanto a anomalia resistiva quanto as anomalias de baixa resistividade podem ser correlacionadas com aquelas vistas na pseudo-seção EM 02.

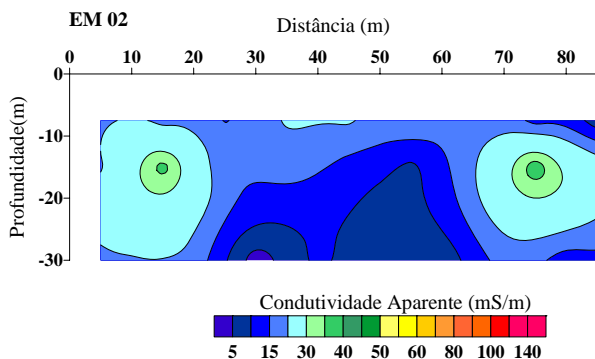


Figura 5. Pseudo-seção de condutividade aparente da linha de caminhamento EM 02, adquirida com o cabo de 10 e 20 m.

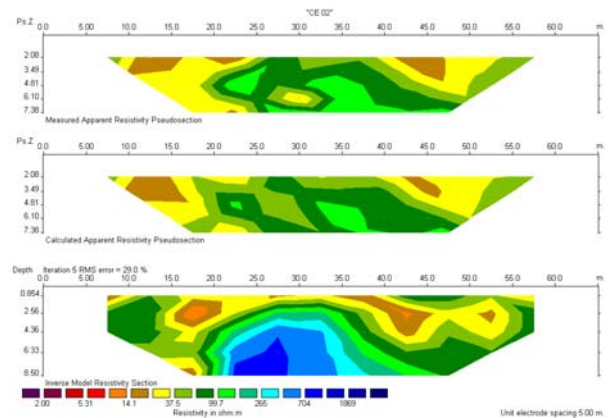


Figura 6. Seção de resistividade elétrica da linha CE 02 adquirida com o arranjo Dipolo-Dipolo.

Conclusões

Os modelos de resistividade e condutividade aparente obtidos sugerem que existe uma contaminação gerada pelos resíduos da indústria química, confirmada por dados de análises químicas realizadas nas águas dos poços de monitoramento no local do levantamento.

A metodologia utilizada nesse trabalho forneceu dados de resistividade e condutividade que puderam ser comparados e complementados.

As respostas geofísicas em meios impactados por contaminantes derivados de hidrocarbonetos apresentam anomalias tanto de elevada resistividade como de baixa resistividade. Esta aparente incongruência pode ser esclarecida por meio da correlação do tempo de residência dos contaminantes no solo e tempo de exposição a processos de degradação. Alguns trabalhos sugerem que a biodegradação de compostos pode mudar as propriedades geoquímicas do aquífero de forma acentuada, que podem chegar a alterações significativas em medidas de resistividade e na propagação de ondas eletromagnéticas (Sauck, 2000; Atekwana et al., 2000).

Segundo Atekwana et al. 2000, a resposta geofísica é bastante influenciada pelas diferentes fases dos hidrocarbonetos na subsuperfície, assim como pela evolução temporal e espacial da pluma de contaminação gerada. Portanto, a aplicação das técnicas geofísicas deve ser conduzida com um entendimento de como os processos que influenciam o comportamento do contaminante impactam a assinatura geofísica na área para os variados métodos geofísicos. Se as interpretações geofísicas puderem ser calibradas em relação a um modelo coerente baseado na combinação do entendimento geológico, geoquímico e biológico do sistema, então os resultados geofísicos serão muito mais valiosos.

Segundo Sauck (2000), contaminantes derivados de hidrocarbonetos, apresentam valores elevados de resistividade; entretanto, estes valores variam com o tempo, em função de reações com ácidos orgânicos ou ácidos carbônicos devido a biodegradação ou componentes do hidrocarboneto, tornando-os condutivos.

A degradação de contaminantes por ação de microorganismos, denominada biodegradação, é um dos principais mecanismos responsáveis pela degradação de contaminantes com longos períodos de residência no ambiente (EPA, 1993).

As anomalias de alta resistividade/baixa condutividade foram interpretadas como a presença de compostos contaminantes, tipicamente resistivos no solo; e as anomalias de baixa resistividade/alta condutividade apresentadas são possivelmente resultado de mudanças nas propriedades físicas do meio contaminado causadas pela biodegradação.

A técnica de aquisição mostrou-se eficiente no mapeamento da contaminação em estudos de áreas industriais e deve ser considerada na escolha da técnica de aquisição para o estudo destas áreas.

Referências

- Atekwana, E.A.; Sauck, W.A & Werkema, D.D.**, 2000. Investigations of geoelectrical signature at a hydrocarbon contaminated site. *Journal of Applied Geophysics*, 44: 167-180.
- Benson, R.C.; Glaccum, R.A. & Noel, M.R.** 1982. Geophysical techniques for sensing buried wastes and waste migration. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada, 236p.
- Benson, A.K. & Stubben, M.A.**, 1995. Interval resistivities and very low frequency electromagnetic induction - an aid to detecting groundwater contamination in space and time: A case study. *Environmental Geo-sciences*, 2: 74-84.
- Benson, A.K., Payne, K.L. & Stubben, M.A.**, 1997. Mapping ground-water contamination using dc resistivity and VLF geophysical methods - A case study. *Geophysics*, 62(1): 80-86.
- Borges, W.R.**, 2007. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, São Paulo, SP.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB**, 2001. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas no Estado de São Paulo / Dorothy C.P. Casarini [et al]. São Paulo, 73p.
- Ellert, N.; Greenhouse, J. & Willians, M.M.**, 1988. A geofísica no estudo da poluição da água subterrânea. *Revista Ambiente*, 2(2): 21-30.
- Ellert, N.; Ross, S.; Mendes, J.M.B. & Martin, E.** 1990. Mapeamento Geofísico do Lixão de São Carlos. Anais do VI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Porto Alegre-RS, pp. 82-88.
- EPA – Environmental Protection Agency.** 1993. Use of Airborne, Surface, and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites. Washington, chapter 1: 4-6.
- Goldstein, N.E.; Benson, S.M. & Alumbaugh D.** 1990. Saline Groundwater Plume Mapping with Electromagnetics. *Geotechnical and Environmental Geophysics, Investigations in Geophysics, S.E.G.*, vol. II, 5: 17-27.
- McNeill, J.**, 1980. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical Note TN - 6, p. 6 - 15.
- Redman, J.D.; DeRyck, S.M & Annan, A.P.**, 1994. Detection of LNAPL pools with GPR: Theoretical modeling and surveys of a controlled spill. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Ground Penetration Radar (GPR 94)*. Kitchener, Ontario, p. 1795-1294.
- Salles, F.A.F.** 1999., Avaliação de área contaminada por compostos orgânicos às margens da represa de Guarapiranga, no município de São Paulo – SP. 107p. Tese (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – SP.
- Salles, F.A.F.** 2005., Avaliação da eficiência de barreira reativa com ferro zero-valente na remediação de água subterrânea contaminada por compostos orgânicos clorados. 100 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – SP.
- Sauck, W.A.**, 1998. A conceptual model for the geoelectrical response of LNAPL Plumes in granulated sediments. *Proceedings of the Symposium on the Applications of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, Chicago, Illinois, 805-817.
- Sauck, W.A.**, 2000. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes an their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics* 44. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 151 – 165.
- Vega, M.L.; Osella, A. & Lascano, E.** 2003., Joint inversion of Wenner and dipole-dipole data to study a gasoline-contaminated soil. *Journal of Applied Geophysics* 54. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 97-109.