



Resultados de ensaios elétricos em uma área industrial contaminada e suas relações com ocorrência de biodegradação

Marina Minozzo* , IAG/USP, Brasil

Vagner Roberto Elis, IAG/USP, Brasil

*Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, 15-18 August, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th 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 Resistivity and IP 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

O atual desenvolvimento urbano e industrial tem levado a um aumento do uso de derivados de petróleo, proporcionando 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 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.

A utilização de técnicas geofísicas, na avaliação de áreas contaminadas, muitas vezes é questionada quanto aos seus resultados, uma vez que na literatura são reportados dois modelos geoeletricos correlacionando as anomalias geoeletricas ao contaminante. O modelo de "camada isolante", de Mazac *et. al.* (1980), considera a anomalia resistiva, e o "geoeletrico condutivo de pluma de *light nonaqueous-phase liquids* (LNAPLs)", de Sauck (2000), considera a anomalia condutiva.

Esta aparente contradição pode refletir processos de degradação associados ao tempo de residência dos contaminantes, por meio da geração de subprodutos que alteram as propriedades físicas do meio, principalmente pela dissolução mineral por ação de ácidos orgânicos e pela neoformação de minerais de óxidos e hidróxidos de ferro.

A partir de experimentos em escala reduzida, Braga & Cardinalli (2005) demonstraram o aumento da resistividade elétrica em sedimentos arenosos após a adição de gasolina. Durante o intervalo de seis meses houve gradativa redução da resistividade que culminou com valores mais condutivos do que no meio não contaminado.

Alguns trabalhos sugerem que a biodegradação de compostos pode mudar as propriedades geoquímicas do meio contaminado 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). Estudos em escala de laboratório sugerem que a biodegradação de LNAPL sob condições aeróbicas e anaeróbicas podem mudar de forma substancial as condições biogeoquímicas do aquífero impactado, resultando em reduções drásticas de resistividade elétrica (Cassidy, *et. al.*, 2001).

A eletroresistividade 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.

Este método, juntamente com a polarização induzida foi utilizado por Sodage, *et. al.* (2006) no mapeamento de uma pluma de contaminação gerada pelo vazamento de derivados de hidrocarbonetos, principalmente benzeno, ocorridos na década de 1970. Os dados de resistividade e IP obtidos concordaram com a distribuição da pluma detectada pelos poços.

Este trabalho apresenta a aplicação dos métodos eletroresistividade, polarização induzida e a sua

complementação com dados bacteriológicos diretos 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).

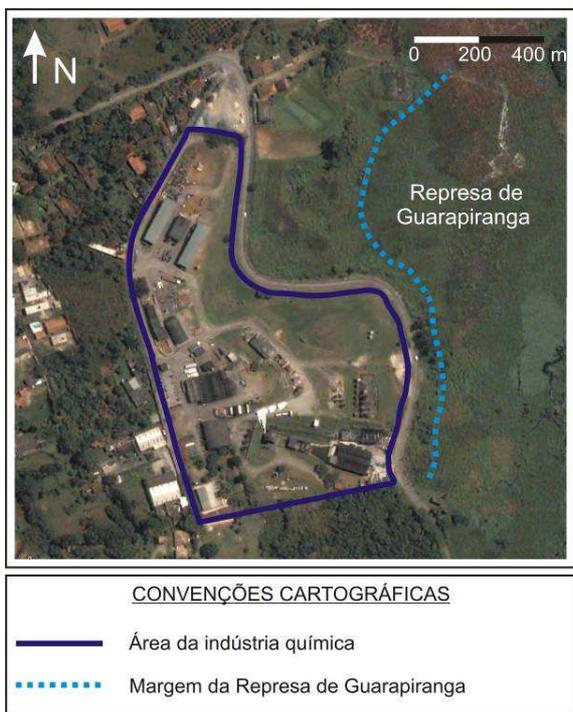


Figura 1. Área da indústria química alvo dos estudos

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. O manuseio ocasiona perdas acidentais de pequenos volumes que migraram 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 e o meio geológico local 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.

A potenciometria local 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 de eletrorresistividade e IP conforme ilustrado na Figura 2.

Metodologia

O método da eletrorresistividade 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.



Figura 2. Imagem mostrando a área da indústria química e o local onde foram realizados os perfis de resistividade e IP.

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 polarização induzida é um fenômeno elétrico estimulado por corrente elétrica observado como resposta retardada à voltagem, em materiais naturais (Sumner, 1976). Este método baseia-se na medição das variações de voltagem em função do tempo. Em alguns corpos que são atravessados por uma corrente elétrica, quando esta é interrompida, a diferença de potencial gerada não desaparece bruscamente, mas é atenuada gradualmente. Durante o tempo de fluxo original injetado, presume-se que alguma energia seja armazenada no material. O decaimento da voltagem no material, medido após esse fluxo, representa a volta do material para o seu estado natural após o distúrbio gerado pela corrente aplicada.

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 vaze lentamente e faça contato com o solo.

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 metros entre os dipolos.

Os equipamentos utilizados para a realização de ensaios de IP normalmente fazem simultaneamente as medidas de resistividade. Na hora da interpretação, dados de cargabilidade e resistividade são interpretados juntos, utilizando-se os mesmos softwares. A interpretação conjunta IP/resistividade busca refinar a resposta geofísica frente ao problema geológico, diminuindo a ambigüidade.

Para determinar o modelo de resistividade e IP da subsuperfície, os dados foram submetidos a rotina de inversão por suavização pelo método dos mínimos quadrados, método implementado no software RES2DINV (Geotomo Software, 2003).

Resultados

Neste trabalho são apresentadas quatro seções verticais do modelo de resistividade elétrica e cargabilidade. Através da análise destas seções foram selecionados os locais para a coleta das amostras de solo e realização das análises bacteriológicas. Os furos de sondagem ficaram então concentrados nas regiões que mostraram as principais anomalias de resistividade e cargabilidade. Os resultados destas análises servirão para correlacionar uma possível biodegradação em regiões com alterações significativas nas medidas de resistividade e cargabilidade.

Os furos de sondagem atingiram a profundidade de 4 (quatro) metros e foram coletadas amostras a cada metro perfurado.

A seção de resistividade elétrica da linha de caminhamento elétrico CE 01 (Figura 3), apresenta baixos valores de resistividade elétrica ($< 26.1 \Omega.m$) em sua parte mais superficial, entre 10 e 15 metros e entre 25 e 50 metros de distância. Valores com resistividade mais alta ($> 34.5 \Omega.m$) são observados na parte mais profunda da seção entre as distâncias de 20 e 35 metros e também entre as distâncias de 50 e 57 metros.

Em sua seção de cargabilidade (Figura 3) visualiza-se uma porção com cargabilidade alta ($> 40.8 \text{ msec}$) localizada entre as distâncias de 30 e 37 metros.

Sobre o caminhamento elétrico CE 01 foram realizadas 2 (duas) sondagens: SD-01 (na distância de 33 metros) e SD-06 (na distância de 20 metros), como pode ser visualizado na Figura 3. Ambas as amostras em todas as profundidades não apresentaram unidades formadoras de colônias (UFC).

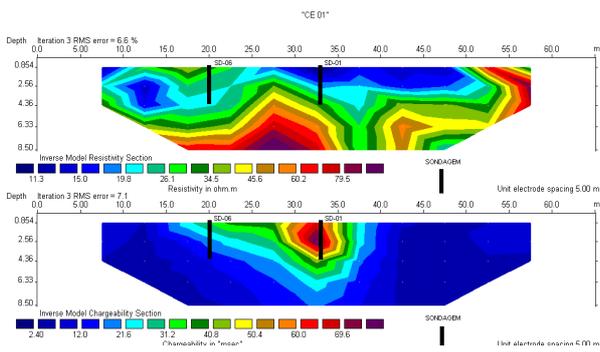


Figura 3 – Seção de resistividade elétrica e cargabilidade da linha CE 01 e a indicação dos locais onde foram feitas as sondagens e coletadas as amostras SD-01 e SD-06

Através da descrição do solo realizada em campo foram observadas as principais propriedades organolépticas das amostras, onde ficou evidenciado o forte cheiro de solvente, assim como a coloração amarela e branca do solo e textura com aspecto oleoso. Neste local foram encontrados diversos produtos e o mesmo pode ser considerado um pequeno depósito com resíduos diversos (inorgânicos – latas, metais, tecidos, entre outros) e com elevadas concentrações de contaminantes orgânicos (restos de tintas e solventes).

Na seção de resistividade elétrica da linha de caminhamento elétrico CE 02 (Figura 4), são observados baixos valores de resistividade elétrica (< 27.2 Ω.m) principalmente entre as distâncias entre 45 e 50 metros, entre 30 e 42 metros. Entre 50 e 57 metros predominam valores de resistividade elétrica mais altos (> 57.2 Ω.m).

No processo de inversão por mínimos quadrados, que é utilizado pelo RES2Dinv, o erro RMS é utilizado para avaliar o momento de parar com o processo de inversão, ou seja, o momento a partir do qual o modelo não converge mais.

O cálculo do erro envolve a comparação, para um dado ponto, entre a resistividade aparente observada e o valor calculado.

Normalmente, quando a diferença entre os erros para duas iterações sucessivas fica muito pequeno (menor que 5%, por exemplo, que é o limite padrão usado pelo software) a convergência do modelo é muito baixa, e assume-se este modelo como o melhor obtido. A comparação visual entre as pseudo-seções de resistividade observada e calculada possibilitam avaliar a qualidade do modelo obtido. Nem sempre um valor de erro aparentemente considerado alto (por exemplo, RMS de 30%) significa um ajuste ruim. Isso é especialmente importante em locais com materiais de baixas resistividades, como áreas de disposição de resíduos, onde um valor absoluto de erro unitário de 2 ohm.m pode significar um erro percentual alto. Por exemplo, se tem-se valores de resistividade por volta de 5 ohm.m, esse erro seria de 40%. Por outro lado, em um local resistivo, por exemplo 1000 ohm.m, um erro unitário absoluto de 50 ohm.m significa apenas 5% de erro.

A seção de cargabilidade (Figura 4) apresenta uma porção com baixos valores de cargabilidade (> 1.97 msec) entre as distâncias de 50 e 57 metros. Cargabilidades ainda mais baixas (< 1.00 msec) podem ser observados nas demais porções da seção, principalmente entre 35 e 40 metros.

Neste caso, baixos valores de resistividade (< 27 Ω.m) associados aos baixos valores de cargabilidade (< 2 msec) observados na seção, sugerem contaminação do meio.

Sobre o caminhamento elétrico CE 02 foi realizada a sondagem SD-02 (na distância de 37 metros) como pode ser visualizado na Figura 4. Suas amostras não apresentaram unidades formadoras de colônias em nenhuma profundidade.

Através da descrição do solo realizada em campo, ficou evidenciado o forte cheiro de solvente e tinta, assim como a coloração rosa do solo.

Na seção de resistividade elétrica da linha de caminhamento elétrico CE 03 (Figura 5), observa-se duas feições principais: baixa resistividade elétrica (< 130 Ω.m) desde 15 até os 33 metros e também em sua parte mais profunda; e alta resistividade (> 688 Ω.m) dos 33 metros de distância até o término da seção.

Na seção de cargabilidade (Figura 5), observa-se também duas feições principais: baixos valores de cargabilidade (< 4.0 msec) entre as distâncias de 10 e 35 metros; e altos valores de cargabilidade (> 12.9 msec) nas demais porções da seção.

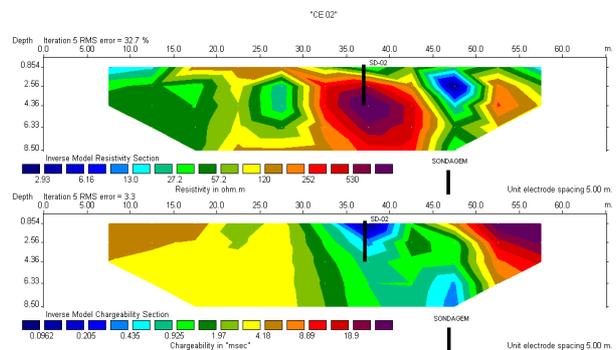


Figura 4 - Seção de resistividade elétrica e cargabilidade da linha CE 02 e a indicação do local onde foi feita a sondagem SD-02.

A sondagem SD-03 foi realizada com o objetivo de correlacionar a anomalia de baixa resistividade com a possível ocorrência de biodegradação inerente. As amostras foram coletada no ponto SD-03 (20 metros na seção) como pode ser visualizado na Figura 5.

Os resultados analíticos da amostra SD-03 são mostrados na Tabela 1, e de fato, em todas as profundidades as amostras apresentaram unidades formadoras de colônias.

A seção de resistividade elétrica da linha de caminhamento elétrico CE 04 (Figura 6), apresenta baixa resistividade elétrica (< 130 Ω.m) em sua porção mais superficial, abrangendo também sua parte mais profunda desde o início da seção até os 35 metros. Alta

resistividade ($> 688 \Omega.m$) é vista desde os 35 metros (da intermediária à profunda), e também no final do perfil (70 metros).

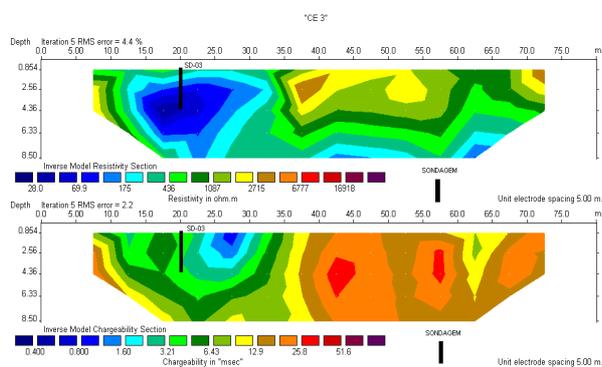


Figura 5 - Seção de resistividade elétrica e cargabilidade da linha CE 03, indicando o local onde foi feita a sondagem SD-03 e coletadas as amostras.

Tabela 1 - Resultados analíticos da amostra SD-03, coletada sobre o caminhamento elétrico CE 03, na distância de 20 metros.

Amostra	UFC/g	Amostra	UFC/g
SD-03 (1m)	$3,85 \times 10^5$	SD-03 (3m)	$0,106 \times 10^5$
SD-03 (2m)	$0,078 \times 10^5$	SD-03 (4m)	$0,087 \times 10^5$

Em sua seção de cargabilidade (Figura 6), observa-se uma porção com baixos valores de cargabilidade (< 4.0 msec) entre as distâncias de 15 e 35 metros. Altos valores de cargabilidade (> 12.9 msec) são observados nas demais porções da seção.

A sondagem SD-04, realizada na distância de 37 metros (um local com altas resistividades), é visualizada na Figura 6. Os resultados analíticos da amostra SD-04 são mostrados na Tabela 2. Apesar de bactérias terem sido encontradas em até 1 metro de profundidade, sua quantidade foi inferior a quantidade encontrada em qualquer uma das amostras da anomalia condutora da linha CE-03. Esses resultados eram esperados, devido à alta resistividade medida para essa zona.

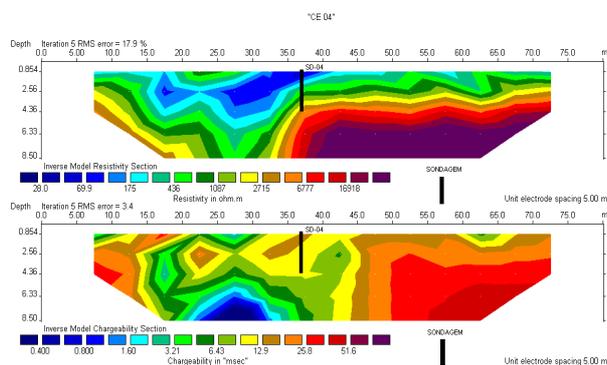


Figura 6 - Seção de resistividade elétrica e cargabilidade da linha CE 04, indicando o local onde foi feita a sondagem SD-04 e coletadas as amostras.

Tabela 2 - Resultados analíticos da amostra SD-04, coletada sobre o caminhamento elétrico CE 04, na distância de 37 metros.

Amostra	UFC/g	Amostra	UFC/g
SD-04 (1m)	$0,003 \times 10^5$	SD-04 (3m)	0
SD-04 (2m)	0	SD-04 (4m)	0

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, IP e dados diretos 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 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 dos 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 resistividade e cargabilidade vistas nas seções CE 01 e CE 02 podem ser interpretadas como produto da grande quantidade de metal e de outros resíduos inorgânicos encontrados na área. Assim, sugere-se que as anomalias de baixa resistividade ($< 26.1 \Omega.m$) e alta cargabilidade ($> 40,8$ msec) podem ser resultado da presença de materiais polarizáveis (metais) na área, e as anomalias de alta resistividade ($> 57,2 \Omega.m$) e baixa cargabilidade (< 1.0 msec) podem ser resultado da presença do contaminante bruto (sedimento impregnado por tinta pura, tipicamente resistiva). Sugere-se através destes fatores que esta região apresenta uma contaminação temporalmente mais recente.

As anomalias condutivas observadas nas seções CE 03 e CE 04 sugerem uma contaminação cronologicamente mais antiga. Assim, as anomalias de baixa resistividade ($< 130 \Omega.m$) associadas a anomalias de baixa cargabilidade (< 4 msec) sugerem que o resíduo tornou-se menos resistivo ao longo do tempo devido ao processo de biodegradação.

Nas sondagens SD-01 e SD-02 não foram encontradas unidades formadoras de colônias em nenhuma profundidade. Através da descrição do solo realizada em campo ficou comprovada a presença de contaminante bruto e metais nestes locais.

O fato de não ocorrer bactérias nesta área está de acordo com o efeito previsto por Moreira & Dourado (2005), onde o processo de bioremediação pode ficar limitado às zonas periféricas da pluma de contaminação, pois a presença de contaminante em elevadas concentrações pode tornar o ambiente hostil à proliferação de microorganismos (Wilson & Jones, 1993; Rabus & Heider, 1998).

Em todas as profundidades da sondagem SD-03 as amostras apresentaram unidades formadoras de colônias, assim como na sondagem SD-04, na profundidade de até 1 metro, porém esta em menor quantidade. Esses resultados eram esperados, devido à maior resistividade medida para essa zona. Nestes casos a atividade bacteriana ocorre em locais de contaminação antiga (sondagens SD-03 e SD-04).

A contaminação existente foi identificada pelos ensaios geofísicos e confirmada pelas análises químicas da água subterrânea (realizadas anteriormente a este trabalho) e pelos resultados das análises bacteriológicas. A associação dos dados elétricos com os dados obtidos através das investigações diretas forneceu informações quanto ao comportamento e localização espacial e temporal da contaminação.

É importante lembrar que a integração dos dados geofísicos aos dados de investigações diretas existentes no local foram imprescindíveis para ajustar e refinar os modelos obtidos.

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.
- Braga, A.C.O. & Cardinali, M.T.** 2005. Aplicação da resistividade e cargaabilidade em estudos de contaminação de sedimentos por derivados de Hidrocarbonetos. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 23(2): 181-190.
- Cassidy, D.P.; Werkema, D.D. Jr.; Sauck, W.; Atekwana, E.; Roszbach, S. & Duris, J.**, 2001. The Effects of LNAPL Biodegradation Products on Electrical Conductivity Measurements. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, Vol. 6(1): 47-52.
- 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.
- EPA – Environmental Protection Agency.**, 1993. Use of Airborne, Surface, and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites. Washington, chapter 1: 4-6.
- Geotomo Software.** RES2DINV, version 3.53., 2003. Rapid 2D resistivity & Ip inversion using the least-square method – Geoelectrical Imaging 2-D & 3-D, Geotomo Software, Penang, Malaysia. 129 p.
- Mazác, O.; Landa, I.; Kolinger, 1980.**A. The Feasibility of a Hydrogeological Variant of the mise-a-la-masse method: An analysis. *Journal of Geological Sciences, Hydrogeology and Engineering Geology*, 14, p.147 – 177.
- Moreira, C.A. & Dourado, J.C.**, 2005. Análise de contaminantes de fase líquida não aquosa (NAPLs) por aplicação do método eletromagnético indutivo (EM). *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, Vol. 23 (3): 213-220.
- Rabus, R. & Heider, J.**, 1998. Initial reactions of anaerobic metabolism of alkylbenzenes in denitrifying and sulfate-reducing bacteria. *Archives of Microbiology*, 170: 377-384.
- 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.**, 2000. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics* 44. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 151 – 165.
- Sodage, J. A.; Scira-Scappuzzo, F.; Vichabian, Y.; Shi, W.; Rodi, W.; Lesmes, D. P. Morgan, F. D.**, 2006. Induced-polarization detection and mapping of contaminant plumes. *Geophysics*, 71, pp B75-B84.
- Sumner, J.S.** 1976. Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 227p.
- 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.
- Wilson, S.C. & Jones, K.C.**, 1993. Bioremediation of soils contaminated with Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs): a review. *Environmental Pollution*, 81: 229-249.