



Monitoramento temporal de contaminação por chorume usando métodos geoeletricos.

José Ricardo Melges Bortolin, Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE/UNESP, Brasil.

Walter Malagutti Filho, Departamento de Geologia Aplicada, IGCE/UNESP, Brasil.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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 describes a temporal monitoring of the contamination plume from the controlled landfill of Rio Claro (SP), through the resistivity method, comparing 2D Electrical Profiling dipole - dipole results, carried out in 1999 and 2008. The leachates produced on the landfill diminish the electrical resistivity of the natural ambient, characterizing the contamination. Thus, zones of low resistivity, with values smaller or same a 50 ohm.m, had been associates to the contamination for landfill wastewater. The joint interpretation of the sections of apparent resistivity allowed to identify alterations of the dimensions of the contamination plume in elapsing of the years. Governed by the main and secondary flows, the contamination plume advanced in direction to the limits west and soul of controlled landfill. Complementarily, Vertical Electrical Soundings had allowed verifying the depth and the direction of the underground water flow, and to characterize geo-electrically the lithology on which is seated the controlled landfill: predominantly sandy and silty sediments.

Introdução

No Brasil, são produzidas anualmente quase 60 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos; destas, 47,1% dos resíduos coletados são dispostos em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e 30,5% em lixões (IBGE, 2002). Assim, é comum encontrar lixões e aterros controlados que apresentem algum grau de contaminação de solos e águas subterrâneas por chorume. Por isso, órgãos públicos e instituições de pesquisa têm voltado sua atenção a esses casos, no sentido de diagnosticar e avaliar os impactos ambientais gerados (Moura e Malagutti Filho, 2003).

Diante desse cenário, surgem os métodos geofísicos de investigação como uma eficiente e importante ferramenta para o estudo do meio natural, com a vantagem da versatilidade de aplicações, precisão dos resultados e rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor (CETESB, 1999), frente aos tradicionais métodos de investigação, como as sondagens e os poços de monitoramento.

Ao longo dos anos, os métodos geofísicos, em especial o método da eletrorresistividade (ER), têm-se mostrado eficientes na avaliação e caracterização de problemas ambientais, e amplamente utilizados na investigação e monitoramento de poluição subterrânea; além disso, são de

natureza não invasiva, o que significa que, *a priori*, não alteram o meio físico (Bortolin, 2009).

Revisão da literatura

Inúmeros trabalhos podem ser encontrados na literatura científica, relatando a utilização do método da ER, aplicado com as técnicas do Imageamento Elétrico (IE) e da Sondagem Elétrica Vertical (SEV), em estudos de contaminação ambiental em áreas de disposição de resíduos: na pré-operação do Aterro Metropolitano Centro, na cidade de Salvador (BA) (Cavalcanti, Sato e Lima, 2001), nos lixões de Cuiabá (MT) (Shiraiwa et al, 2002) e Ribeirão Preto (SP) (Silva et al, 2002), nos aterros controlados de Rio Claro (SP) (Moura e Malagutti Filho, 2003) e Piracicaba (SP) (Moura e Malagutti Filho, 2007), e no aterro sanitário de Bauru (SP) (Lago, Elis e Giacheti, 2006).

Entretanto, são escassas as obras que abordam o monitoramento de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos utilizando métodos geofísicos, sendo exemplos dessa metodologia os trabalhos desenvolvidos em uma área do distrito industrial no município de Araras (SP) (Moreira e Dourado, 2007; Moreira, Aquino e Dourado 2007; Moreira e Braga, 2009a) e, mais especificamente, os trabalhos desenvolvidos no aterro controlado de Cordeirópolis (SP) (Moreira, 2009; Moreira e Braga, 2009b), onde foram aplicados os métodos da ER, da polarização induzida (IP) e do potencial espontâneo (SP).

Assim, a proposta do presente trabalho é apresentar os resultados obtidos com a utilização do método da ER no monitoramento da contaminação em subsuperfície do aterro controlado de Rio Claro, Estado de São Paulo, Brasil, entre os anos de 1999 (Moura, 2002) e 2008 (Bortolin, 2009).

Localização e descrição da área de estudos

O aterro controlado de Rio Claro (SP) localiza-se ao sul do município, às margens da Rodovia Fausto Santomauro (SP 127), a qual interliga os municípios de Rio Claro e Piracicaba, na altura do km 3 da faixa de sentido Rio Claro-Piracicaba, e possui uma área de 44.242,16m² (Tandel, 1998).

Esse local teve origem no ano de 1982, como um lixão instalado numa antiga voçoroca, e foi concebido para receber resíduos de origem dos serviços de limpeza pública do município. Entre 1988 e 1992, sob o gerenciamento da empresa SPA – Sistemas de Proteção Ambiental Ltda., o antigo lixão foi transformado em aterro controlado.

Os resíduos eram dispostos em células de 4m de altura, em média, e recobertos com uma camada de material de cobertura com cerca de 0,5m e compactado por trator de esteira, com densidade final de compactação em torno de 600 kg/m³ (Braz e Silva, 2003). Segundo estudos (Tandel, 1998), a quantidade gerada de chorume era de, no máximo, 42 litros por hora na época das chuvas, chegando a zero na seca. A

base do aterro não recebeu nenhum tipo de impermeabilização, sendo os valores do coeficiente de permeabilidade nunca superiores a 10^{-6} cm/s.

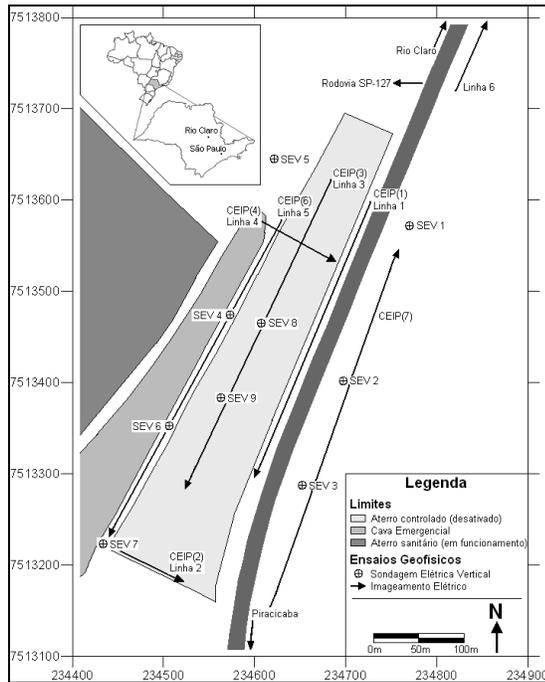


Figura 1: Localização da área, indicando a posição dos ensaios geofísicos (modificado de Base Aerofotogrametria e Projetos S.A., 2006).

As atividades no aterro foram encerradas em setembro de 1997 e, em caráter emergencial, utilizou-se uma área contígua (Figura 1). Após o término das operações, todo o aterro foi coberto com uma camada de solo de, aproximadamente, 0,5m. No entorno do aterro verifica-se o domínio de lavouras de cana-de-açúcar, destinadas a atender a agroindústria do açúcar e do álcool.

Contexto geológico

Em termos geológicos, a cidade de Rio Claro (SP) está situada no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica. De acordo com Cottas (1983) e Zaine (1994), as unidades litoestratigráficas que afloram na região do aterro são:

- **Fm. Corumbataí:** constituída por argilitos, siltitos e folhelhos, com intercalações de arenitos de granulometria fina, leitos carbonáticos e coquinas até o topo da formação. Sua espessura na região de Rio Claro (SP) não ultrapassa os 130m;

- **Fm. Rio Claro:** assentada discordantemente sobre rochas da Fm. Corumbataí. Apresenta fraca litificação e profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso (8 a 12m) e arenitos, variando de areia fina a grossa, intercaladas com camadas de conglomerados e de sedimentos argilosos. Possui espessura média entre 25 e 30m, e máxima de 40m.

A base do aterro encontra-se na Fm. Rio Claro e a cava de resíduos apresenta forma de vale.

Metodologia

No ano de 1999 (Moura, 2002), uma série de ensaios geofísicos foi executada na referida área empregando o método da eletrorresistividade. Em 2008 (Bortolin, 2009), novos ensaios foram executados de forma análoga e nos mesmos locais determinados anteriormente (Figura 1), e os resultados obtidos nos diferentes anos foram comparados entre si, de modo que se determinou a evolução temporal da pluma de contaminação sob o aterro.

Método da eletrorresistividade

Este método é baseado no fato de que diferentes materiais, geológicos ou não, apresentam diferentes valores de resistividade elétrica. A resistividade elétrica (ρ) é uma das propriedades fundamentais dos diferentes materiais geológicos, a qual se relaciona à dificuldade encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio e serve para caracterizar seus estados, em termos de alteração, fraturamento, saturação, e interpretação de litotipos, sem a necessidade de escavações físicas, que encarecem e prolongam o cronograma de execução da pesquisa (Braga, 1997).

Em linhas gerais, a resistividade elétrica em um meio geológico pode ser calculada através da Equação (1) (Zonge et al, 2005):

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \tag{Equação (1)}$$

onde a unidade de medida de ρ é o *ohm.m*, I é a corrente elétrica injetada no solo (dada em *ampères*) através dos eletrodos de corrente **A** e **B**, ΔV representa o potencial medido (em *volts*) entre os eletrodos **M** e **N**, e K é chamado de fator geométrico (expresso em *m*) e depende da distância entre os eletrodos.

Técnica da Sondagem Elétrica Vertical

Consiste na investigação da variação de um parâmetro físico – no caso, a resistividade elétrica – em profundidade, a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno (Bortolin, 2009). O arranjo utilizado foi o Schlumberger, conforme a Figura 2.

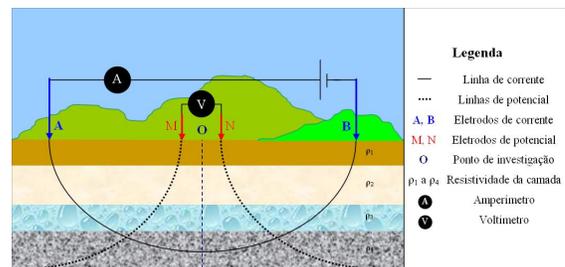


Figura 2: Técnica da Sondagem Elétrica Vertical com arranjo Schlumberger (Bortolin, 2009).

Neste arranjo, a distância entre os eletrodos de corrente **A** e **B** deve ser 5 (cinco) vezes maior, ou igual, à distância entre os eletrodos de potencial **M** e **N**, ($MN \leq AB/5$) e o coeficiente geométrico K_s , para o arranjo Schlumberger é dado pela Equação (2):

$$K_s = \pi \frac{(AM \cdot AN)}{MN} \quad \text{Equação (2)}$$

onde AM , AN e MN representam, respectivamente, as distâncias entre os eletrodos **A** e **M**, **A** e **N**, e **M** e **N**.

A aquisição dos dados foi feita utilizando-se um resistivímetro BISON 2390. O máximo espaçamento $AB/2$ empregado foi de 100m nas SEV dentro do aterro e de 150m nas SEV fora do aterro, totalizando 9 ensaios. Os dados foram processados no *software* Interpex IX1D, versão 2.17 (Interpex Limited, 2008).

As SEV foram distribuídas de modo a estabelecer uma malha otimizada, de espaçamento aproximadamente regular, sem a preocupação demasiada de coincidi-las com os ensaios anteriores, pois serviram de base para a interpretação dos resultados dos IE e para a elaboração do mapa potenciométrico da área.

Técnica do Imageamento Elétrico

Trata-se da obtenção de valores de um parâmetro físico – novamente, a resistividade elétrica –, a partir da superfície terrestre e ao longo de uma seção, e na interpretação da sua variação horizontal a uma ou mais profundidades determinadas (Bortolin, 2009). O arranjo utilizado foi o Dipolo-Dipolo com 5 níveis de investigação (Figura 3).

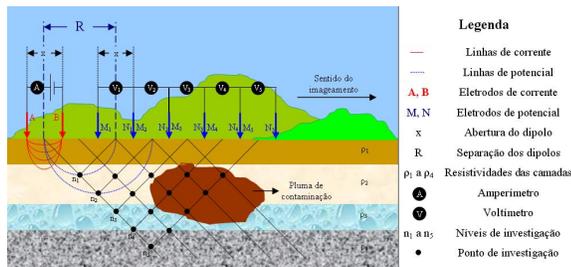


Figura 3: Técnica do Imageamento Elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo (Bortolin, 2009).

Nesse arranjo, os eletrodos de corrente **A** e **B**, e os eletrodos de potencial **M** e **N** são dispostos sobre uma mesma linha reta imaginária e o espaçamento entre os eletrodos obedece à relação $x=AB=MN$. A profundidade teórica de investigação (Z) aumenta conforme a distância de separação dos eletrodos de potencial e de corrente (R), e é dada por $Z=R/2$. Os pontos de investigação são determinados traçando-se segmentos de reta, partindo do centro geométrico de **AB** e **MN**, com inclinação de 45° em relação à superfície, de modo que se encontrem em certa profundidade.

O fator geométrico (K) para o arranjo Dipolo-Dipolo é dado pela Equação (3):

$$K_{DD} = 2\pi x \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)} \quad \text{Equação (3)}$$

Na Equação (4), o coeficiente n representa o nível de investigação e pode assumir somente valores inteiros, isto é, $n=1,2,3,\dots$

Foram executadas 6 linhas de IE, com extensões que variaram entre 90m e 420m. A aquisição dos dados no ano de 1999 foi feita utilizando-se um resistivímetro SCINTREX IPR-12 e, em 2008, com um resistivímetro ABEM TERRAMETER SAS 4000 e um resistivímetro BISON 2390.

Os dados dos IE executados em 1999 e em 2008 foram processados com o *software* Res2dinv v.3.4 (Geotomo Software, 2002), utilizando o mesmo tipo de processamento para todas as seções, as quais foram comparadas qualitativa e quantitativamente entre si, possibilitando traçar uma linha evolutiva da pluma de contaminação presente na área.

Resultados

Sondagens Elétricas Verticais

Com a finalidade de subsidiar a interpretação dos resultados dos IE, foram executadas 9 SEV (Figuras 1 e 4), sendo 7 externas e 2 internas ao aterro.

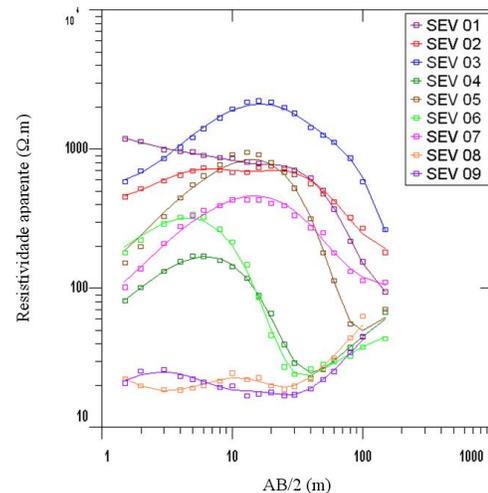


Figura 4: Curvas de campo agrupadas das nove SEV.

A interpretação das curvas da Figura 4 indicou que a base do aterro encontra-se na Fm. Rio Claro, norteada por valores de resistividade entre $1760\Omega.m$ e $3250\Omega.m$, típicos de sedimentos arenosos, corroborando trabalhos anteriores (Tandel, 1998; Moura, 2002).

As SEV 01, 02 e 03 (exteriores ao aterro – Figura 1) permitiram detectar uma camada de sedimentos argilosos, intercalada aos sedimentos arenosos da Fm. Rio Claro, ocorrendo entre as cotas 560m e 578m. É possível que essa camada apresente continuidade lateral, estendendo-se em direção à cava de resíduos e atuando como impermeabilizante natural da base do aterro, que se encontra, aproximadamente, entre as cotas 566m e 574m.

Porém, na interpretação das SEV 08 e 09 (executadas sobre a cava de resíduos), não foi possível distinguir geoelectricamente a camada argilosa dos resíduos, já que ambos os materiais podem apresentar a mesma faixa de variação de resistividade elétrica: $\leq 20\Omega.m$ (Braga, 1997).

Ainda por meio da interpretação das SEV, foi possível gerar o mapa potenciométrico da área de estudos (Figura 5) e identificar que o nível freático, no período da estiagem, está situado entre 9,10m e 14,80m e tem sentido de fluxo para Sudeste (SE).

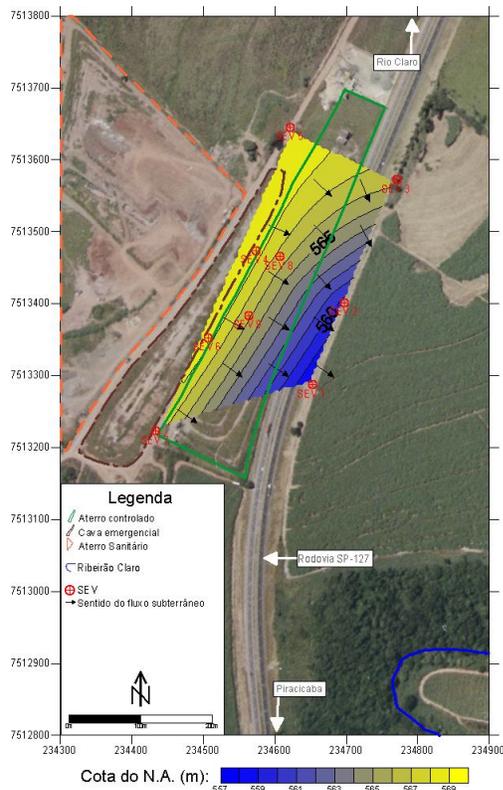


Figura 5: Mapa potenciométrico da área de estudos, indicando o sentido do fluxo para sudeste.

Imageamentos Elétricos (Monitoramento Temporal)

A princípio, é possível identificar distintas zonas de resistividade, em todas as seções, distribuídas tanto em profundidade quanto em extensão lateral e exibindo grande variação de valores – desde 0,3 Ω .m a 30.000 Ω .m.

Apesar de executados em locais diferentes, os ensaios CEIP(7) (Figura 6) e Linha 6 (Figura 7), adotados como referências em 1999 e 2008, respectivamente, apresentam o mesmo valor limite de *background* da área: 140 Ω .m. Assim, valores de resistividade abaixo desse limite indicam provável contaminação por chorume.

Tanto a seção do ensaio CEIP(1) (Figura 6) quanto a da Linha 1 (Figura 7) apresentam zonas de baixa resistividade ($\leq 50\Omega$.m), porém em diferentes locais da seção. Em ambos os casos, foram interpretadas como sedimentos arenosos da Fm. Rio Claro contaminados pelo percolado. As diferenças verificadas na localização dessas zonas podem sugerir o transporte do percolado pelo lençol freático para a direção SO. No extremo esquerdo da seção da Linha 1 (Figura 7) verifica-se um incremento nos valores de resistividade, podendo indicar uma tendência de recuperação natural da área antes contaminada.

A seção do ensaio CEIP(2) (Figura 6) exibe um ambiente isento de contaminação, já que, em 1999, não haviam

resíduos dispostos próximos ao local onde foi executado o referido ensaio. As pequenas zonas de baixa resistividade ($\leq 50\Omega$.m), nesse contexto, podem indicar o nível freático. Porém, a seção da Linha 2 (Figura 7) exibe dois cenários distintos: resistividades $\leq 50\Omega$.m indicam a presença de materiais contaminados por chorume e sugerem um fluxo de contaminantes em direção ao sul; resistividades acima de 140 Ω .m representam os sedimentos predominantemente arenosos da Fm. Rio Claro isentos de contaminação (parede lateral da cava de resíduos).

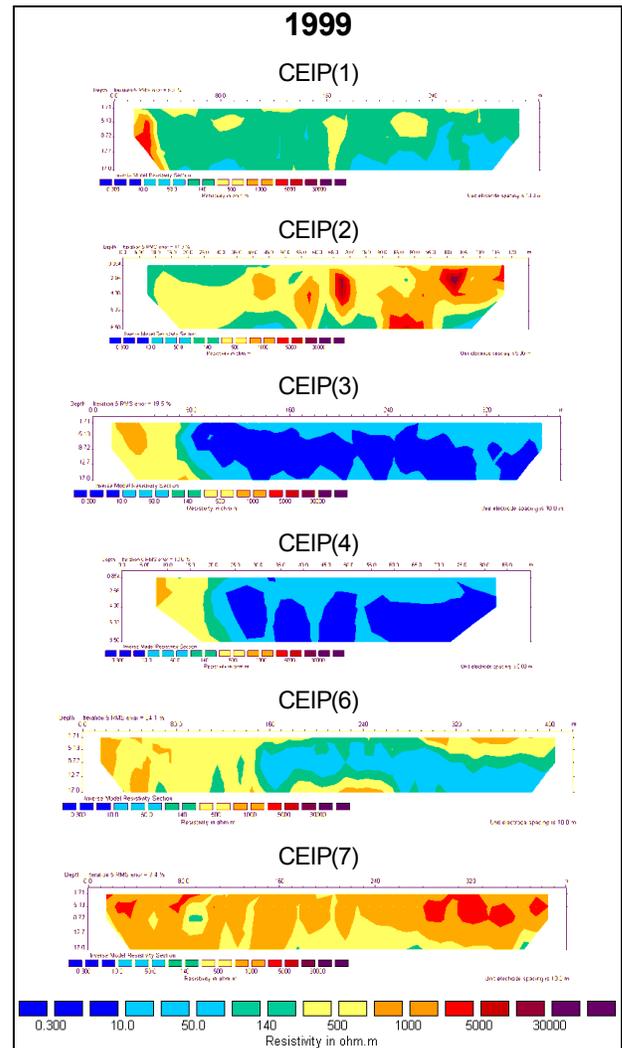


Figura 6: Seções de resistividade dos IE de 1999.

Ambos os ensaios CEIP(3) (Figura 6) e Linha 3 (Figura 7) foram realizados no topo da cava resíduos, no sentido do eixo maior do aterro, e suas seções refletem dois cenários idênticos: resistividades $\leq 50\Omega$.m indicam resíduos em subsuperfície e material de cobertura contaminados por chorume. A zona com resistividades $\geq 140\Omega$.m na seção CEIP(3) corresponde à lateral da cava de resíduos e não foi detectada na seção da Linha 3 porque, nesta última, seu início deve de ser deslocado cerca de 90m em relação ao início do ensaio CEIP(3), devido à existência de uma nova edificação no local.

Os cenários das seções CEIP(4) (Figura 6) e Linha 4 (Figura 7) são idênticos, podendo-se distinguir um dos limites laterais

da cava ($\rho \geq 140 \Omega \cdot m$) e uma região com resíduos e material de cobertura contaminados por chorume ($\rho \leq 50 \Omega \cdot m$). A diferença de valores na região da lateral da cava, observada entre as duas seções, pode refletir a utilização do aterro: em 1999, o aterro encontrava-se em operação e a produção de chorume era acentuada, ocasionando a diminuição da resistividade do local, por infiltração do percolato; em 2008, com o aterro desativado há cerca de 7 anos, os valores de resistividade são significativamente maiores e podem ser associados a uma queda na geração de chorume.

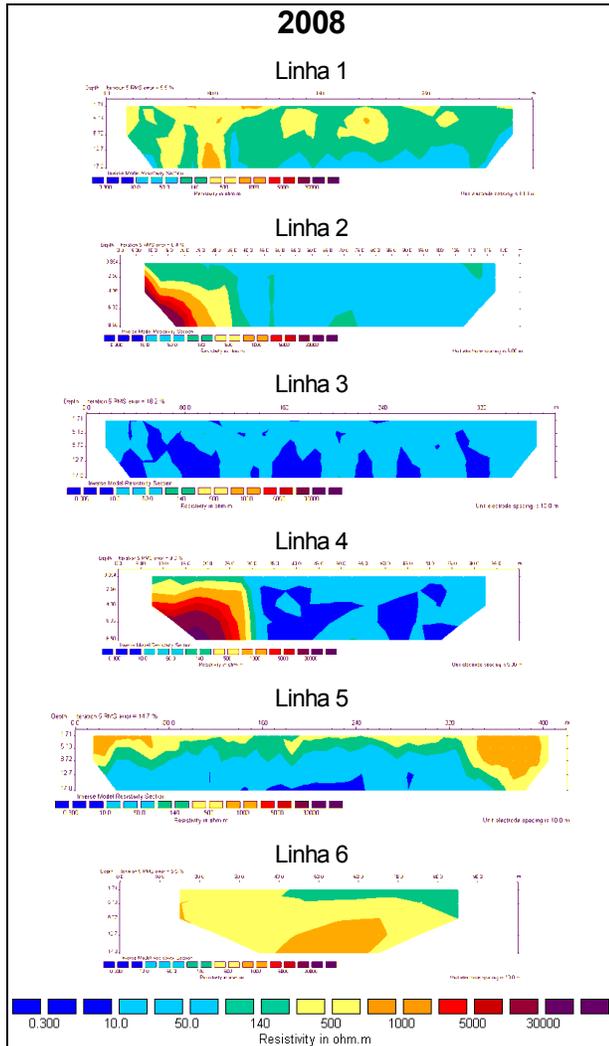


Figura 7: Seções de resistividade dos IE de 2008.

Os ensaios CEIP(6) (Figura 6) e Linha 5 (Figura 7) foram executados em uma estrada não pavimentada, vizinha ao aterro e que se encontra sobre um divisor de águas, com quedas nas direções SE e NO, aproximadamente. A zona com resistividades $\leq 50 \Omega \cdot m$ da seção CEIP(6) foi atribuída ao fluxo de contaminantes proveniente da cava emergencial, quando do início de sua operação. Na seção da Linha 5, a zona com resistividades entre $0,3 \Omega \cdot m$ e $50 \Omega \cdot m$ pode ser associada aos materiais geológicos contaminados por chorume proveniente do aterro controlado e da cava emergencial, e ao fluxo de chorume no sentido oeste, originado pelas "lagoas" no topo do aterro.

Com a finalidade de se obter uma visão integrada dos resultados das linhas de Imageamento Elétrico, elaborou-se o mapa de resistividade para cada nível de investigação, por meio de técnicas de interpolação dos dados (*nearest neighbor*). No mapa referente ao segundo nível de investigação (Figura 8), que corresponde à profundidade teórica de 5,10m, é possível observar os dois fluxos de contaminantes: o principal, migrando na direção SE (seta vermelha), e o secundário, em direção ao Oeste (seta amarela).

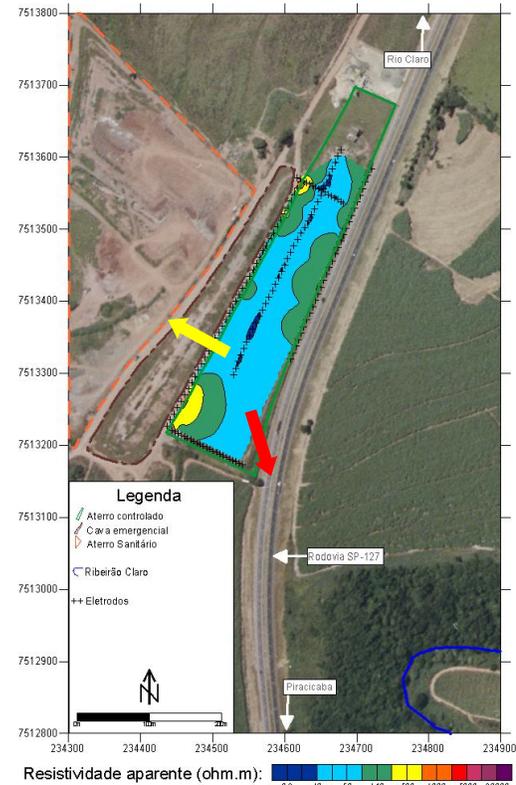


Figura 8: Mapa de resistividade do 2º nível teórico de investigação. Fluxo principal: seta vermelha; fluxo secundário: seta amarela.

Conclusões

Os resultados das SEV permitiram a caracterização geolétrica dos materiais em subsuperfície na área do aterro e serviram como base para a interpretação das seções de IE, possibilitando a geração de mapas de isovalores de resistividade elétrica e o entendimento da evolução da pluma de contaminação no período de 9 anos.

Desse modo, pode-se afirmar que, relativamente aos ensaios geofísicos de 1999, os resultados dos ensaios executados em 2008 revelaram uma pluma com maiores dimensões e mais profunda, contrariando o que se esperava para um aterro desativado há, pelo menos, 10 anos.

O aumento das dimensões da pluma aparenta estar intimamente relacionado às "lagoas" do sistema de recirculação de chorume, mantidas quase que constantemente cheias.

As alterações dos valores de resistividade podem indicar, ainda que discretamente, uma tendência de recuperação natural do ambiente, retomando aos valores de *background*.

A metodologia utilizada no presente trabalho mostrou-se uma alternativa expedita, com resultados confiáveis (dentro de uma razoável margem de erro) e menos onerosa que os métodos tradicionais de investigação e monitoramento, e foi considerada plenamente satisfatória para o propósito a que foi destinada. Devido à sua versatilidade, pode ser aplicada, sem maiores problemas, em estudos de outros locais de disposição de diversos tipos de resíduos.

Referências

- BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S.A. 2006. **Rio Claro**. São Paulo. 1 fotografia aérea. Escala 1:30.000.
- BRAGA, A. C. O. 1997. **Métodos geoeletrônicos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro – SP**. 169f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- BRAZ, J.A.; SILVA, C.L. 2001. Avaliação do potencial energético do biogás de aterro sanitário gerado pelos resíduos sólidos domésticos do município de Rio Claro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. **Anais...** Florianópolis. Paginação irregular.
- BORTOLIN, J.R.M. 2009. **Monitoramento temporal da pluma de contaminação do aterro controlado de Rio Claro (SP) por meio do método da eletrorresistividade**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP.
- CAVALCANTI, S.S.; SATO, H.K.; LIMA, O.A.L. 2001. Geofísica elétrica na caracterização da hidrologia subterrânea na região do Aterro Metropolitano Centro, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 19, n. 2, p. 155-168.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). 1999. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: Métodos geofísicos**. 1999. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp>. Acesso em: 6 dez. 2006.
- COTTAS, L.R. 1983. **Estudos geológico-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro - SP**. 1983. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa nacional de saneamento básico – 2000**. 2002. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao_devida/pnsb/pnsb.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2008.
- GEOTOMO SOFTWARE. 2002. **RES2DINV ver. 3.4**: 2D Resistivity and IP Inversion. Penang, Malaysia: Geotomo Software.
- INTERPEX LIMITED. 2008. **IX1D v. 2.17**. Golden, Co, USA: Interpex Limited.
- LAGO, A.L.; ELIS, V.R.; GIACHETI, H.L. 2006. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 3, p. 357-374.
- MOREIRA, C.A. 2009. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, SP.
- MOREIRA, C.A.; AQUINO, W.F.; DOURADO, J.C. 2007. Aplicação do método eletromagnético indutivo (EM) no monitoramento de contaminantes em subsuperfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 4, p. 413-420.
- MOREIRA, C.A.; BRAGA, A.C.O. 2009a. Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 257-264.
- _____. 2009b. Caracterização geoeletrica de contaminantes provenientes da decomposição de resíduos sólidos domiciliares. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 2, p. 106-114.
- MOREIRA, C.A.; DOURADO J.C. 2007. Monitoramento da atenuação natural de pluma de contaminação pelo método de radar de penetração no solo (GPR). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 4, p. 389-398.
- MOURA, H.P. 2002. **Emprego da eletrorresistividade e da polarização induzida na caracterização geoeletrica de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP.
- MOURA, H. P.; MALAGUTTI FILHO, W. 2003. Métodos de eletrorresistividade e de polarização induzida aplicados na área de disposição de resíduos urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro-SP. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 22, n. Especial, p. 129-139.
- _____. 2007. Métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida aplicados no estudo do aterro controlado de Piracicaba-SP. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 35-43.
- SHIRAIWA, S. et al. 2002. Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil: resultados preliminares. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, n. 3, p. 181-186.
- SILVA, J.E. et al. 2002. Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, n. 3, p. 193-198.
- TANDEL, Y.R. 1998. **Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro, SP**. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- ZAINE, J.E. 1994. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP.
- ZONGE, K.; WYNN, J.; URQUHARTS, S. 2005. Resistivity, Induced Polarization, and Complex Resistivity. In: BUTLER, D. K. (Ed.). **Near Surface Geophysics**. Tulsa, OK: SEG. p. 265-300.