

## EMPREGO DO MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE NO ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO SUBTERRÂNEA DO CEMITÉRIO MUNICIPAL DE VILA REZENDE, PIRACICABA – SP

Robson Willians da Costa Silva<sup>1</sup>, Walter Malagutti Filho<sup>2</sup> e César Augusto Moreira<sup>3</sup>

Recebido em 13 fevereiro, 2009 / Aceito em 16 setembro, 2009  
Received on February 13, 2009 / Accepted on September 16, 2009

**ABSTRACT.** This paper presents the results of the application of electrical resistivity method in the delineation of areas potentially impacted by necrochorume in Vila Rezende's municipal cemetery, Piracicaba – SP (Brazil). The results indicate a depth of water table among 3.1 and 5.1 m in drought, with two flow directions: a SW and another to the SE. Also indicate unfavorable conditions in subsurface to percolation of necrochorume but favorable to the corpses phenomenon saponification. The probable contamination plumes have the same directions of the groundwater flow. The probable plume is prolonged to out of the cemetery. The location of the conductive anomalies and likely contamination plumes demonstrated that the contamination is linked with the depth of water table level and the burial time. The electrical resistivity method has proved to be an important tool for assessing the environmental quality in cemeteries.

**Keywords:** electrical resistivity, saponification, cemetery, necrochorume, contamination plume.

**RESUMO.** Neste trabalho são apresentados os resultados da aplicação do método da eletroresistividade para delimitação de áreas potencialmente impactadas por necrochorume no cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba – SP. Os resultados indicam uma profundidade do nível freático entre 3,1 e 5,1 m na época de estiagem, com duas direções de fluxo subterrâneo: uma a SW e outra a SE. Indicam ainda condições desfavoráveis, em subsuperfície, para percolação do necrochorume, mas favoráveis ao fenômeno de saponificação dos cadáveres. As prováveis plumas de contaminação têm as mesmas direções do fluxo subterrâneo. A provável pluma a SE se prolonga para fora dos limites do cemitério. A localização das anomalias condutivas e das prováveis plumas de contaminação demonstrou que a contaminação tem ligação com a profundidade do nível freático e com o tempo de sepultamento. O método da eletroresistividade demonstrou ser um instrumento importante para avaliação da qualidade ambiental em cemitérios.

**Palavras-chave:** eletroresistividade, saponificação, cemitério, necrochorume, pluma de contaminação.

---

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Laboratório de Ecologia Isotópica, Av. Centenário, 303, 13416-000 Piracicaba, SP, Brasil. Tel.: (19) 3429-4600; Fax: (19) 3429-4610 – E-mail: robsonwillians@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista – Unesp, Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, Av. 24-A, 1515, 13506-900 Rio Claro, SP, Brasil. Tel.: (19) 3526-2841; Fax: (19) 3534-0327 – E-mail: malagutti@rc.unesp.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus de Caçapava do Sul, Av. Pedro Anunciação, s/n, Bairro Batista, 96570-000 Caçapava do Sul, RS, Brasil – E-mail: cesarmoreira@unipampa.edu.br

## INTRODUÇÃO

Os cemitérios podem causar sérios impactos ao meio ambiente, por meio do aumento da concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas nas águas subterrâneas e pela eventual presença de microrganismos patogênicos (Ucisik & Rushbrook, 1998).

A partir da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 335 de 03 de abril de 2003 que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios horizontais e verticais a serem implantados no Brasil, os cemitérios são vistos como fontes de contaminação do ambiente e sua implantação está sujeita ao atendimento dos critérios legais, fazendo-se necessária a utilização de equipamentos de proteção ambiental para salvar o solo e as águas subterrâneas. Em 28 de março de 2006, foi promulgada a Resolução do CONAMA nº 368, que altera alguns dispositivos nos artigos 3º e 5º da Resolução nº 335.

A contaminação do meio físico por líquido proveniente da decomposição de cadáveres, também conhecido como necrochorume, particularmente no primeiro ano do sepultamento, ocorre principalmente devido à implantação inadequada de cemitérios, em locais que apresentam condições hidrogeológicas desfavoráveis, como baixa profundidade do nível freático, solos muito permeáveis, rochas com fraturas e zonas cársticas.

O necrochorume é caracterizado por ser um líquido viscoso mais denso que a água ( $1,23 \text{ g/cm}^3$ ), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, castanho-acinzentado, polimerizável, elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), de cheiro acre forte e com grau variado de patogenicidade (Silva, 1995). Pode conter resíduos de tratamentos químicos hospitalares como de quimioterapia, formaldeído e metanol utilizados na embalsamação, cosméticos, corantes e enrijecedores utilizados no preparo e maquiagem do cadáver, patógenos associados a mortes por doenças infecto-contagiosas e óxidos metálicos como Ti, Cr, Cd, Pb, Fe, Mn, Ni, dentre outros e lixiviados dos adereços das urnas mortuárias.

Em áreas próximas aos sepultamentos ocorre aumento da condutividade elétrica, pH, alcalinidade e dureza da solução do solo, devido à presença de compostos de nitrogênio e fósforo e de diversos sais ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ) (Matos, 2001).

A partir da investigação em 600 cemitérios do país (75% municipais e 25% particulares), Silva (1995) observou a incidência de 15% a 20% de casos de contaminação do subsolo por necrochorume; destes cerca de 60% dos cemitérios problemáticos eram municipais.

A aplicação de métodos geofísicos nas investigações ambientais apresenta diversas vantagens, principalmente pela caracte-

terística investigativa indireta e não destrutiva. Este fato permite sua aplicação em cemitérios, sem riscos para construções presentes como jazigos, lápides, mausoléus, entre outras.

Devido ao contraste de resistividade entre contaminações por necrochorume e o ambiental natural, mesmo em contato com o nível freático, aplicou-se nesse estudo o método da eletrorresistividade. As principais vantagens desse método são as facilidades de aquisição de dados, a realização de leituras em diversas profundidades, a correlação direta com a contaminação subterrânea e o fornecimento de subsídios para caracterização geológica e hidrogeológica da área.

Neste trabalho são apresentados os resultados da aplicação do método da eletrorresistividade, por meio das técnicas da sondagem elétrica vertical (SEV) e imageamento elétrico (IE), na delimitação de áreas potencialmente impactadas por necrochorume, no cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba – SP.

## Caracterização da Área de Estudo

O cemitério municipal de Vila Rezende está localizado na zona norte do município de Piracicaba ( $47^\circ 39' 07'' \text{W}$ ;  $22^\circ 41' 37'' \text{S}$ ), estado de São Paulo, Brasil (Fig. 1). Está em operação desde 15 de setembro de 1976. Possui uma área de  $75.324,48 \text{ m}^2$ , e no mesmo encontram-se mais de 17.000 pessoas sepultadas a uma média de 2 sepultamentos/dia.



Figura 1 – Localização do cemitério de Vila Rezende.

No cemitério, que está dividido em 11 quadras, predominou até o ano de 1988 o sepultamento por inumação, em covas simples cujas profundidades variam de 1,1 a 1,6 m, com simples recobrimento de solo, nas quadras Q-3, 5, 6, 7, 9, 10 e 11. Em 1993 o processo de sepultamento passou a ser por jazigos subterrâneos em alvenaria. Devido às condições hidrogeológicas desfavoráveis ao sepultamento subterrâneo, como a pequena profundidade do nível freático, e também em respeito às legislações federais e estaduais, a partir de 1999 foi iniciado o processo de sepultamento em jazigos acima do nível do terreno. A resolução CONAMA nº 335 enfatiza que o nível freático deve distar 1,5 m

da base da sepultura. Assim a ocupação do cemitério iniciou-se nas quadras Q-1 e 11, e sucessivamente ao longo de 30 anos nas quadras Q-7, 6, 10, 9, 5, 2, 3, 4 e 8.

A geologia da área é representada por siltito argiloso pertencente à Formação Corumbataí, com espessura local em torno de 15 m, sobreposto às Intrusivas Básicas associadas ao evento Serra Geral, correlata à Formação Serra Geral. As rochas são recobertas por Nitossolo Vermelho e Argissolo Amarelo, sendo o primeiro mais argiloso.

A área do cemitério está localizada na interface de microbacias hidrográficas, ou seja, representa uma área de recarga do aquífero raso, com altitudes entre 535 e 546 m e declividades que variam entre 6 a 10%, ambas acima da média do município.

## METODOLOGIA

Na aplicação do método da eletrorresistividade, utilizou-se as técnicas da sondagem elétrica vertical (SEV) e imageamento elétrico (IE), por meio dos arranjos Schlumberger e dipolo-dipolo, respectivamente.

A técnica da SEV consiste, basicamente, na análise e interpretação de um parâmetro geoeletrico – a resistividade elétrica no caso desse trabalho – obtido a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, de maneira pontual, sua variação em profundidade. No arranjo Schlumberger os eletrodos de corrente (AB) posicionados externamente apresentam uma separação crescente e os eletrodos de potencial (MN) internamente ao arranjo permanecem fixos mantendo-se a relação  $MN \leq AB/5$  durante o desenvolvimento do ensaio.

Para estabelecer o modelo geoeletrico e posteriormente a elaboração do mapa potenciométrico da área do cemitério, foram realizadas 16 SEVs, com máxima abertura entre eletrodos AB de até 200 m, no mês de setembro de 2006. As SEVs foram distribuídas em toda área de estudo (Fig. 2), sendo executados 7 ensaios na área interna do cemitério (SEVs-7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13), e 9 ensaios na área externa do cemitério (SEVs-1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 15 e 16). O equipamento utilizado foi o resistivímetro modelo 2390 da BISON Instruments Inc. Os resultados foram processados no programa IX1D v.3 da *Interpex Limited*, utilizando tanto o método direto como inverso. Obtidas as profundidades dos níveis freáticos nos locais das SEVs e suas coordenadas UTM, foi elaborado o mapa potenciométrico da área, utilizando o *software* SURFER v.8 da *Golden Software*, com a interpolação geoestatística da mínima curvatura, pois, sendo um método suavizador, é o que melhor representa a superfície potenciométrica.

A técnica do imageamento elétrico está baseada na realização

de medidas da resistividade aparente ao longo de um perfil, com o objetivo de investigar suas variações em um ou mais níveis em profundidade (Gandolfo, 2007).

O arranjo dipolo-dipolo é caracterizado por utilizar espaçamento igual entre eletrodos MN e AB, com deslocamento do centro de ambos os dipolos ao longo da linha. Foram utilizados 10 m de espaçamento entre eletrodos, com leituras em 5 níveis de profundidade.

Foram realizadas 12 seções de imageamento elétrico no mês de fevereiro de 2007, com comprimento de até 390 m. A distribuição dos perfis priorizou a área interna do cemitério: 10 perfis distribuídos nas principais vias de acesso às quadras e 2 perfis na área externa, um a montante da área (IE-12) servindo como seção de referência (*background*) e outro a jusante da área (IE-11), interceptando o fluxo do possível contaminante (necrochorume) (Fig. 2). O equipamento utilizado foi o resistivímetro Terrameter SAS 4000, fabricado pela ABEM. Este equipamento é configurado para medidas de resistividade por meio de ciclos periódicos de corrente elétrica alternada e de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos do sinal adquirido.

Os dados foram processados no *software* RES2DINV (Loke & Barker, 1996), no qual foram gerados modelos obtidos por inversão, utilizando o método dos mínimos quadrados.

Os dados da inversão foram analisados por meio da análise exploratória de estatística básica. A análise geoestatística de 274 dados por nível foi realizada no *software* VARIOWIN 2.21 (Pannatier, 1996) (Fig. 3). O modelo variográfico foi exportado para o *software* SURFER para a realização da interpolação pelo método da krigagem ordinária.

Estes dados foram posteriormente integrados sob a forma de mapas, cuja sobreposição permite uma visualização 3D em termos de resistividade elétrica, após tratamento geoestatístico.

A profundidade dos níveis de investigação foi calculada pelo modelo do *software* RES2DINV, que segue o modelo de profundidade de Edwards (1977).

Para a delimitação das prováveis plumas de contaminação seguiu-se o critério de Orellana (1972), que define um valor ser considerado como anômalo aquele que diminuir ou ultrapassar em pelo menos duas ou três vezes o valor do *background*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelo Geoeletrico

O modelo geoeletrico da área interna do cemitério (Tab. 1) apresenta valores de resistividade entre 10 e 2960 ohm.m,

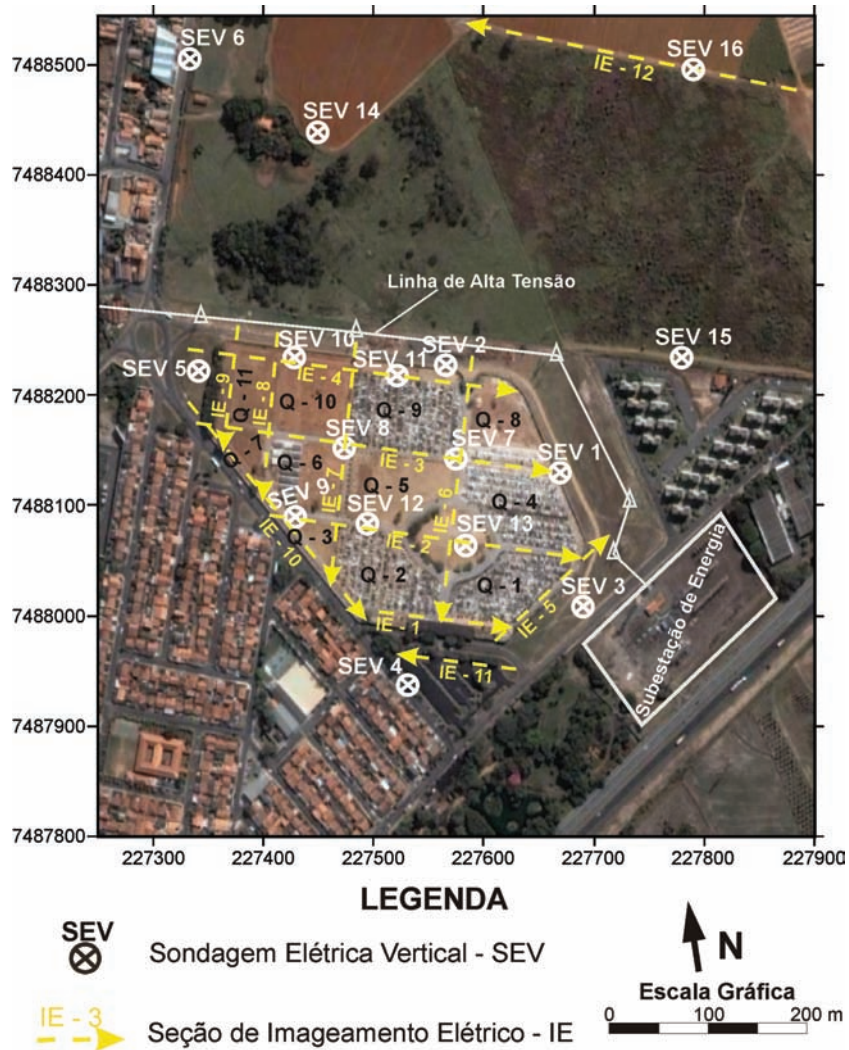


Figura 2 – Localização dos ensaios geoeletricos realizados na área de estudo.

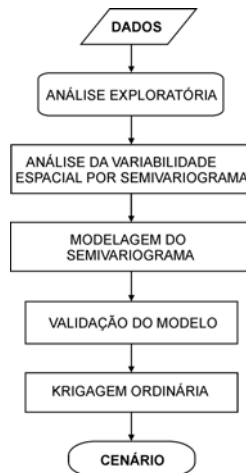


Figura 3 – Etapas da análise geoestatística.

sendo os níveis mais condutivos interpretados como provável contaminação por necrochorume e os mais resistivos como horizontes areno-argilosos de baixa umidade, aterro com sedimentos arenosos, cascalho de calcário, resíduos de construção e demolição reciclado moído e tubulações e galerias de drenagem superficial. As curvas das SEVs apresentam padronização da segunda parte em diante, interpretado como siltitos argilosos da Formação Corumbataí. No entanto, em algumas SEVs o seu último nível geoeletrico – a partir de 18 m – apresentou resistividade 15 vezes maior em relação ao nível geoeletrico superior, podendo ser correlacionadas com o diabásio. A Figura 4 apresenta uma curva típica de SEV realizada na área interna com sua respectiva correspondência hidrogeológica (SEV-7).

O caráter arenoso das camadas superficiais (aterro) do cemitério permite a elevada permeabilidade dos líquidos provenientes da decomposição dos corpos. As camadas mais profundas apresentam textura argilosa e baixa condutividade hidráulica, estabelecendo condições físico-químicas redutoras e contribuindo para o fenômeno de saponificação dos cadáveres. Este fenômeno consiste na hidrólise da gordura com liberação de ácidos graxos, que pela acidez, inibem a ação das bactérias e retardam a decomposição de cadáveres (Matos, 2001).

O modelo geoeletrico da área externa do cemitério (Tab. 2) apresenta diversos tipos de materiais geológicos. Nas SEVs a leste do cemitério ocorrem estratos geoeletricos que se correlacionam à Formação Corumbataí, e nas SEVs a oeste e ao norte ocorrem estratos geoeletricos correlacionáveis à Formação Corumbataí e ao diabásio a partir da profundidade de 15 m. Entre as quadras Q-1 e 4 há uma anomalia condutiva na zona saturada que se estende para fora do limite do cemitério, conforme verificado na SEV-3, interpretada como provável contaminação por necrochorume. A Figura 5 apresenta curva típica da área externa com sua respectiva correspondência hidrogeológica.

A Figura 6 apresenta a curva de relação entre a mediana da resistividade elétrica  $\times$  profundidade dos cinco níveis de investigação. Foi escolhida a mediana dos dados pelo fato da mesma não levar em conta os valores extremos de resistividade (ruídos) representando assim o padrão das amostras.

Observa-se na curva de relação entre a resistividade elétrica  $\times$  profundidade para os níveis de investigação, que o primeiro nível apresenta uma mediana dos valores de resistividade inferior ao segundo e terceiro níveis, sendo que o primeiro encontra-se em zona não saturada e o terceiro em diante encontra-se em zona saturada. Assim o primeiro nível, em condições normais, deve apresentar valores de resistividade elétrica superiores a todos os outros níveis, por estarem na mesma litologia. Sendo

assim, a posição da mediana dos valores de resistividade para o primeiro nível evidencia sua contaminação por material condutivo – no caso o necrochorume. O alto valor da mediana de resistividade elétrica do segundo nível é devido às tubulações e outras construções de concreto aterradas neste nível de profundidade e os materiais geológicos não saturados. E no restante dos níveis, as medianas de resistividade elétrica decrescem devido à saturação do material geológico.

Por meio das profundidades da zona saturada obtidas pelas SEVs, obteve-se o mapa potenciométrico da área do cemitério de Vila Rezende e seu entorno (Fig. 7). Nota-se dois sentidos de fluxo subterrâneo, um para SW e outro para SE, e com profundidade do nível freático variando em época de estiagem entre 3 e 5,5 m. Nas quadras Q-1, 4, 8 e 9 as profundidades variam entre 3 e 4 m.

### Investigação e mapeamento elétrico da contaminação

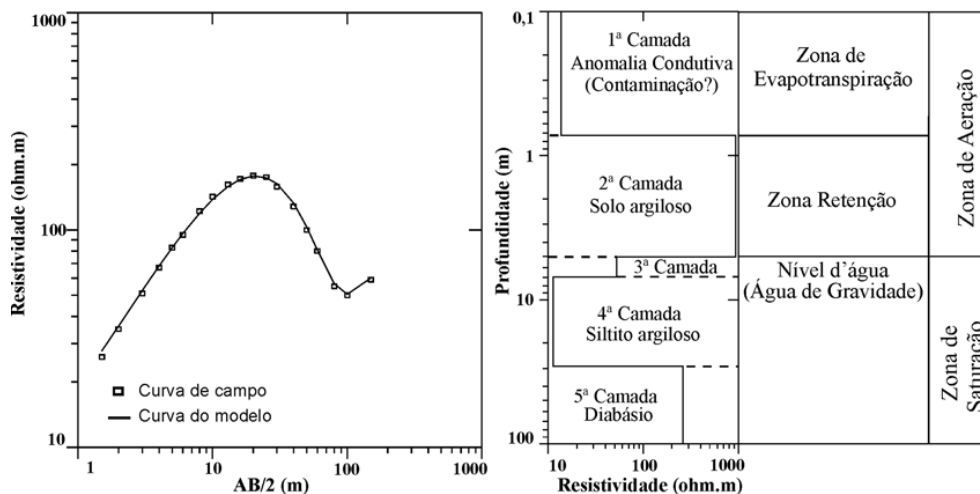
O perfil de IE-12 a NE e a montante da área do cemitério, apresentou altos valores de resistividade aparente, provavelmente devido à ausência de necrochorume, servindo como *background* (Fig. 8). Os valores de resistividades entre 700 e 2600 ohm.m, indicam solo argilo-arenoso, areno-argiloso e sedimentos arenosos carregados por escoamento superficial e depositados em curvas de nível. Os valores de resistividade entre 150 e 700 ohm.m, indicam solo argilo-arenoso saturado. Os valores de resistividade elétrica inferiores a 150 ohm.m estão relacionados a siltitos argilosos da Formação Corumbataí.

A Figura 9 apresenta o mapa de resistividade elétrica para o primeiro nível de investigação que corresponde a uma profundidade aproximada de 4,16 m. Observa-se no mapa duas prováveis plumas de contaminação, com resistividades inferiores a 200 ohm.m, uma na direção SW e outra a SE, ambas seguindo a direção do fluxo subterrâneo.

A provável pluma a SW (área pontilhada em vermelho) inicia-se sob a quadra Q-9 e se estende sob as quadras Q-5, 6, 3 e 2. As anomalias condutivas podem ser também observadas nos primeiros níveis geoeletricos das SEVs-7, 8 e 12. O contorno de valores de resistividade elétrica inferior a 75 ohm.m, observado também no primeiro nível geoeletrico da SEV-12 a jusante da quadra Q-5, pode ser devido à infiltração de necrochorume proveniente da quadra Q-9, devido ao sepultamento em cova simples. A anomalia condutiva presente entre as quadras Q-2 e 3 pode ser devido à infiltração de necrochorume por meio de rachaduras ou até mesmo desmoronamentos de construções tumulares subterrâneas e/ou acima do nível do terreno presentes na quadra Q-2.

**Tabela 1** – Modelo geoeétrico proposto para a área interna do cemitério.

Zona	Descrição dos Materiais	Resistividade (ohm.m)
Aeração	Solo Argilo-arenoso	$157 \leq \rho \leq 628$
	Solo Areno-argiloso	$2070 \leq \rho \leq 2960$
	Anomalia condutiva – necrochorume	$13 \leq \rho \leq 75$
	Solo Areno-argiloso + aterro arenosos	$448 \leq \rho \leq 935$
	Tubulações e construções de concreto aterradas	$934 \leq \rho \leq 1720$
Saturação	Solo Argilo-arenoso	$110 \leq \rho \leq 373$
	Siltito argiloso (Fm. Corumbataí)	$10 \leq \rho \leq 455$
	Diabásio (Intrusivas Básicas)	$\rho > 110$

**Figura 4** – Curva típica da área interna e sua caracterização hidrogeológica.**Tabela 2** – Modelo geoeétrico proposto para a área externa do cemitério.

Zona	Descrição dos Materiais	Resistividade (ohm.m)
Aeração	Solo Argilo-siltoso	$28 \leq \rho \leq 220$
	Solo Argilo-arenoso	$138 \leq \rho \leq 1093$
	Solo Areno-argiloso	$1100 \leq \rho \leq 2960$
Saturação	Siltito argiloso (Fm. Corumbataí)	$24 \leq \rho \leq 398$
	Anomalia condutiva – necrochorume	$\rho < 10$
	Siltito argiloso (Fm. Corumbataí)	$10 \leq \rho \leq 53$
	Diabásio (Intrusivas Básicas)	$\rho > 105$

A provável pluma a SE, inicia-se sob a quadra Q-8 e se estende sob as quadras Q-4 e 1, uma parte do canteiro central e fora dos limites do cemitério. A anomalia condutiva pode ser observada no primeiro nível geoeétrico da SEV-3 com valor de resistividade elétrica de 77 ohm.m, na área externa ao cemitério. Quase a totalidade da área das quadras Q-1, 4 e 8, apresentaram valores baixos de resistividade elétrica. No entanto, a quadra Q-8 somente apresentou na época da execução dos ensaios geo-

elétricos jazigos em sua parte inferior, ao sul da quadra. Desta forma, delimitou-se o início da provável pluma nesta localização. Essa área, além de apresentar nível freático raso, é a de maior quantidade de sepultamentos, havendo assim uma constante renovação da fonte contaminadora.

Dent (1995) em um cemitério na Austrália e Matos (2001) no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha na Grande São Paulo, constataram que há aumento da condutividade elétrica do lençol

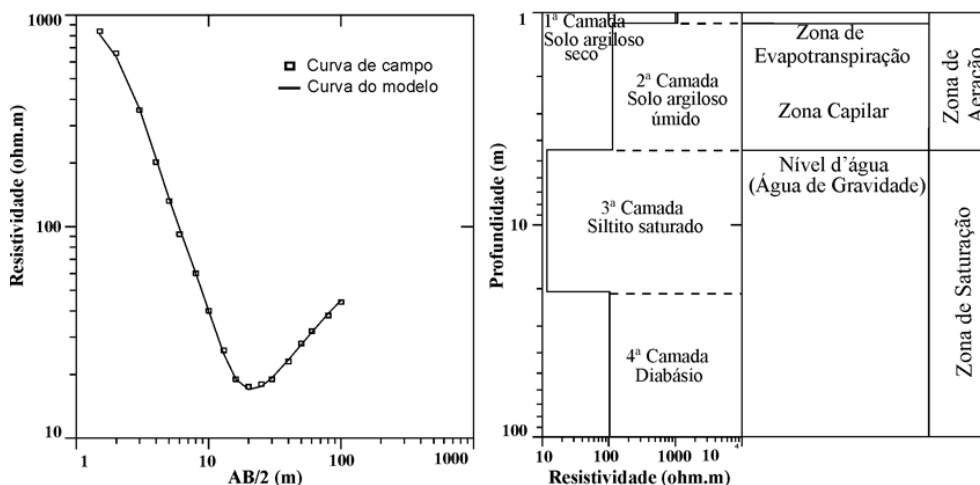


Figura 5 – Curva típica da área externa e sua caracterização hidrogeológica.

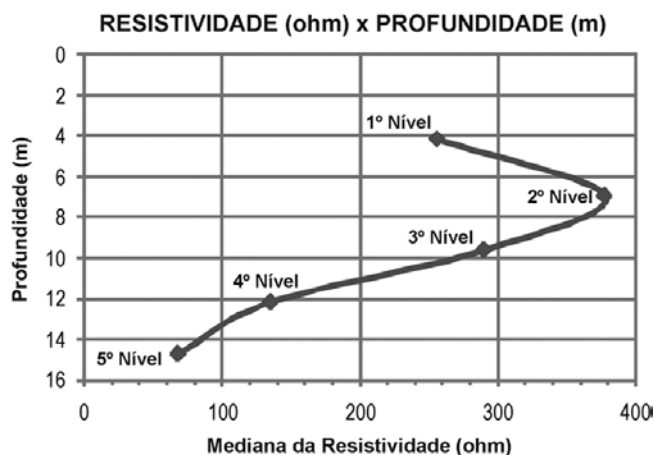


Figura 6 – Curva de resistividade elétrica × profundidade.

freático em locais próximos de sepultamentos recentes. Migliorini (1994), no cemitério Vila Formosa na Grande São Paulo e Almeida & Macêdo (2005), em cinco cemitérios na cidade de Juiz de Fora – MG, constataram aumento da condutividade elétrica no lençol freático através de altas concentrações de íons maiores, principalmente o cloreto e compostos nitrogenados. Os sais presentes no necrochorume ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ) aumentam drasticamente a condutividade elétrica da água (Barbosa & Coelho, 2005).

Na superfície das quadras Q-1, 4 e 8 há presença de jazigos acima do nível do terreno com até quatro gavetas, que são jazigos familiares preparados para alojar diversos cadáveres num mesmo local ao longo dos anos após o período de exumação. Desta forma, a principal fonte de contaminação são esses tipos

de jazigos, nos quais continuamente ocorrem sepultamentos, e conseqüentemente renovação das fontes contaminadoras.

A Figura 10 apresenta a sobreposição dos mapas de resistividade elétrica, realizado a partir dos dados 2D tratados pela análise geoestatística. Esse tipo de mapa permite uma visualização 3D da provável pluma de contaminação.

Observa-se na Figura 10 que os mapas para o quarto e quinto nível de investigação apresentam valores baixos de resistividade elétrica, resultado dos materiais geológicos saturados da Formação Corumbataí.

Após a identificação das prováveis plumas por meio do mapeamento das mesmas, recomenda-se a instalação de seis poços de monitoramento, nos locais designados na Figura 10. O primeiro poço (P1) teria como função o controle da água subterrânea em



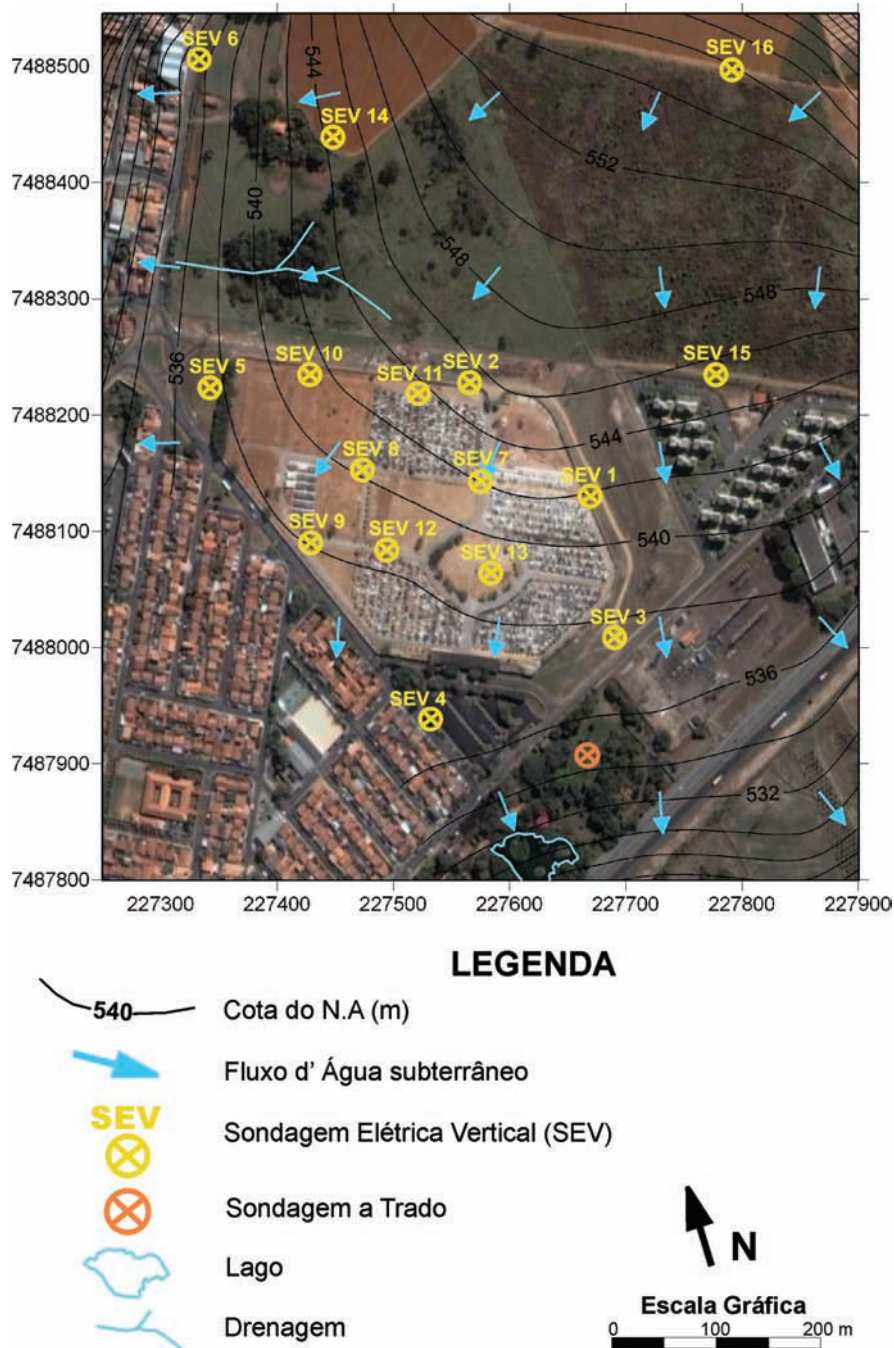


Figura 7 – Mapa potiométrico da área do cemitério de Vila Rezende.

meio não contaminado a montante do fluxo da água subterrânea, na área do cemitério (*background*), os poços P2 e P3, se localizariam onde se mapearam, pela investigação geolétrica, as prováveis plumas de contaminação. Os poços P4, P5 e P6 estariam localizados na área externa do cemitério, a jusante na direção do fluxo subterrâneo e das plumas de contaminação.

### CONCLUSÕES

O modelo geolétrico da área externa ao cemitério de Vila Rezende é constituído por uma camada de 4 m de material argilo-siltoso a SE do cemitério e material argilo-arenoso e areno-argiloso a NE, NW e SW. Na área interna há uma camada pouco espessa de aterro de sedimentos arenosos. Abaixo da camada de aterro,



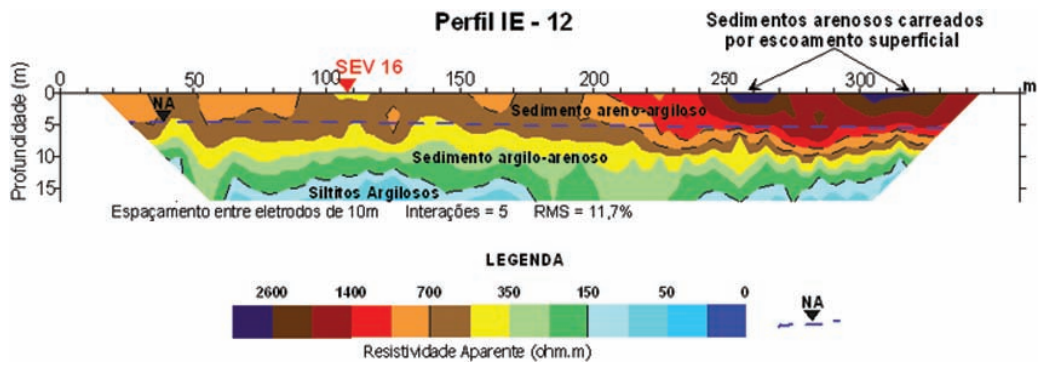


Figura 8 – Perfil geoeétrico de IE-12.

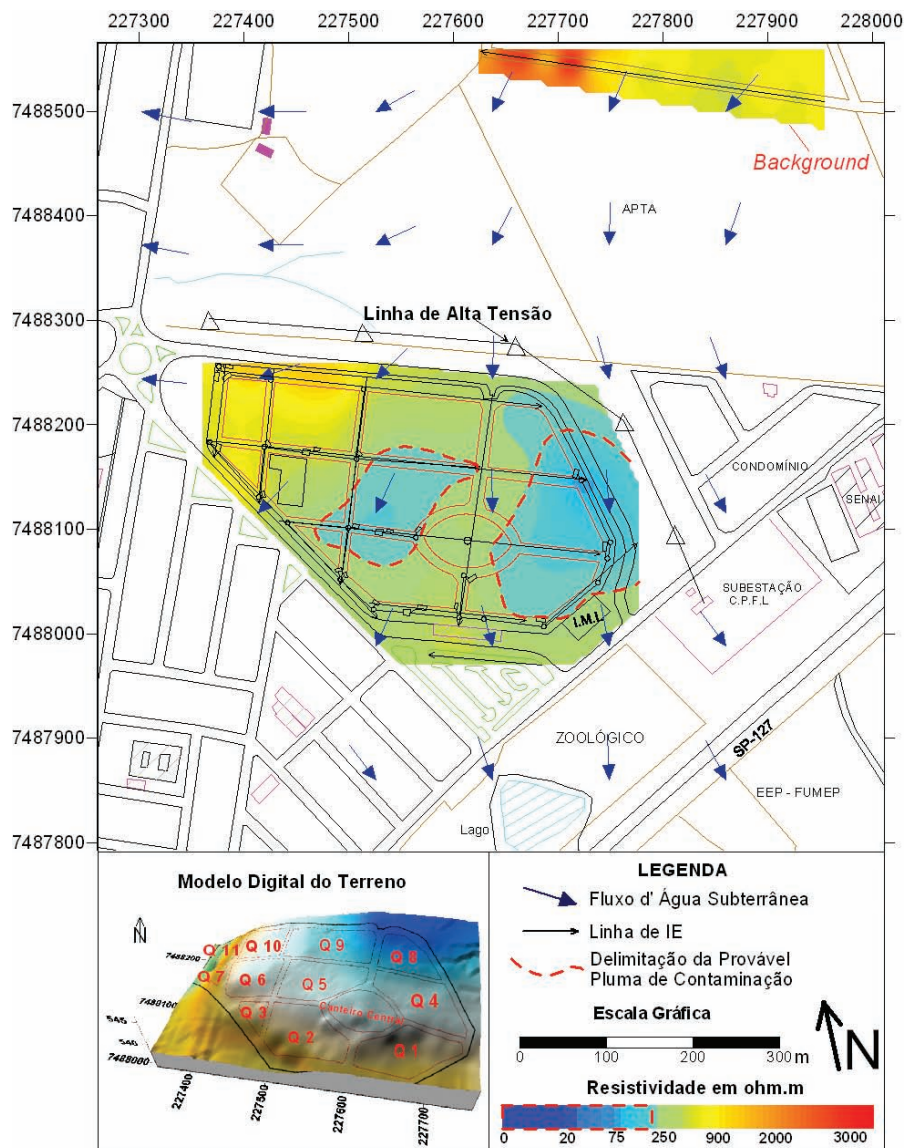


Figura 9 – Mapa de resistividade elétrica do primeiro nível de investigação geoeétrica (4,16 m de profundidade).

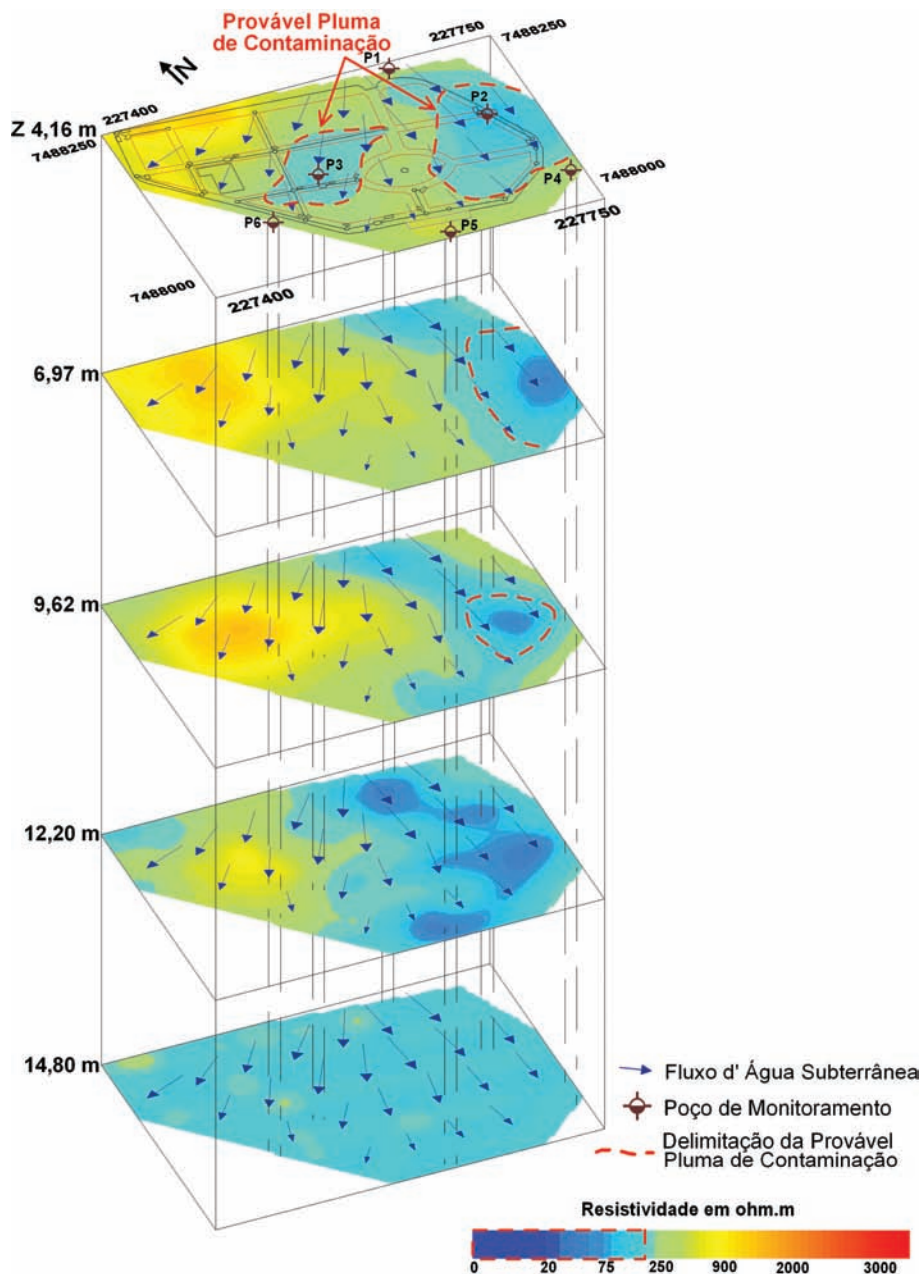


Figura 10 – Sobreposição dos mapas de resistividade para os níveis de investigação.

ocorre um material argilo-siltoso nas quadras a leste do cemitério e argilo-arenoso nas quadras a oeste do cemitério, provenientes dos siltitos argilosos da Formação Corumbataí.

O fluxo da água subterrânea ocorre nos sentidos SW e SE, com profundidade do nível freático no período de estiagem entre 3,1 e 5,1 m. Portanto, a área do cemitério apresenta zona de aeração de pouca espessura, devido à pequena profundidade do aquífero freático.

O cemitério apresenta condições desfavoráveis à percolação do necrochorume devido à predominância de material argiloso. Contudo, existem condições favoráveis para ocorrência do fenômeno conservativo de saponificação e a expansão lateral da pluma de contaminante.

O método geoestatístico aplicado no trabalho extraiu características estruturais do fenômeno regionalizante e comportamento espacial dos dados de resistividade elétrica, resultando em su-

perfícies continuadas. Sendo assim demonstrou uma ferramenta importante para mapeamento de plumas de contaminação.

No primeiro estrato geoeletrico interpretado, que corresponde a uma profundidade aproximada de 4,2 m, há duas prováveis plumas de contaminação, uma na direção SW e outra a SE, ambas seguindo a direção do fluxo da água subterrânea.

Recomendamos a instalação de seis poços de monitoramento nos locais designados na Figura 10. O primeiro poço (P1) teria como função o controle da água subterrânea em meio não contaminado a montante do fluxo da água subterrânea, na área do cemitério (*background*); os poços P2 e P3 se localizariam onde mapeou-se, pela investigação geoeletrica, as prováveis plumas de contaminação. Os poços P4, P5 e P6 seriam localizados na área externa do cemitério a jusante na direção do fluxo da água subterrânea e das plumas de contaminação.

É possível concluir que a eletroresistividade constitui uma importante metodologia indireta para a avaliação da contaminação em cemitérios; principalmente no que diz respeito à investigação e delimitação de plumas de contaminação, para melhor orientar os ensaios invasivos como sondagens, poços de investigação e monitoramento para detecção efetiva dos eventuais contaminantes.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio para execução desse trabalho. Os autores agradecem ao técnico Francisco Manuel Garcia Barrera, do Departamento de Geologia Aplicada, Unesp – Rio Claro, pelo auxílio na execução dos trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA AM de & MACÊDO JAB de. 2005. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In: Sem. de Gest. Amb. 1: 2005, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora:

Instituto Viana Junior, 2005. CD-ROM.

BARBOSA MC & COELHO H. 2005. Impacto ambiental dos cemitérios horizontais e sua relação com o controle sanitário nas áreas urbanas. Disponível em: <<http://www.biossegurancahospitalar.com.br>>. Acesso em: 07 dez. 2005.

DENT BB. 1995. Hydrogeological Studies at Botany Cemetery. M.Sc. Proj. Rept. – University of Technology of Sydney, Sydney, 673 p.

EDWARDS LS. 1977. A modified pseudo-section for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42: 1020–1036.

GANDOLFO OCB. 2007. Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 215 f.

LOKE MH & BARKER RD. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, Houten, 44: 131–152.

MATOS BA. 2001. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 113 f.

MIGLIORINI RB. 1994. Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos: estudo do cemitério Vila Formosa na bacia Sedimentar de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 74 f.

ORELLANA E. 1972. Prospección Geoeletrica en Corriente Continua. Madrid: Paraninfo, 523 p.

PANNATIER Y. 1996. Variowin: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer-Verlag, 90 p.

SILVA LM. 1995. Os Cemitérios na Problemática Ambiental. In: SIN-CESP & ACEMBRA: Seminário Nacional “Cemitérios e Meio Ambiente”, São Paulo, 1: 1995. (Apostila).

UCISIK AS & RUSHBROOK P. 1998. The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing. Denmark: WHO Regional Office for Europe. 11 p. (Rept. EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A)).

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Robson Willians da Costa Silva.** Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP/2004), mestre em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista (Unesp/2008). Atualmente é aluno de doutorado no programa de Pós-Graduação em ciências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP). Tem como principal área de interesse a geofísica aplicada ao meio ambiente.

**Walter Malagutti Filho.** Geólogo formado pela Universidade Estadual Paulista (Unesp) em 1980. Doutor pela Unesp em Geociências e Meio Ambiente em 1991 e livre-docente na disciplina Geofísica Aplicada. Foi geólogo do agrupamento de Geofísica Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de 1981 a 1986 e desde essa data é docente do Departamento de Geologia Aplicada da Unesp, atuando na área da geofísica aplicada a estudos ambientais e métodos potenciais a estudos regionais.

**César Augusto Moreira.** Bacharel em Geologia pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em 2003. Trabalhou como geólogo de minas na Santa Elina Desenvolvimento Mineral (Yamana Gold Inc.). Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Unesp em 2009. Atualmente é docente do curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), campus de Caçapava do Sul (RS).