

APLICAÇÃO DA ELETRORRESISTIVIDADE NA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO HIDROGEOLÓGICO NA CIDADE DE JI-PARANÁ (RO)

Arivelto Cosme da SILVA ¹, João Carlos DOURADO ²,
César Augusto MOREIRA ²

(1) Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia, UNIR / Campus de Ji-Paraná.
Rua Rio Amazonas, 351 – Bairro Jardim dos Migrantes. CEP 76900-726. Ji-Paraná, RO. Endereço eletrônico: arivelto@unir.br

(2) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista,
UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.
Endereços eletrônicos: jdourado@rc.unesp.br; moreirac@rc.unesp.br

Introdução
Área de Estudo
Materiais e Métodos
 Ensaio Geofísicos
 Análise Textural e Fluxo da Água Subterrânea
Apresentação e Discussão dos Resultados
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – A cidade de Ji-Paraná (RO) não possui sistema público de coleta e tratamento de esgotos, sendo as águas residuárias produzidas pela população local lançadas em fossas. Tradicionalmente, muitos habitantes utilizam água subterrânea extraída de poços amazonas ou tubulares rasos na zona urbana. O estudo realizado no Bairro Nova Brasília por Silva (2009) revelou que o aquífero local se encontra fortemente impactado por nitrato, originado da decomposição da matéria orgânica depositada nas fossas domésticas locais. Com o objetivo de detectar áreas com elevadas concentrações de compostos orgânicos provenientes de fossas sépticas, foram realizados levantamentos geofísicos, posteriormente relacionados com análises físico-químicas em amostras de águas subterrâneas obtidas em diversos poços instalados no bairro nova Brasília, além de descrições de amostras de solo da zona não saturada obtidos em perfuração de poços na área. Os resultados obtidos pelos ensaios geofísicos revelam que a pluma contaminante migra através da zona não saturada, chegando com relativa facilidade ao aquífero, atingindo em alguns pontos, profundidade superior aos 34 m alcançados no modelo da seção geoeletrica de caminamento.

Palavras-chave: Caminamento elétrico sondagem elétrica vertical; fossas; contaminação; nitrato.

ABSTRACT – A.C. da Silva, J.C. Dourado, C.A. Moreira - *Electrical resistivity applied in hydrogeologic characterization in Ji-Paraná city (RO)*. The Ji-Paraná city (RO) it doesn't possess public system of collection and treatment of sewers, being the waters residuárias produced by the local population thrown at sewages. Traditionally, many inhabitants use wells amazon extracted underground water or tubular shallow in the urban zone. The study accomplished in the Nova Brasília neighborhood for Silva (2009) revealed that the local aquifer is strongly contaminated for nitrate, originated of the decomposition of the organic matter deposited at the sewages local maidservants. With the objective of detecting areas with high concentrations originating from organic compositions of septic sewages, geophysical risings were accomplished, later related with analyses physical-chemistries in samples of groundwaters obtained in several wells installed in the Nova Brasília neighborhood, besides of soil samples descriptions in zone not saturated obtained in wells. The results obtained by the geophysical rehearsals they reveal that the polluting feather not migrates through the zone saturated, arriving with relative easiness to the aquifer, reaching in some points, superior depth to 34 m reached by the geoelectrical profiling.

Keywords: electrical profiling, vertical electric sounding; sewage; contamination; nitrate.

INTRODUÇÃO

O relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2006) revela que 2,6 bilhões de pessoas não têm acesso a saneamento básico, resultando deste processo na morte de 1,8

milhões de crianças por ano em todo o mundo (4.900 mortes por dia), acometida de diarreia. No Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), o planejamento inadequado

na organização dos espaços urbanos, associado a uma carência de oferta de água tratada e o saneamento básico incipiente tem gerado graves problemas de saúde pública.

Os indicadores de desenvolvimento sustentável (IBGE, 2004), relatam que em razão do saneamento ambiental inadequado, contaminação por resíduos sólidos ou condições precárias de moradia, ocorreram 375 internações hospitalares no Brasil, para cada 100.000 habitantes. Na região Norte, este número saltou para 706 e em Rondônia chegou a 1.200. O relatório alerta também, que podem ocorrer falta de notificações a problemas de saúde e morbidade, seja por dificuldades de acesso aos serviços de saúde por alguns grupos populacionais ou pelo fato de que alguns casos não demandam internações. Portanto, o quadro pode ser ainda pior do que é apresentado no indicador.

Diante da inexistência de saneamento em algumas localidades restam à população duas alternativas para descarte dos dejetos por ela produzidos: lançar seus despejos diretamente nos corpos d'água superficiais ou em fossas sépticas.

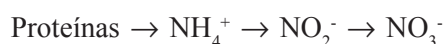
Quando as residências não são atendidas por redes de esgotos nem se encontram em margens de rios ou lagoas, os dejetos produzidos são lançados em fossas negras ou em fossas sépticas, que chegam, em muitos casos, com relativa facilidade ao lençol freático, introduzindo substâncias tóxicas e aumentando as concentrações de alguns íons na água subterrâneas, além da introdução de microorganismos patogênicos.

Os municípios do Estado de Rondônia, com raras exceções, se inserem neste contexto, não possuindo sistema de esgotamento sanitário. Por outro lado, existe nas zonas urbanas municipais de Rondônia, uma cultura de utilização de água subterrânea, mesmo onde existe rede de distribuição de água tratada. Neste caso, a água subterrânea é captada através de sistemas rasos, como poços tipo cacimba (também conhecidos como poços amazonas), que são escavados no perímetro residencial para os múltiplos usos domésticos, inclusive para dessedentação.

Devido às pequenas dimensões dos terrenos urbanos, as fossas sépticas ficam na maioria das vezes, muito próximas aos poços de captação. A proximidade entre os dois sistemas se constitui num agravante, pois facilita a migração de contaminantes para os poços, com reflexos negativos na qualidade da água subterrânea e na saúde dos usuários.

Um dos contaminantes oriundo dos sistemas sépticos, relatado por diversos pesquisadores é o íon nitrato (NO_3^-) originado da decomposição da matéria orgânica, especificamente as proteínas, resultando

como produto final o nitrato (NO_3^-), segundo a equação abaixo:



Altas concentrações de nitrato em água potável podem acarretar sérios danos à saúde humana, como metahemoglobinemia em crianças abaixo de três meses de idade, que se caracteriza por uma anemia profunda, conhecida como cianose ou “síndrome do bebê azul”. Isto ocorre quando o nitrato ingerido pelos lactentes é reduzido à forma de nitrito no estômago destes e é absorvido pelo sangue, ocupando o lugar do oxigênio na hemoglobina, que diminui a oxigenação nas células, inclusive as cerebrais. Esta diminuição da oxigenação cerebral pode provocar danos especialmente graves no sistema nervoso. Alguns autores ampliam a faixa etária de perigo de cianose infantil, considerando a possibilidade destes transtornos em crianças abaixo de 6 meses de idade (Zeman et al., 2002). Em adultos, são relatadas consequências como câncer, especialmente o gástrico (Tannenbaum & Green, 1985).

Em razão do exposto, as diversas agências reguladoras no mundo estabeleceram limites de concentrações de nitrato na água de consumo humano, valor máximo permitido (VMP), variando entre 45 e 50 mg.L^{-1} de NO_3^- . Equivalentemente, 45 mg.L^{-1} de NO_3^- corresponde a 10 mg.L^{-1} de NO_3^- em nitrogênio, VMP este, estabelecido pelo Ministério da Saúde (MS, 2005).

Análises de água de poços amazonas e tubulares localizados no bairro Nova Brasília em Ji-Paraná, nos períodos de 2000 e 2001 e 2005 e 2006, revelaram expressivas concentrações de nitrato (Silva, 2009).

Esse quadro de risco de saúde em que se encontra a população local, que consome a água do aquífero em questão, suscitou um aprofundamento dos estudos nesta área, visando subsidiar a atuação do poder público frente aos problemas de saúde que podem advir desta situação.

No caso das amostras de água de poços rasos, estas refletem a qualidade físico-química da água subterrânea, apenas na parte superior do aquífero, aproximadamente de um a dois metros de profundidade da zona saturada. Entretanto, deseja-se saber qual a profundidade e extensão da pluma contaminante de nitrato na zona saturada da área.

Para responder a esta indagação, foram realizados ensaios geofísicos com aplicação do método da eletrorresistividade, por meio das técnicas de caminhamento elétrico (CE) e sondagem elétrica vertical (SEV), objetivando uma visão mais completa dos problemas gerados no aquífero local pela introdução de despejos domésticos nas inúmeras fossas instaladas no Bairro Nova Brasília.

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada está localizada no município de Ji-Paraná, região centro-leste do Estado de Rondônia, distante 370 km da capital, Porto Velho.

A cidade de Ji-Paraná se desenvolveu nas duas margens do Rio Machado, e devido a essa particularidade, para efeito de orientação geográfica, está dividida em 1º e 2º Distritos, respectivamente à margem esquerda e à margem direita deste Rio, sendo neste último onde se localiza o Bairro Nova Brasília, objeto deste estudo (Figura 1).

O clima local é marcado por altas temperaturas, com média anual de 26°C e umidade relativa média do ar é em torno de 85 %. O regime pluviométrico na região é caracterizado por uma estação chuvosa com início em outubro, estendendo-se a maio e um período de estiagem com baixa incidência de chuvas, de abril a setembro. A precipitação de chuvas na sede do município é em torno de 1700 a 1800 mm.ano⁻¹ (Fernandes & Guimarães, 2002).

Do ponto de vista geológico, a região é representada por granitos e gnaisses pertencentes ao

embasamento cristalino Pré-Cambriano, reunidos no Complexo Jamari (Bacci, 2005). O sistema aquífero existente na região é descrito por Moraes (1998) como fraturado, descontínuo, livre, com cobertura de sedimentos coluvionares, constituído por materiais detríticos argilo-arenosos, com espessura variável, podendo chegar a 40 m, que alimenta o aquífero fraturado subjacente, formando um sistema único.

Poços tubulares e amazonas na zona urbana de Ji-Paraná mostram que a cobertura sedimentar possui espessura que varia geralmente entre 14 m e 40 m. Descrições de poços tubulares perfurados na zona urbana e rural do município estão disponíveis no Sistema Nacional de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), portal da Companhia de Prospecção e Recursos Minerais (CPRM).

A topografia do Bairro Nova Brasília é suavemente ondulada, com cota variando de 146 m na parte mais baixa (oeste), a 189 m na parte mais alta (leste). A declividade média abaixo de 2 % caracteriza o relevo como plano de colinas baixas.

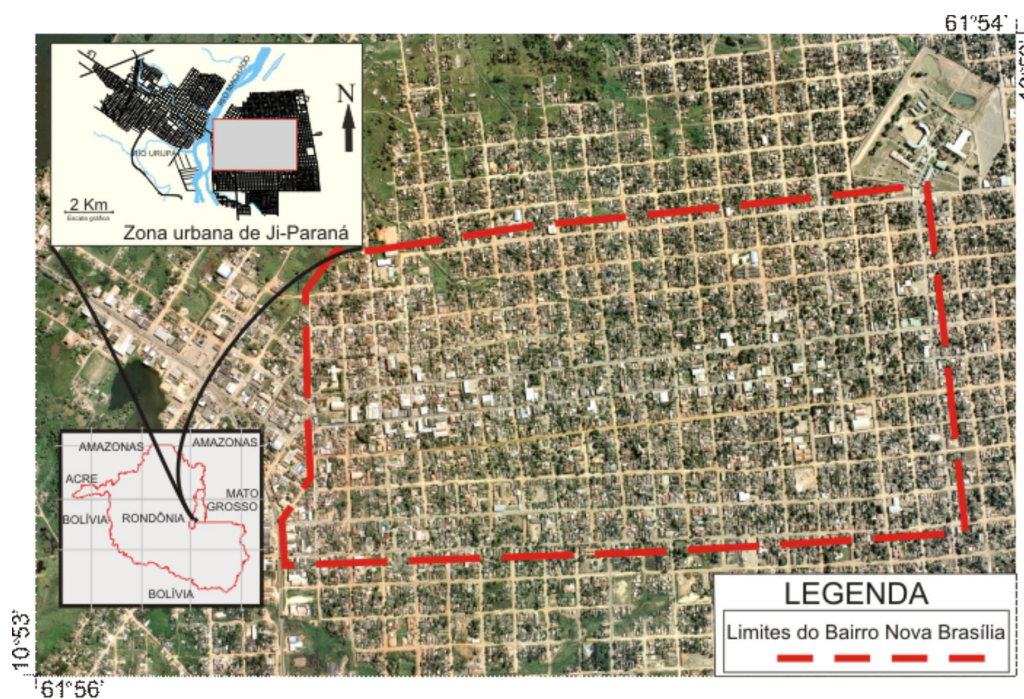


FIGURA 1. Mapa de localização da área estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

ENSAIOS GEOFÍSICOS

No presente estudo, foi utilizado o método geoeletrico da eletrorresistividade, que tem por base de sua aplicação, a propriedade física conhecida como resistividade elétrica e como princípio, a injeção de

corrente elétrica no solo, com descrição pormenorizada em diversos autores, entre os quais Lowrie (2007).

O método da eletrorresistividade consiste na injeção de corrente elétrica no solo através de dois eletrodos de corrente, que flui num espaço esférico ao

redor da fonte, gerando uma diferença de potencial que é medida por outros dois eletrodos de potencial. Através da corrente elétrica injetada no solo e de acordo com o arranjo eletródico adotado é medida a resistividade elétrica (ρ).

A resistividade elétrica é um parâmetro característico dos diferentes tipos de materiais, cuja unidade é dada em ohm.m (Ω .m), podendo ser afetada por fatores tais como a presença de minerais condutores em sua matriz (condução eletrônica) ou devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água (condução eletrolítica). Desta forma, o aumento da quantidade de água e/ou de sua salinidade são responsáveis pela diminuição da resistividade no subsolo (Milsom, 2003).

Assim, regiões subsuperficiais contaminadas se relacionam a baixas resistividades em razão do aumento de sua carga iônica (Gallas et al., 2005). Por isso, a eletrorresistividade é amplamente utilizada em problemas relativos à migração de contaminantes subsuperficiais oriundos de instalações industriais (Cunha, 2005), de aterros sanitários (Elis, 1999; Moura & Malagutti, 2003; Moreira et al., 2007) e em migração de necrochorumes de cemitérios (Matos, 2001; Silva, 2008), entre outras aplicações.

Aplicações conjuntas da técnica de sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico aliados a análises físico-químicas de águas subterrâneas, têm se mostrado bastante eficientes na detecção de plumas de contaminantes subsuperficiais, razão pela qual foram utilizadas neste trabalho.

Neste trabalho foram realizadas dez sondagens elétricas verticais (SEV), de acordo com os princípios gerais do método, com um dispositivo constituído de dois eletrodos de emissão de corrente, designados por A e B, de dois eletrodos de potencial para recepção de corrente emitida, designados de M e N. O arranjo adotado em razão da rapidez e praticidade foi o Schlumberger, realizado em pontos previamente determinados de forma a se obter informações hidrogeológicas representativas de toda a área.

Cada ensaio de SEV foi finalizado quando a curva de campo indicou ter atingindo o embasamento rochoso, sendo que a abertura máxima de eletrodos para isso foi de 300 m.

Na interpretação das SEVs foi utilizado o software IX1D para Windows versão 2.04 da Interpex Limited (Software Manual, 2002), que executa inversão de dados de entrada com base no método dos mínimos quadrados simples, modelando a resistividade do arranjo adotado.

No processo de inversão, os dados de campo foram inseridos na planilha do *software* utilizado, gerando uma curva que foi ajustada por iteração, modificando-se os valores dos parâmetros, procurando

obter o menor erro possível entre os dados medidos e a resposta do modelo teórico. O processo foi encerrado quando o conjunto se mostrou satisfatório, obtendo-se um modelo computacional das curvas de resistividades elétricas com suas respectivas camadas e espessuras. Posteriormente, de posse de novas informações sobre a litologia local e medidas de nível d'água obtidas em poços cacimba, procedeu-se um refinamento das interpretações realizadas até então. Este procedimento se fez necessário para evitar incorrer em erros que poderiam gerar diferentes modelos para a mesma curva teórica de acordo com Braga (1997).

A técnica de caminhamento elétrico (CE) consiste em leituras de resistividade ou cargabilidade (quando se mede a polarização induzida- IP) por meio de eletrodos de transmissão e recepção de corrente elétrica, dispostos de forma linear na superfície do material a ser investigado, com movimentação dos eletrodos de recepção apenas num sentido. Este procedimento permite leituras do parâmetro físico de interesse em termos bidimensionais (2D), ou seja, distância em superfície *versus* profundidade de investigação.

Devido às limitações do método em zonas urbanas, imposto pela frequência de circulação de veículos e pavimentação asfáltica, foi prevista no planejamento dos ensaios, a realização de duas linhas de caminhamento em ruas não pavimentadas (Rua São Paulo e Rua São Luiz) e de menor trânsito, considerando a interferência destes fatores no desenvolvimento dos trabalhos.

O caminhamento da Rua São Luiz teve um comprimento total de 2320 m e o da Rua São Paulo, 2300 m. A configuração utilizada foi o arranjo dipolo-dipolo, com 20 m de abertura de eletrodos, o que determinou cinco níveis de investigação, alcançando-se uma profundidade modelada de 34 m.

Nos ensaios de caminhamento elétrico foi utilizado o resistímetro Terrameter SAS 4000. O *software* usado para a inversão dos dados de campo foi o Res2Dinv, versão 3.5-2D Resistivity and IP Inversion, Geotomo Software - Malásia, que gera modelos matemáticos, cujas rotinas de inversão são baseadas no método dos mínimos quadrados. Nos modelos de perfis, altos valores de resistividade indicam que o material é muito resistivo e baixos valores indicam material muito condutivo. Descrições mais detalhadas do método de inversão no Res2Dinv podem ser vistas em Loke (2003).

Na inversão dos dados de campo, após algumas iterações, o *software* utilizado gerou modelos de seção transversal de valores de resistividades aparentes medidos e calculados e comparou estas seções criando um modelo final (2D). Esta representação permitiu evidenciar anomalias resistivas relacionadas à geologia

em subsuperfície e aos processos de contaminação por introdução de contaminantes no subsolo através do sistema de fossas, comparando-se aos resultados das análises da água subterrânea local.

ANÁLISE TEXTURAL E FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para subsidiar a interpretação dos ensaios geofísicos de SEV e CE e os processos de migração de contaminantes na área, foram coletadas 12 amostras litológicas de perfil não-saturado dos poços amazonas para análise de textura. As análises granulométricas

foram realizadas utilizando-se metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). O resultado obtido dessas amostras para as frações areia, silte e argila foram plotadas no Diagrama de Triangular de Shepard, resultando na classificação textural.

Foi também medido o nível d'água freático (NA), tomando-se como base a cota topográfica de poços amazonas em novembro de 2006, após os ensaios geofísicos de campo, objetivando as interpretações dos ensaios geofísicos.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As amostras do perfil da zona não-saturada dos poços cacimba analisadas em laboratório, apresentaram predominância da fração areia, conforme se vê no Diagrama de Shepard (Figura 2).

O percentual de cada fração presente na amostra forneceu uma idéia do comportamento físico do solo, no tocante as suas características hidráulicas. As litofácies predominantemente arenosas em toda a zona não-saturada dos poços observados proporcionam altas taxas de drenagem e conseqüentemente, baixa capacidade de retenção de água. O potencial de lixiviação de contaminantes originados nos sistemas sépticos, em direção ao aquífero subjacente também é elevado.

A Figura 3 mostra a localização e o sentido das linhas de caminamento e sondagem elétricas, os pontos de coleta de água para análise físico-químicas e os pontos de amostras de solo para análise de textura, permitindo uma melhor inferência dos resultados obtidos.

Escavações de valas para instalação de galerias pluviais nas ruas Manoel Franco e Jorge Teixeira mostraram camadas lateríticas e na segunda metade, cascalheiras aluviais, além da pouca profundidade do nível freático, conforme medidas realizadas nos poços cacimbas (código NBE) existentes na área (Tabela 1).

O caminamento elétrico evidencia principalmente na Rua São Luiz, a redução gradativa da resistividade dos níveis geoeletricos ao longo da seção, acompanhando o gradiente hidráulico. Isto indica que o aumento da concentração de contaminantes na direção de fluxo, principalmente nitratos e cloretos, em solução no aquífero, provocou a redução da resistividade nos pontos mais baixos da área (Figura 4).

A linha d'água inserida no perfil geoeletrico apresenta sentido longitudinal de fluxo preferencial NW, com profundidade do NA variando de 20 m no início da seção, a poucos centímetros ao final. Esta condição hidráulica é extremamente favorável a dispersão de contaminantes oriundos do sistema séptico no aquífero, refletindo em resistividades inferiores a 60 Ω .m no final da seção geoeletrica da Rua São Luiz.

O conjunto de dados levantados (litologia, NA, direção do fluxo da água subterrânea e concentração de nitrato das amostras de água coletadas nos poços localizados na área) permitiu estabelecer correlações com as faixas de resistividade dos ensaios de sondagem elétrica e caminamento elétrico, e assim propor um modelo geoeletrico relacionado ao processo de contaminação provocado pelas fossas (Tabela 2).

No modelo proposto, as estruturas resistivas observadas no início da Rua São Luiz correspondem a zonas de afloramento do embasamento rochoso, descrita pela empresa de perfuração GEONORTE e informações obtidas com o proprietário do poço NBT-02.

As SEVs indicadas sobre o perfil geoeletrico apresentaram-se bastante coerentes com as resistividades e profundidades dos caminamentos realizados, como se observa na Figura 5.

Análise de água coletada no poço tubular (NBT-02) com 39 m de profundidade, localizado a 30 m

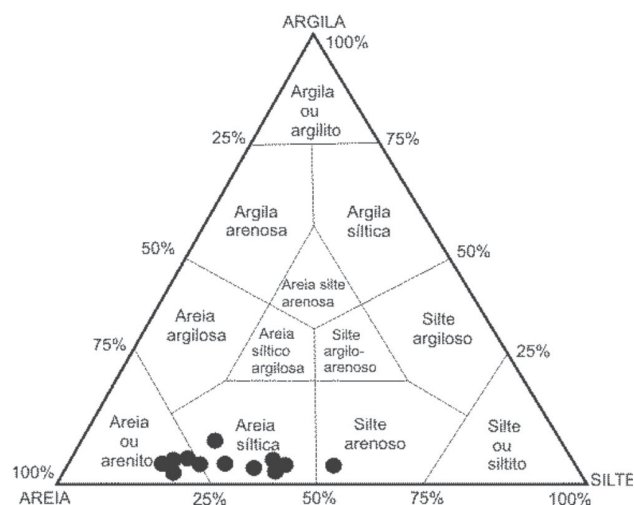


FIGURA 2. Diagrama de Shepard para amostras de perfil de poços amazonas da área estudada.

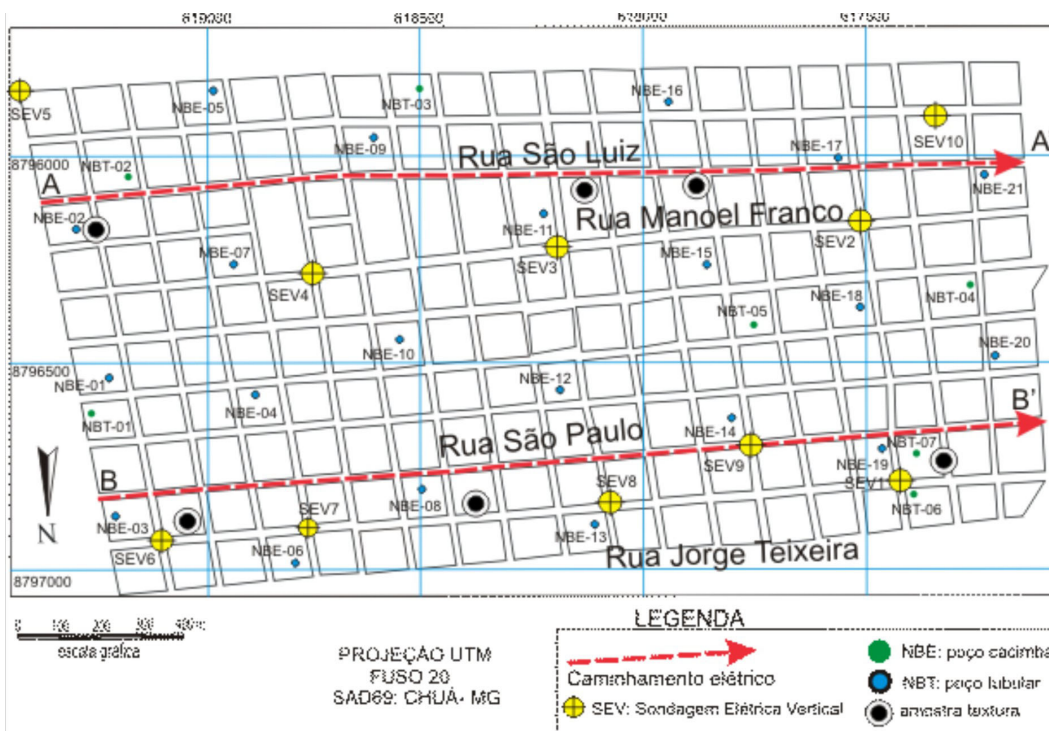


FIGURA 3. Mapa de localização dos ensaios geolétricos, pontos de coleta de água e textura.

TABELA 1. Variação de medidas do nível freático em poços cacimba do Bairro Nova Brasília.

Poços (NBE)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Profundidade (m)	18,35	22,5	13,63	11,50	16,80	9,40	13,50	7,00	13,50	7,00	9,00
Poços	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Profundidade (m)	9,00	5,00	5,00	8,00	10,53	4,80	4,80	4,50	9,50	4,30	

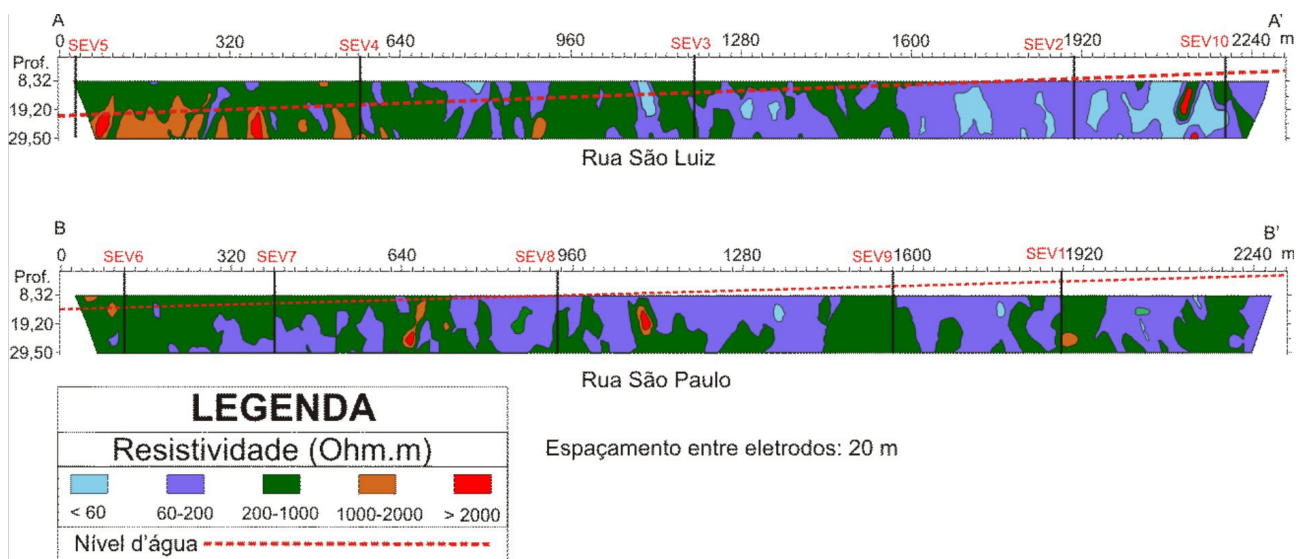


FIGURA 4. Perfil geolétrico e localização das SEVs realizadas nas ruas São Paulo e São Luiz em Ji-Paraná.

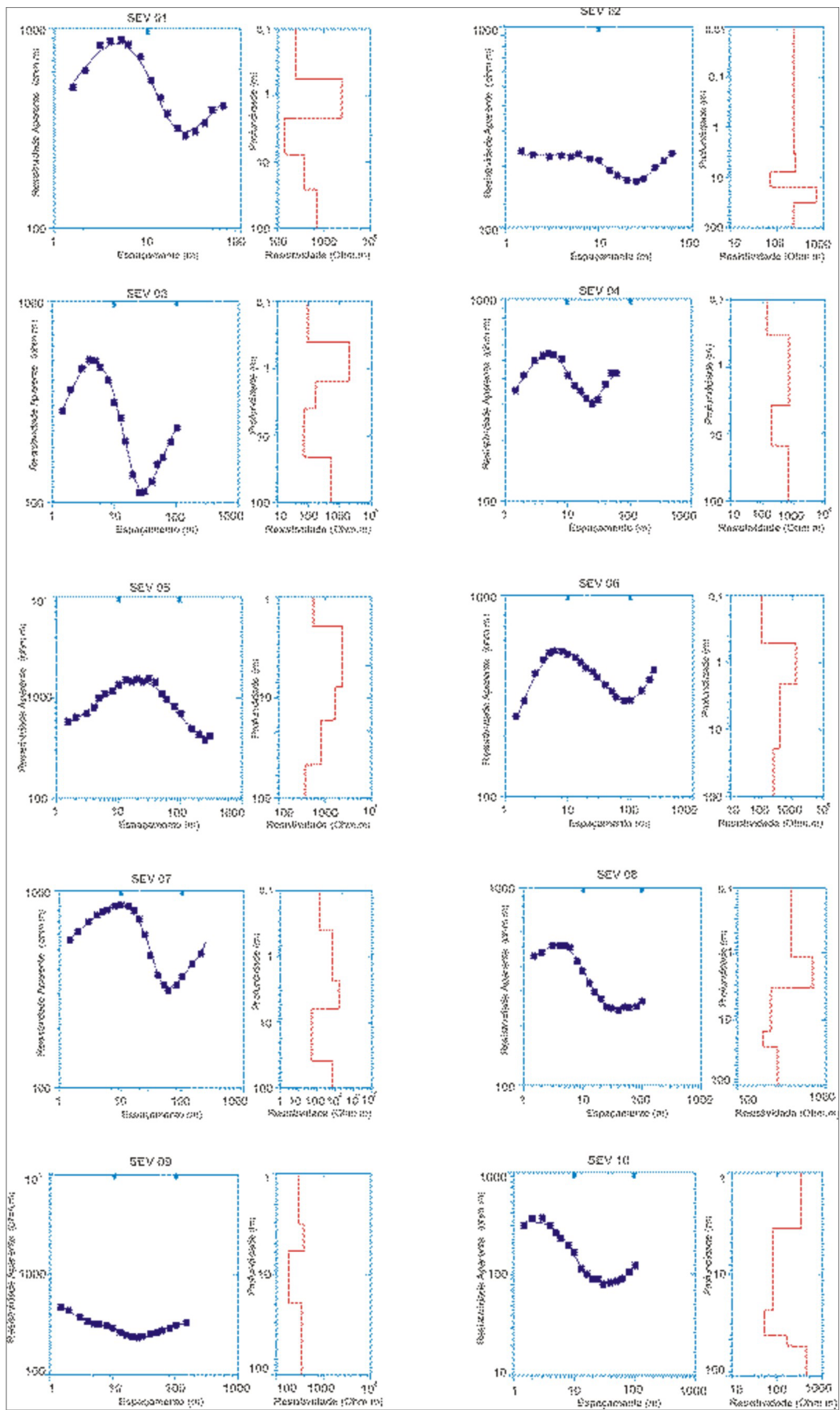


FIGURA 5. Sondagens Elétricas realizadas no Bairro Nova Brasília.

TABELA 2. Modelo proposto para as faixas de resistividade ($\Omega.m$) obtidas.

Resistividade	Interpretação
< 60 $\Omega.m$	zona com possibilidade de maiores concentrações iônicas, indicativas de presença de pluma de contaminação oriunda do sistema séptico
60 a 200 $\Omega.m$	Zona de impacto iônico mediano, produzido pela pluma contaminante
200 e 1000 $\Omega.m$	background de resistividade da região refletindo a predominância de textura arenosa da área
1000 a 2000 $\Omega.m$	zonas de alteração da rocha granítica
> 2000 $\Omega.m$	rocha sã

desta linha de caminhamento, apresentou concentração de 39,9 mg.L⁻¹ de nitrato, indicando que a contaminação oriunda das fossas está alcançando níveis cada vez mais profundos através de fraturas da rocha.

Na maioria das residências, as fossas são construídas na frente do terreno, desta forma a influência do chorume nos ensaios geoeletricos foi nitidamente observada nos perfis. A influência dos contaminantes no imageamento elétrico determinam zonas de baixa resistividade elétrica, abaixo de 60 $\Omega.m$.

O fluxo de água subterrânea, aliado a condições geológicas específicas, como a presença de camadas lateríticas, que podem apresentar anomalias com contrastes resistivos bastante significativos nos ensaios geoeletricos, como os observados à direita da seção da Rua São Luiz e na parte intermediária da Rua São Paulo.

Interferência significativa de ruídos foram observadas na SEV 5 e SEV 6, causadas principalmente pela abertura dos eletrodos sobre tubulações de água, cruzamento de asfalto e calçadas, problemas estes, inerentes a ensaios geoeletricos realizados em zona urbana (Tabela 3).

A fossa séptica em construção (Figura 6) mostra no detalhe, a migração de chorume de outra fossa antiga

e desativada, situada a aproximadamente 1,5 m de distância (à direita na figura), onde se percebe o movimento preferencial horizontalizado da pluma na camada de cascalho.

Essa movimentação horizontal da pluma no meio insaturado da área estudada resulta numa zona de baixa resistividade ao longo das seções geoeletricas.

TABELA 3. Nível d'água e topo rochoso observado nas sondagens elétricas.

SEVs	NA (m)	Topo da Rocha (m)
1	2,00	30
2	1,00	25
3	4,00	30
4	4,00	25
5	17,00	200
6	19,00	100
7	7,00	50
8	12,00	30
9	5,00	30
10	2,00	40

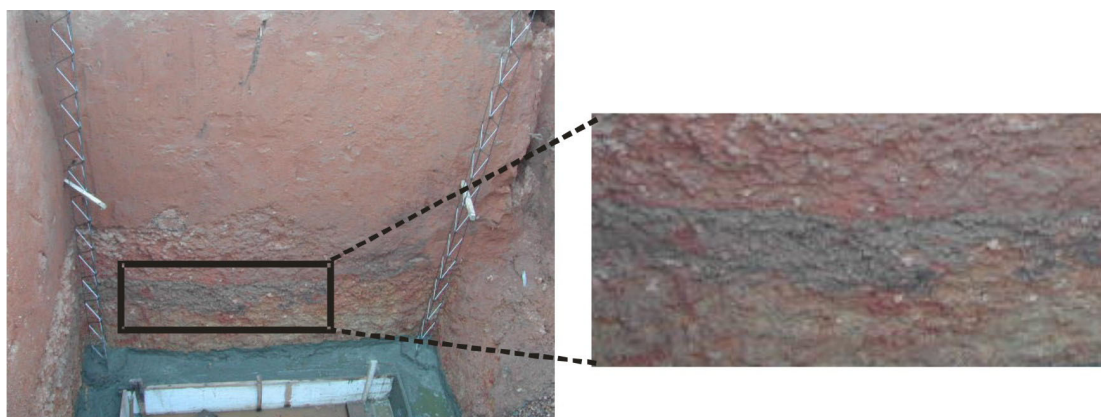


FIGURA 6. Detalhe de migração de chorume durante construção de fossa.

CONCLUSÕES

Apesar das limitações impostas por ruídos, com influências horizontais (ou laterais) na interpretação das SEVs, a técnica demonstrou ser adequada para os levantamentos, principalmente quando as camadas geoeletricas foram confrontadas com as seções resultantes dos caminhamentos geoeletricos e o nível freático obtido pelas medições nos poços amazonas da área.

Os ensaios de caminhamento elétrico permitiram a construção de um modelo geoeletrico bidimensional (2D), onde as anomalias de baixa resistividade caracterizam as zonas com presença de contaminantes oriundos das fossas.

Os modelos geoeletricos obtidos das sondagens e caminhamento elétrico refletem a variação litológica caracterizada pela cobertura coluvionar/aluvionar que ocorre na área, além da menor ou maior concentração salina nos solos e nas águas, resultante da deposição de dejetos nas inúmeras fossas localizadas na área estudada.

Dessa inferência, conclui-se que não existe uma distância segura na locação de poços nesta região de textura predominantemente arenosa, sejam rasos ou profundos, pois a anomalia condutiva persiste até

próximo do limite de profundidade alcançado pelo método.

O aquífero estudado, apesar de se constituir numa importante fonte de recursos hídricos é, ao mesmo tempo, de grande vulnerabilidade ambiental, por se tratar de um sistema urbano raso com alta permeabilidade. A grande quantidade de fossas domésticas instaladas na região, o torna susceptível à introdução de compostos diversos, principalmente os nitrogenados (degradados da matéria orgânica), determinados pelas altas concentrações de NO_3^- detectada nos poços.

A pluma de contaminantes indicada pelos ensaios geoeletricos e detectada em análises químicas das águas de poços mostra, que mesmo as zonas de maior profundidade do aquífero, encontram-se com concentrações significativas de íons cloreto e nitrato, correspondendo às anomalias de baixa resistividade.

Em síntese, os métodos aplicados e os resultados obtidos neste estudo mostram a importância de se identificar contaminações oriundas de despejos domésticos em fossas, localizadas em área urbanizada, sendo capaz de dar suporte à decisão regulatória administrativa.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Geologia Aplicada da UNESP/RC, pelo empréstimo de equipamentos de campo utilizados neste trabalho; ao Corpo de Bombeiros de Ji-Paraná, pelo auxílio na coleta das amostras de solo; ao laboratório de solos do Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) de Ji-Paraná, pela análise textural das amostras de solo e ao técnico da UNESP/RC, Francisco M. G. Barrera pelo auxílio nos trabalhos de campo. O primeiro autor agradece ainda o apoio financeiro da CAPES na forma de bolsa de estudos de doutorado PICDT, que gerou este artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACCI, D.C. Esboço geológico da Gleba Machadinho D'Oeste, RO. **Comunicado Técnico** 17. ISSN 1415-2118. Campinas, SP: EMBRAPA. Dez. 2005.
2. BRAGA, A.C.O. **Curso Básico de Geofísica Aplicada Módulo 1: Métodos Geoeletricos Aplicados a Hidrogeologia**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1999. CD-ROM.
3. CUNHA, L.F.J. **Mapeamento da pluma de contaminação em depósito residual da indústria de couro, através de métodos geofísicos: Dois casos em Mato Grosso**. Cuiabá, 2005. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso.
4. ELIS, V.R. **Avaliação da Aplicabilidade de Métodos Elétricos de Prospecção Geofísica no Estudo de Áreas Utilizadas para Disposição de Resíduos**. Rio Claro, 1999. 1 v., 264 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
5. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisas de Solo-CNPS. Rio de Janeiro, 2ª ed. rev., 212 p., 1997.
6. FERNANDES, L.C. & GUIMARÃES, S.C.P. **Boletim climatológico de Rondônia**. Secretaria de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Porto Velho: SEDAM, 36 p., 2002.
7. GALLAS, J.D.F.; TAIOLI, F.; SILVA, S.M.C.P.; COELHO, O.G.W.; PAIM, P.S.G. Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 1, p. 51-59, 2005.
8. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável - Brasil 2004**. Comunicação Social – novembro de 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias>. Acesso em: 12abr2007.
9. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da população 2007**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>. Acesso em: 10jun2008.
10. INTERPEX LIMITED. **IX1D v.2.04: User's manual**. Colorado, USA: Golden, 2002.
11. LOKE, M.H. RES2DINV v. 3.53. Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least square method: **Manual**. Penang (Malaysia): Geotomo Software, 2003.

12. LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. Cambridge University Press, 2nd ed., 375 p., 2007. Online version available at: <http://knovel.com/web>
13. MATOS, B.A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. São Paulo, 2001. 160 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Universidade Federal de São Paulo.
14. MILSOM, J. **Fields Geophysics**. The Geological Field Guide Series. John Wiley & Sons Ltd., 3rd ed., 232 p., 2003.
15. MOURA, E.P. & MALAGUTTI FILHO, W. Método de eletrorresistividade e de polarização induzida aplicados na área de disposição de resíduos urbanos: Aterro controlado de Rio Claro-SP. **Geociências**, v. 22, n. especial, p. 129-139, 2003.
16. MOREIRA, C.A.; DOURADO, J.C.; SANTOS, K. Geofísica aplicada no estudo de área de lançamento de efluentes de tratamento de esgoto. **Geociências**, v. 26, n. 1, p. 17-25, 2007.
17. MORAIS, P.R.C. **Mapa hidrológico do Estado de Rondônia**. Escala 1:1.000.000. Texto explicativo. Porto Velho: CPRM. 40 p., 1 mapa color, 1998.
18. MS – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 518 do Ministério da Saúde**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 28 p., 2005.
19. PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório do desenvolvimento humano 2006: Poder, pobreza e crise mundial da água**. Plaza, New York, New York, U.S.A., 2006.
20. SILVA, R.W.C. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios - o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP**. Rio Claro, 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista.
21. SILVA, A.C.; DOURADO, J.C.; KRUSCHE, A.V.; GOMES, B.M. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas do aquífero freático em Ji-Paraná- RO. **REA- Revista de Estudos Ambientais** (Online), v. 11, n. 2, p. 101-112, 2009.
22. TANNENBAUM, S.R. & GREEN, L.C. **Select abstract on the role of dietary nitrate and nitrite in human carcinogenesis**. In: INTERNATIONAL CANCER RESEARCH DATA BANK PROGRAM. National Cancer Institute. Washington, D.C., 1985.
23. ZEMAN, C.L.; KROSS, B.; VLAD, M. A nested case-control study of methemoglobinemia risk factors in children of Transylvania. Romania. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 8, p. 817-822, 2002.

*Manuscrito Recebido em: 1 de fevereiro de 2011
Revisado e Aceito em: 13 de setembro de 2011*