



## Aplicação de sondagens elétricas verticais no estudo da contaminação na lixeira de Porto Velho (RO)

Adeilton Fernandes da Costa \*, DMAT/UNIR - Porto Velho, Brasil

Walter Malagutti Filho, IGCE/UNESP - Rio Claro, Brasil

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica.

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

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> 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 paper presents the results of the application of the electric resistivity geophysical method, by mean of vertical electrical sounding (Schlumberger configuration), were done at the waste disposal area, in city of Porto Velho, State of Rondônia, Brazil with the objective to identify the contamination of underground at the waste disposal area. The local geology is constituted by pleistocenian sediments (clay-sandy litology with lateritic concretionary) overlies granitic rocks of Santo Antônio Formation.

### Introdução

O crescimento desordenado da maioria das cidades brasileiras nas últimas décadas requer cada vez mais a eficiência dos serviços públicos. Em Porto Velho – RO como em outras cidades do Brasil, existem graves problemas relacionados com a falta de uma política de preservação ambiental adequada para a limpeza urbana.

O lixo, resíduo sólido resultante da atividade das aglomerações humanas, é um desses problemas, o qual se tornou objeto desta pesquisa. A contaminação do solo ocorre por intermédio da infiltração do chorume, líquido gerado pela passagem da água através do lixo em processo de decomposição. O chorume possui elevada carga de poluentes orgânicos e inorgânicos que contamina, por lixiviação, as águas superficiais, e por percolação, o manto de alteração, podendo atingir as águas subterrâneas influenciando negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população (Leite et al, 2004).

Neste estudo procurou-se efetuar uma avaliação do depósito de resíduos sólidos urbanos (lixeira) de Porto Velho, a partir da integração geológica de campo, análise físico-químicos e bacteriológico de amostras d'águas das nascentes e poços locais, e de dados obtidos nos ensaios de eletrorresistividade executados com técnica sondagem elétrica vertical (SEV), visando a identificação de anomalias existentes no subsolo da área deste depósito.

### Caracterização da área

A lixeira de Porto Velho possui uma rede viária bem estabelecida, de acesso fácil e rápido por estar na margem direita da rodovia BR-364, sentido Rio Branco – AC. Fica a aproximadamente 4 km da margem direita do Rio Madeira, 1 km do *Campus* da Universidade Federal de Rondônia - UNIR e a 12 km da zona urbana de Porto Velho. Há poucos metros da lixeira fica a comunidade da Vila Princesa, onde moram 193 famílias, parte delas sobrevive da reciclagem deste

subproduto, a água que abastece esta comunidade vem de três poços locais (PC1, PC2 e PC3), Figura 1.

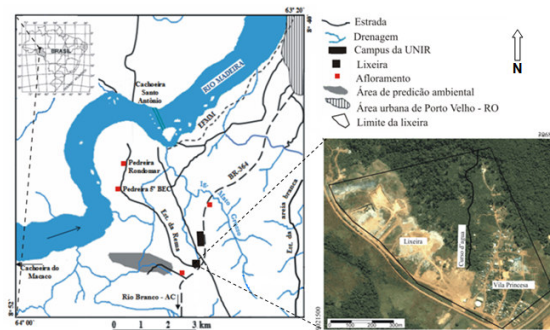


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (adaptado de Krebs et al, 1999 e Rizzotto, 2005)

Segundo a Secretaria Municipal de Serviços Públicos (SEMUSP) este depósito teve origem em 1993 com um lixão a céu aberto e a partir de 2004 passou a ser depositado em células e coberto por uma camada de aproximadamente 60 cm de solo residual, originária da escavação de novas células. A disposição final dos resíduos sólidos urbanos, coletados em Porto Velho, é uma área total de 51 ha, aproximadamente 50% já ocupada com os resíduos, o restante corresponde à Vila Princesa e vale com nascentes e floresta parcialmente nativa (Krebs et al., 1999).

Segundo a classificação de Köppen o clima de Porto Velho é tropical chuvoso, tipo Aw. O solo sob a lixeira é caracterizado por latossolos espessos, com horizonte concrecionário colunar, desenvolvidos sobre sedimentos argilo-arenosos da Formação Jaciparaná incipientemente consolidados e lateríticos imaturos, idade Pleistoceno, assentados em rochas graníticas da Suíte Intrusiva Santo Antonio, idade Proterozóico Médio (Bettencourt et al., 1995). Estas rochas estão afetadas por intenso processo de fraturamento, predominantemente rúptil (Rizzotto, 2005). Do ponto de vista geológico-geotécnico estes solos são bem drenados, apresentam elevado volume de vazios, baixa massa específica aparente e elevada permeabilidade, devido à sua estrutura macroporosa e microagregada. Por outro lado, esta estruturação confere-lhes uma baixa suscetibilidade aos processos erosivos (Reis et al., 1996; Krebs et al., 1999).

A área da lixeira apresenta um relevo suavemente ondulado a ondulado, com declividades que variam entre 2% e acima de 20%. A zona alta apresenta cotas altimétricas variando de 100 a 110 m e a zona baixa com cotas próximas a 60 m. O local onde se situa o depósito corresponde a um pequeno divisor de águas, com geometria alongada em forma de tabuleiro intensamente dissecado pelas drenagens. Nas encostas deste tabuleiro, ocorrem nascentes que dão origem a um pequeno curso de água originando um igarapé, próximo à lixeira, que deságua no igarapé Mato Grosso e segue em direção ao Rio Madeira. No entorno do depósito pode-se ainda verificar a presença de floresta nativa, onde ocorrem árvores de grande porte. A Figura 2 apresenta o mapa topográfico da área da lixeira com direção da drenagem superficial.

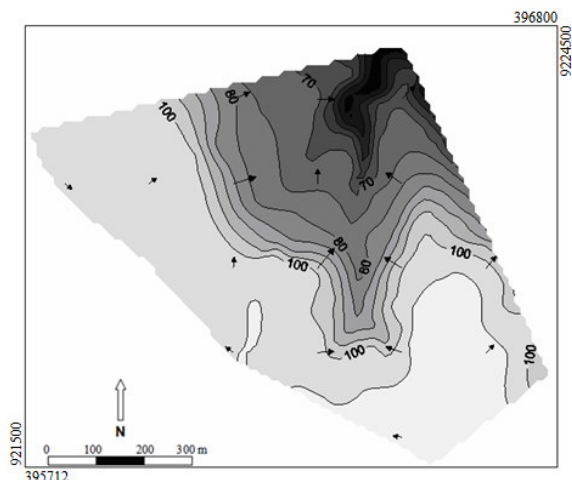


Figura 2: Mapa topográfico da área de estudo com direção da drenagem superficial

## Metodologia

### Eletrorresistividade

O emprego do método geofísico de eletrorresistividade se baseia nas rochas que, em função de suas composições mineralógicas, texturais e disposições, apresentam a propriedade elétrica da resistividade. É um dos métodos mais utilizados em estudos ambientais, podendo fornecer informações sobre o perfil natural do solo; profundidade do substrato rochoso e zona saturada; detecção e mapeamento de contaminação e zonas de fraturas.

Este método emprega uma corrente elétrica para identificar variações de resistividade elétrica no meio. Esta corrente é introduzida na superfície do solo através de dois eletrodos de corrente (A e B) com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos de potencial (M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, Figura 3.

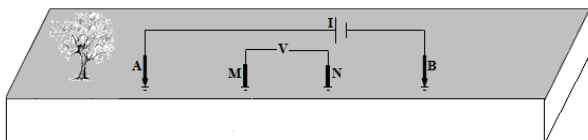


Figura 3: Disposição dos eletrodos no solo

As relações entre corrente elétrica ( $I$ ), potencial elétrico ( $\Delta V$ ) e disposição geométrica dos eletrodos no terreno (dada pela constante  $K$ ) permitem calcular a resistividade aparente em subsuperfície ( $\rho_a$ ), a partir da equação:

$$\rho_a = \frac{K \cdot \Delta V}{I}$$

### Sondagem elétrica vertical

Esta técnica consiste na investigação das variações da resistividade aparente, em profundidade, obtida a partir de medidas efetuadas sob um ponto fixo na superfície do terreno. Foram executadas no local 9 SEVs utilizando arranjo *Schlumberger* com abertura máxima AB de 300m. Detalhes sobre a fundamentação da técnica podem ser obtidos em Gallas (2001), Moura & Malagutti Filho (2003), Santos (2005) e outros. Para realização dos ensaios geofísicos foi utilizado o

equipamento *Terrameter*, modelo SAS 4000, da ABEM Instruments.

### Análise físico-química e bacteriológica

Para uma interpretação integrada com os dados geológicos e de resistividade, foram analisadas amostras de águas de três poços, um tipo tubular (PC1) e dois amazonas (PC2 e PC3), com profundidades 56m, 20m e 19m, respectivamente e; de duas nascentes NS1 e NS2, existentes no local. Nestas análises foram observados os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, por estar associada ao teor de sais dissolvidos na água; pH, para indicar grau de acidez da água; coliformes fecais, na indicação de matéria fecal e; nitrato e cloreto por ser bons parâmetros para diagnosticar a qualidade das águas (Argoss, 2001).

### Resultados

Os resultados obtidos foram apresentados em seções de resistividades a partir de interpretações quantitativas. As SEVs 1, 2, 3, 4 e 5 foram escolhidas, para discussão nesse artigo, por estarem diretamente sob influência das células de resíduos soterrados.

Na interpretação das SEVs foram utilizados o método direto e o inverso, no primeiro a curva foi ajustada a partir de um modelo da superposição e ponto auxiliar de Ebert (Braga, 1988) e no segundo ajustada por inversão no programa IX1D v.3, que se baseia no método dos mínimos quadrados (Inman, 1975). Estes ajustes são realizados sempre em conformidade com a geologia da área de estudo. A Figura 4 apresenta a SEV3, com a curva ajustada por estes métodos, o modelo geoeletrico calculado e o modelo geoeletrico interpretado (com valores de resistividade e profundidade das camadas, obtidos a partir da superfície). Os dados obtidos nas SEVs forneceram dados a respeito das posições dos diversos materiais de subsuperfície e da zona saturada

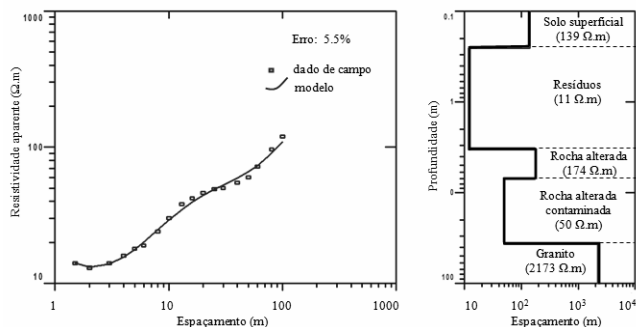


Figura 4: Interpretação da SEV3

As SEVs permitiram o traçado dos perfis A, B, C e D (Figura 5) que resultaram nas seções de resistividade aparente I, II, III e IV, respectivamente. As seções I, II e III alinhadas na direção NW-SE (Figuras 6, 7 e 8) e a seção IV na direção S-N (Figura 9), permitiram uma interpretação qualitativa preliminar dos dados, servindo como ponto de partida para a interpretação quantitativa mais refinada.

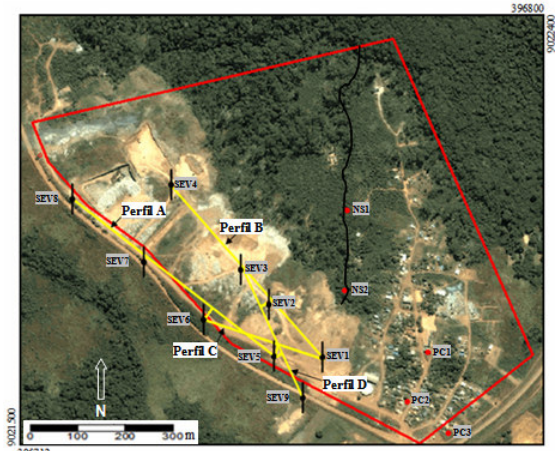


Figura 5: Localização das seções de resistividade na área da lixeira de Porto Velho

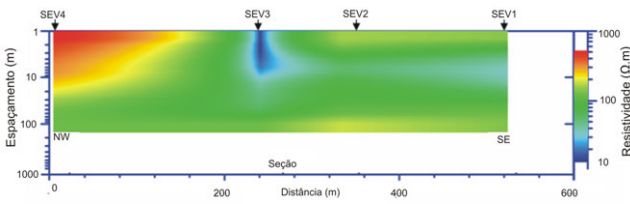


Figura 6: Seção de resistividade aparente, obtida a partir das SEVs 1,2, 3 e 4

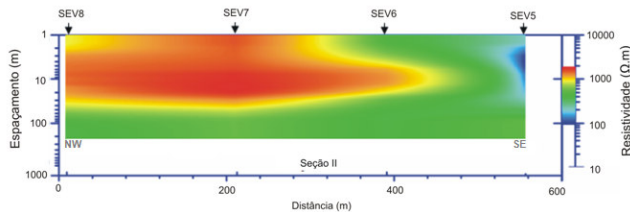


Figura 7: Seção de resistividade aparente, obtida a partir das SEVs 5, 6, 7 e 8

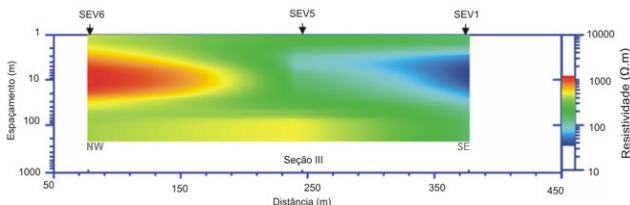


Figura 8: Seção de resistividade aparente, obtida a partir das SEVs 1, 5 e 6

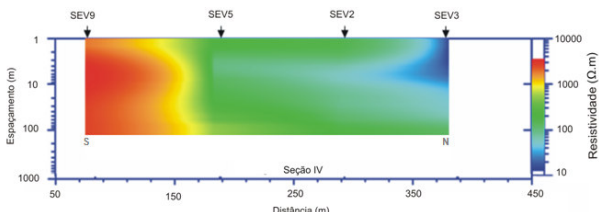


Figura 9: Seção de resistividade aparente, obtida a partir das SEVs 2, 3, 5 e 9

Na SEV3 (seção I) observa-se à existência de uma anomalia penetrativa de baixa resistividade e de disposição tendendo a verticalidade, sugerindo como ponto promissor da contaminação na rocha fraturada. Como os ensaios de campo foram realizados no período de alta precipitação pluviométrica

(final de novembro), há um aumento, nesta época, da quantidade de água infiltrada no solo, aumentando o volume de chorume gerado, o que justifica esta anomalia estar aumentada.

A partir dos resultados obtidos na seção e modelo geoeletrico pôde-se observar o contraste significativo entre os valores de resistividade do solo não saturado e do solo contaminado pelo chorume, resultado da decomposição do lixo.

A partir das cotas da zona saturada, nas SEVs, e do NA dos poços, determinou-se a cota do lençol freático livre, estes dados associados às coordenadas planialtimétricas em cada ponto, permitiram traçar o mapa potenciométrico da área da lixeira, Figura 5.10. O sentido do fluxo local indica duas direções preferenciais: (1) uma para Norte e (2) outra para Nordeste.

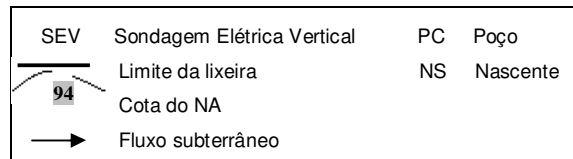
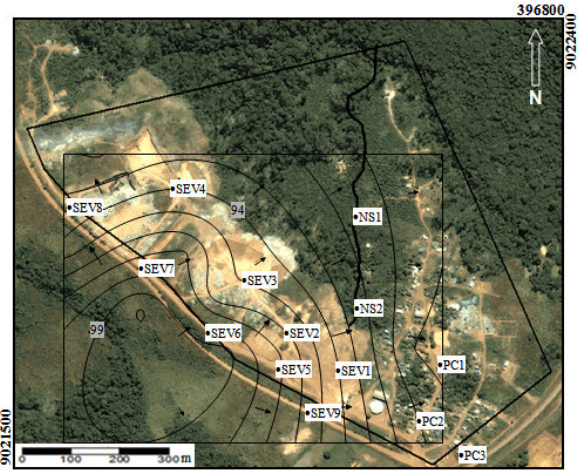


Figura 5.1: Mapa potenciométrico da área da lixeira

A Tabela 1 apresenta o modelo proposto para as SEVs 1, 2, 3, 4 e 5, em conformidades com os trabalhos de Krebs et al. (1999); Reis et al. (1996) e Adamy e Romanini (1990) e observações locais.

Tabela 1: Modelo geoeletrico proposto para a área das SEVs do Grupo I

Horizonte	Espessura (m)	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Materiais
1	0.3 a 1.1	$139 \leq \rho \leq 1375$	Solo superficial sêco
2	3.1 a 4.5	$11 \leq \rho \leq 49$	Resíduos
3	3.3 a 33.8	$20 \leq \rho \leq 834$	Rocha alterada
4	-	$301 \leq \rho \leq 2173$	Granito e/ou concr. lateríticas

Neste modelo o primeiro horizonte geoeletrico, com resistividades variando de 139  $\Omega \cdot m$  a 1375  $\Omega \cdot m$  refere-se à cobertura residual, relacionada aos sedimentos argilo-arenoso com concreções lateríticas (Reis et al., 1996; Krebs et al., 1999). Este material é retirado do próprio aterro dando origem a novas células.

O segundo horizonte com baixos valores de resistividade (< 50  $\Omega \cdot m$ ) corresponde aos resíduos soterrados, com profundidade máxima aproximada de 5.6 m, em conformidade com testemunhos locais e dados obtidos de Porto Velho (1993).

O terceiro horizonte, relativo à zona saturada, corresponde a sedimentos de textura argilo-arenosa com concreções lateríticas



(Reis et al, 1996). O baixo valor de resistividade ( $\leq 50 \Omega.m$ ) associado ao valor da condutividade (resistividade) 1114  $\mu S/cm$  ( $9 \Omega.m$ ) da nascente NS2 (Tabela 5.1), caracteriza uma anomalia de baixa resistividade, indicando que a maior contaminação desta nascente se concentra neste horizonte.

O quarto horizonte, interpretado como embasamento geoeletrico resistivo, indica a ocorrência de rochas graníticas relacionadas ao Proterozóico Médio (granitos do tipo Santo Antônio) e/ou concreções lateríticas (Adamy e Romanini, 1990; Reis et al., 1996; Krebs et al., 1999).

Os resultados geofísicos-geológicos, analisados e interpretados, mostraram uma área altamente condutora, devido a grande quantidade de resíduos depositados no solo e a percolação de chorume no subsolo.

### Conclusões

Os resultados geoeletricos interpretados em conjunto com dados geológicos e hidrográficos do local, permitiram uma avaliação preliminar da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Porto Velho – RO.

Desta forma, a análise integrada dos dados geofísicos invertidos, geológicos de campo e físico-químicos e bacteriológicos mostraram ser um importante recurso no estudo de contaminação provocada pelo percolado.

O quarto horizonte na SEV3 contaminado apresenta baixo valor de resistividade ( $50 \Omega.m$ ). Considerando que o topo da zona saturada está neste horizonte, é possível que o aquífero livre esteja contaminado. Isto se justifica pela alta condutividade (baixa resistividade) 1114  $\mu S/cm$  ( $9 \Omega.m$ ) na nascente NS2, que deságua no Igarapé próximo e segue em direção ao Rio Madeira. Esta contaminação da NS2 é confirmada por Martins et al. (2006).

A nascente NS1, que se direciona a Vila Princesa, apresentou condutividade (resistividade) 92.6  $\mu S/cm$  ( $108 \Omega.m$ ) indicando que o subsolo onde esta localizada a Comunidade, aparentemente, ainda não esta contaminado pelo chorume, o que é confirmado pela baixa condutividade (alta resistividade) 16.3  $\mu S/cm$  ( $613 \Omega.m$ ) e 18.6  $\mu S/cm$  ( $538 \Omega.m$ ), medidas nos poços PC2 e PC3, respectivamente. Estes poços também apresentaram teores de nitrato e coliformes fecais acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

Nesta avaliação preliminar, a contaminação das águas da nascente NS1 e dos poços não pode ser atribuída exclusivamente à ação do chorume, mais aos dejetos de rede de esgotos, a grande quantidade de fossas sépticas próximas e as infiltrações das águas superficiais no solo contaminado por metais pesados (Santos, 2006).

A metodologia utilizada permitiu determinar o topo da zona saturada, delimitar o horizonte de resíduos soterrados, perfil geológico vertical do solo e uma avaliação parcial da contaminação das águas das nascentes e poços.

A presença de anomalias de baixa resistividade nos seções de resistividade está associada aos resíduos soterrados e/ou áreas contaminadas pelo percolado no manto de alteração.

A contaminação, proveniente da lixeira, que tende a aumentar no período chuvoso (novembro a abril) estende-se na horizontal no sentido leste-nordeste, concordando com o gradiente altimétrico e fluxo subterrâneo, e na vertical por percolação no solo e/ou na rocha fraturada, compromete o lençol subterrâneo livre e aquífero, locais.

Outro dado a ser considerado, são as famílias que residem na Vila Princesa, elas estão inalando diariamente e de forma interrupta os gases gerados pela lixeira, ocasionando sérios problemas de saúde.

Conclui-se que, a forma de como está instalada a lixeira, não esta em conformidade com os critérios da Legislação Ambiental Federal, no que se refere à distância de corpos d'água, a presença de vegetação de preservação, topografia, drenagem e principalmente por estar assentada em meio permeável e fraturado.

### AGRADECIMENTOS

À CAPES, agência que financiou parte desta pesquisa, na forma de bolsa do PICDT. Ao Departamento de Geologia Aplicada do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP - Rio Claro/SP por ceder os equipamentos geofísicos para realização dos ensaios em Porto Velho - RO.

### Referências

**Adamy, A.; Romanini, S. J.** Geologia da região de Porto Velho – Abunã. Brasília: DNPM/CPRM, 1990. 273 p.

**Argoss.** Guidelines for assessing the risk to groundwater from on site sanitation. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/142. 97 p. 2001.

**Bettencourt, J. S.; Tosdal, R.; Leite, Jr. W. B.; Payolla, B. L.** Overview of the rapakivi granites of the Rondônia Tin Province (RTP). SYMPOSIUM ON RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS. Belém: UFPA, Relatório, 1995.

**Braga, A. C. O.** Geofísica aplicada a geologia de engenharia, segmentos e métodos elétricos: sondagem elétrica vertical, caminhamento elétrico. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Apostila, 1988. 81 p.

**Gallas, J. D. F.; Taioli, F.; Malagutti Filho, W.; Prado, R. L.; Dourado, J. C.** Métodos e técnicas geoeletricas rasas na delimitação de área afetada por ruptura em teto de túnel urbano. Revista Brasileira de Geofísica. v.19, n.1, São Paulo, 2001.

**Inman, J. R.** Resistivity inversion with ridge regression. Geophysics, n.40, p. 789-817, 1975.

**Krebs, A. S. J.; Adamy, A.; Reis, M. R.** Alternativas locais para a disposição de resíduos sólidos urbanos na área de Porto Velho-RO. Porto Velho: CPRM, Relatório, 1999.

**Leite, S. P.; Heredia, B.; Medeiros, L. S.; Palmeira, M.; Cintrão, R. P.** Impactos dos assentamentos rurais: Um estudo sobre o meio rural brasileiro. Brasília – NEAD. São Paulo: UNESP, 2004.

**Martins, A. S.; Santos, J. P.; Torezani, Y. L. S.; Corte, G. T.; Cabral, C. M.; Souza, D. O.; Bastos, W. R.; Bernadi, J. V. E.; Almeida, R.; De Carvalho, D. P.** Avaliação de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos no Igarapé próximo ao campus da UNIR sob influência do lixão municipal. IX Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia, 2006, São Pedro: Vida e Consciência, 2006. p. 01-212.

**Moura, H. P. & Malagutti Filho, W.** Métodos de Eletroresistividade e de Polarização Induzida Aplicados na Área de Disposição de Resíduos Urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro – SP. Geociências, 22, p.129-139, Unesp - São Paulo, 2003.

**Porto Velho - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação.** Instalação da lixeira municipal – Levantamento altimétrico. Porto Velho: SEPLAN, 1993. 1 Mapa, Escala 1:2000.

**Reis, M. R.; Pereira, L. A. C.; Reis, M. F. P.; Silva Filho, E, P.; Morais, P. R. C.** Avaliação preliminar da Área Periurbana de Porto Velho (APPV) para a disposição de Resíduos Urbanos. Porto Velho: CPRM, v.1, 1996.

**Rizzotto, G. J.** Projeto Rio Madeira. Levantamento de informações para subsidiar o estudo de viabilidade do

---

aproveitamento hidrelétrico (AHE) do Rio Madeira, AHE Santo Antônio. Porto Velho: CPRM, Relatório de pesquisa, 2005. 235p.

**Santos, F. M.** Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação de águas subterrâneas no lixão de Cuiabá – MT. 2005, 88 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Cuiabá: UFMT, 2005.

**Santos, J. P.** Caracterização de Cd, Co, Cu, Pb, Cr, Fé, Mn, Zn e Hg da lixeira urbana de Porto Velho – RO. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Departamento de Biologia, Porto Velho: UNIR, 2006, 77 p.