

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
ATERRO SANITÁRIO DE CUIABÁ – MT.**

ALDECY DE ALMEIDA SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. SHOZO SHIRAIWA

Cuiabá, MT.
Junho de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO
ATERRO SANITÁRIO DE CUIABÁ – MT.**

ALDECY DE ALMEIDA SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física e Meio Ambiente. Área de Concentração: Geohidro.

ORIENTADOR: PROF. DR. SHOZO SHIRAIWA

Cuiabá, MT.
Junho de 2008

Santos, Aldecy de Almeida
S237q **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na
área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-
MT**./..Aldecy de Almeida Santos. – Cuiabá, MT 2008 /
Instituto de Física
xv. 111 f. : il.: 29 cm

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de
Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação
em Física Ambiental, 2008.

Orientador: Shozo Shiraiwa

Bibliografia: p. 95-107

1. Análise de qualidade da água. 2. Poluição da água. 3.
Contaminação de águas de superfície. 4. Contaminação de
águas subterrâneas. 5. Análise geofísica da água. 6. Recursos
hídricos. 7. Lixiviado. 8. Aterro sanitário de Cuiabá. I.
Título.

CDU 543.3:556.3/.5:628.472.3(817.2)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Título: QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA
ÁREA DE INFLUÊNCIA DO ATERRO SANITÁRIO DE CUIABÁ –
MT.**

Autor: ALDECY DE ALMEIDA SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em 19 de Junho de 2008, pela comissão julgadora:

Prof. Dr. Shozo Shiraiwa (Orientador)
(ICET – UFMT)

Prof. Dr. Renato Blat Migliorini (Examinador Externo)
(ICET – UFMT)

Prof. Dr. Luiz Airton Gomes (Examinador Externo)
(FAET– UFMT)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais “Áurea e Manoel Carmelindo”, meus irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Shozo Shiraiwa, pela orientação e apoio durante o curso de mestrado, servindo como exemplo de dedicação às profissões de professor e pesquisador.

Ao Professor Dr. Renato Blat Migliorini, pela atenção e pelos ensinamentos referentes às águas subterrâneas.

Aos Professores do Departamento do Curso de Eng. Sanitária e Ambiental Dr. Paulo Modesto Filho, Dr. Luiz Airton, Dr. Irineu Francisco Neves e MSc. Liliana Zeilhofer.

Ao Professor Dr. Edinaldo de Castro e Silva e a analista de laboratório Aparecida de Guimarães do Departamento de Química.

Aos meus colegas: Halley Rodrigues Filho, Welitom Tattom Pereira Silva, Alexandra N. O. Silvino e Neli Assunção Silva pela dedicação ao trabalho, desde a coleta até o laboratório e análises.

A FAPEMAT, pelo apoio financeiro ao projeto “ESTUDOS GEOFÍSICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE CUIABÁ” Processo 536/05.

A CAPES, pela bolsa de mestrado concedida durante mais de um ano.

À Prefeitura Municipal de Cuiabá, por permitir a realização dos estudos na área do aterro.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | IX |
| LISTA DE TABELAS..... | X |
| LISTA DE QUADRO..... | XI |
| LISTA DE ABREVIATURAS | XII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XIII |
| RESUMO | XIV |
| ABSTRACT | XV |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 4 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 4 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS | 6 |
| 3.2 ATERRO SANITÁRIO | 9 |
| 3.3 CHORUME, LÍQUIDOS PERCOLADOS OU LIXIVIADOS..... | 11 |
| 3.4 POLUIÇÃO AMBIENTAL..... | 14 |
| 3.4.1 Poluição do Ar Relacionado com Lixo | 15 |
| 3.4.2 Formação da Pluma de Contaminação..... | 16 |
| 3.5 TRABALHOS NA ÁREA DE POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE ÁGUA SUPERFICIAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE ATERRO SANITÁRIO..... | 21 |
| 3.6 APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS | 25 |
| 4 ÁREA DE ESTUDO | 28 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO | 28 |
| 4.1.1 Localização da Área..... | 28 |
| 4.1.2 Geologia da Área..... | 30 |
| 4.1.3 Histórico..... | 36 |
| 4.1.4 Central de Destinação Final de Resíduos Sólidos de Cuiabá..... | 38 |
| 4.1.4.1 Setor de Recepção e Pesagem..... | 38 |
| 4.1.4.2 Esteiras de Triagem..... | 39 |
| 4.1.4.3 Setor de Triagem de Materiais Recicláveis..... | 39 |
| 4.1.4.4 Setor de Classificação, Prensagem e Armazenamento de Materiais Recicláveis | 39 |
| 4.1.4.5 Setor de Recuperação e Beneficiamento de Plásticos..... | 40 |
| 4.1.4.6 Compostagem..... | 40 |
| 4.1.4.7 Aterro Sanitário..... | 40 |
| 4.1.4.8 Coleta de Resíduos Sólidos e o Horário de Funcionamento da Usina.. | 41 |
| 4.1.4.9 Sistema de Impermeabilização do Solo do Aterro Sanitário | 41 |
| 4.1.4.10 Sistema de Drenagem Superficial | 42 |
| 4.1.4.11 Sistema de Drenagem dos Gases..... | 42 |
| 4.1.4.12 Sistema de Tratamento..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 5 METODOLOGIA | 44 |
| 5.1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO | 44 |
| 5.2 ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS DE CUIABÁ.. | 44 |
| 5.3 FLUXOGRAMA DE TRABALHO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA. | 45 |
| 5.4 MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA..... | 46 |
| 5.5 MONITORAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL | 50 |
| 5.6 PERÍODO DE COLETA | 52 |
| 5.7 VARIÁVEIS ANALISADAS..... | 52 |
| 5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA E DE CORRELAÇÃO SIMPLES | 54 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 55 |
| 6.1 ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS | 55 |
| 6.2 ANÁLISE DESCRITIVA..... | 57 |
| 6.2.1 Poço de Abastecimento e Monitoramento do Aterro Sanitário RL 1: | 57 |
| 6.2.2 Poço de Monitoramento RL 2:..... | 58 |
| 6.2.3 Poço de Monitoramento RL 3:..... | 60 |
| 6.2.4 Poço de Monitoramento RL 4:..... | 61 |
| 6.2.5 Poço de Monitoramento RL 5:..... | 62 |
| 6.2.6 Poço de Monitoramento RL 6, RL 7 e RL 8:..... | 63 |
| 6.2.7 Poço Background (Abastecimento do garimpo do Mineiro) DR 9:..... | 64 |
| 6.2.8 Água Superficial: Represa RL 10 | 64 |
| 6.2.9 Água Superficial: Represa RL 11 | 65 |
| 6.2.10 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 12 | 66 |
| 6.2.11 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 13 | 67 |
| 6.2.12 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 14 | 68 |
| 6.2.13 Água Superficial: Represa RL 15 | 69 |
| 6.3 RESULTADOS DE METAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS. | 70 |
| 6.3.1 Água Subterrânea: Períodos de Seca e Chuva | 70 |
| 6.3.2 Águas Superficiais: Períodos de Seca e Chuva..... | 72 |
| 6.4 TEORES DE FLÚOR, FÓSFORO, NITRATO, FOSFATO E CLORETO DAS ÁGUAS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS. | 73 |
| 6.4.1 Água Subterrânea: Períodos de Seca e Chuva | 73 |
| 6.4.2 Água Superficial: Períodos de Seca e Chuva..... | 74 |
| 6.5 VARIAÇÃO DE TEORES DE DUREZA E SÓLIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. | 74 |
| 6.5.1 Água Subterrânea: Períodos de Seca e Chuva | 75 |
| 6.6 TEORES DE ALCALINIDADE, OXIGÊNIO DISSOLVIDO E SÓLIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS. | 75 |
| 6.6.1 Água Superficial: Períodos de Seca e Chuva..... | 76 |
| 6.7 ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES..... | 76 |
| 6.8 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA NATURAL SUBTERRÂNEA..... | 79 |
| 6.9 RELAÇÃO ENTRE MAPAS GEOFÍSICOS E A QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DO ATERRO..... | 81 |
| 6.9.1 Relação entre Mapas de Isovalores de Condutividade Elétrica Aparente e Análise de Água Subterrânea. | 81 |

| | |
|--|------------|
| 6.9.2 Relação de Eletroresistividade - Caminhamento Elétrico Arranjo Dipolo-Dipolo e Análises de Água Subterrânea..... | 84 |
| 6.9.3 Radar de Penetração no Solo (GPR) | 88 |
| 7 CONCLUSÕES | 91 |
| 8 RECOMENDAÇÕES | 93 |
| 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 95 |
| 10 APÊNDICE | 108 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Distribuição das águas da chuva sobre a superfície e um resíduo depositado a céu aberto. | 16 |
| Figura 2 – Formação da pluma de contaminação sob depósito de resíduos. | 17 |
| Figura 3 – Localização da Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Cuiabá - Carta topográfica, Escala 1:100.000. | 29 |
| Figura 4 – Área do aterro sanitário de Cuiabá. | 30 |
| Figura 5 – Perfil geológico transversal do aterro sanitário de Cuiabá. | 31 |
| Figura 6 – Perfil geológico do Garimpo do Mineiro. | 32 |
| Figura 7 – Localização das trincheiras onde o solo foi caracterizado. | 33 |
| Figura 8 – Perfil da Trincheira T1. | 34 |
| Figura 9 – Perfil da Trincheira T2. | 35 |
| Figura 10 – Perfil da Trincheira T3. | 35 |
| Figura 11 – Perfil da Trincheira T4. | 36 |
| Figura 12 – Fluxograma dos resíduos na Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos da cidade de Cuiabá/MT. | 38 |
| Figura 13 – Fluxograma do sistema de tratamento de chorume. | 43 |
| Figura 14 – Sequência de etapas utilizadas para classificação da qualidade da água superficial e subterrânea na área de influência da central de disposição final de resíduos sólidos urbanos da cidade de Cuiabá/MT. | 46 |
| Figura 15 – Localização dos poços de monitoramento e represas na área de influência do aterro sanitário. | 47 |
| Figura 16 – Realização de coleta de água subterrânea no ponto RL3. | 48 |
| Figura 17 – Realização de coleta e monitoramento da temperatura da água superficial no ponto RL10. | 50 |
| Figura 18 – (a) Lançamento do efluente tratado, (b) trecho do percurso e (c) recebimento do efluente no corpo receptor. | 67 |
| Figura 19 – Erosões na camada de cobertura do aterro sanitário. | 70 |
| Figura 20 – Classificação do IQA superficial e IQANS na área de influência do aterro. | 79 |
| Figura 21 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 15 m. | 81 |
| Figura 22 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 30 m. | 82 |
| Figura 23 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 60 m. | 83 |
| Figura 24 – Localização das linhas 2 e 9. | 85 |
| Figura 25 – Perfil de caminhamento elétrico da linha 2 (15/03/2006). (a) resistividade elétrica em função da distância. | 86 |
| Figura 26 – Perfil de caminhamento elétrico da linha 9 (14/03/2006). (a) resistividade elétrica em função da distância. | 87 |
| Figura 27 – Localização das linhas (2 e 9) e poços de monitoramento. | 88 |
| Figura 28 – Perfil de GPR da linha 2 - antena 50 MHz. | 89 |
| Figura 29 – Perfil de GPR da linha 9 - antena 50 MHz. | 90 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Quantidade anual e acumulada de resíduos, em toneladas, recebidas no aterro de Cuiabá (2000/2005)..... | 8 |
| Tabela 2 – Características físicas dos RSU de Cuiabá/MT. | 8 |
| Tabela 3 – Concentração de chorume de acordo com a idade do aterro sanitário. | 10 |
| Tabela 4 – Composição química de chorume de resíduos sólidos municipais. | 13 |
| Tabela 5 – Características Físico-químicas médias das águas coletadas de Piezômetro e poço tipo cisterna em aterro sanitário..... | 23 |
| Tabela 6 – Pesos dos parâmetros IQNAS. | 49 |
| Tabela 7 – Nível de qualidade do IQNAS. | 49 |
| Tabela 8 – Peso dos parâmetros do IQA. | 51 |
| Tabela 9 – Nível de qualidade do IQA. | 52 |
| Tabela 10 – Métodos das análises físico-químicas. | 53 |
| Tabela 11 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 1. | 57 |
| Tabela 12 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 2. | 58 |
| Tabela 13 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água do poço de monitoramento RL 3..... | 60 |
| Tabela 14 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 4. | 61 |
| Tabela 15 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água do poço de monitoramento RL 5..... | 62 |
| Tabela 16 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 6, RL 7 e RL 8..... | 63 |
| Tabela 17 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento DR 9..... | 64 |
| Tabela 18 – Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 10..... | 65 |
| Tabela 19 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 11..... | 65 |
| Tabela 20 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 12..... | 66 |
| Tabela 21 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 13..... | 67 |
| Tabela 22 – Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 14..... | 68 |
| Tabela 23 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 15..... | 69 |
| Tabela 24 – Valores médios das amostras de metais das águas subterrâneas..... | 70 |
| Tabela 25 - Valores médios das amostras de metais das águas superficiais..... | 72 |
| Tabela 26 – Valores médios das amostras de flúor, fósforo, nitrato, fosfato e cloreto. | 73 |
| Tabela 27 - Valores médios das amostras de fósforo, nitrato, fosfato e cloreto. | 74 |
| Tabela 28 - Valores médios das amostras de sólidos totais e dureza do ponto no período de seca RL 1, RL 2, RL 3, RL 4 e DR 9. | 75 |
| Tabela 29 - Valores médios das amostras de dureza e sólidos totais..... | 76 |
| Tabela 30 - Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 1. | 76 |
| Tabela 31 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 2. | 77 |
| Tabela 32 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 3. | 77 |
| Tabela 33 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 4. | 77 |

LISTA DE QUADRO

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos | 57 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS

| ABREVIATURAS | SIGNIFICADO |
|---------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AGV | Ácidos Graxos Voláteis |
| CE | Caminhamento Elétrico |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COT | Carbono Orgânico Total |
| COXs | Compostos orgânicos xenobióticos |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| FEMA | Fundação Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso |
| GPR | <i>ground penetrating radar</i> - radar de penetração no solo |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPDU | Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano |
| IQA | Índice de Qualidade da Água |
| IQANS | Índice de Qualidade da Água Natural Subterrânea |
| IQAR | Índice da Qualidade de Aterros de Resíduo |
| NBR | Norma Brasileira |
| PEAD | Polietileno de alta densidade |
| PVC | Poli Cloreto de Vinila |
| RL | Ribeirão do Lipa |
| RSS | Resíduos de Serviços de Saúde |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SEMA | Secretaria Estadual do Meio Ambiente |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SMSU | Secretaria Municipal de Serviços Urbanos de Cuiabá |
| TB | Três Barras |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| h | hora |
| hab. | habitante |
| ha | hectare |
| kHz | quilohertz |
| m | metros |
| L | litro |
| MHz | megahertz |
| S | Siemens |
| n | nível de investigação |
| s | segundo |
| °C | graus Celsius |
| NH ₄ ⁺ | amônio |
| Ni | níquel |
| Pb | chumbo |
| pH | potencial hidrogeniônico |
| ppm | partes por milhão |
| ρ | resistividade elétrica |
| t | tonelada |
| Ω | Ohm |
| NMP | Número Mais Provável |
| UNT | Unidade Nefelométrica de Turbidez |
| Pt-Co. | Platina-Colbato |
| Π | Produtório. |

RESUMO

SANTOS, A.A. *Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT*. Cuiabá, 2008. 111p. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

A operação incorreta de aterros sanitários, pode trazer sérias conseqüências ambientais, incluindo riscos de contaminação dos recursos hídricos e à saúde pública. Neste contexto, este estudo foi realizado na área do aterro sanitário de Cuiabá (MT), e seu entorno, devido à preocupação com os lixiviados provenientes da primeira célula do aterro que recebeu resíduos sólidos urbanos e as respectivas lagoas de estabilização, que nunca foram impermeabilizadas, portanto, fontes potenciais de contaminação. Este estudo teve como objetivo comprovar a contaminação verificada por métodos geofísicos, através de investigação direta da água subterrânea e avaliação da água superficial na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá. Foram realizadas análises físico-químicas, exames microbiológicos e análise de metais pesados. Os resultados das águas subterrâneas foram comparados aos resultados de condutividade elétrica do solo obtidos por investigação indireta através de métodos geofísicos (Caminhamento Eletromagnético Indutivo, Caminhamento Elétrico e Radar de Penetração no Solo). Os métodos geofísicos permitiram identificar fortes indícios de que o subsolo encontrava-se contaminado, pela alta condutividade elétrica encontrada, em boa parte da área, principalmente na região das lagoas de tratamento de chorume e nas laterais sul e norte do aterro. Nos locais onde a deposição de resíduos era mais recente, os sinais de contaminação foram mais acentuados, mesmo havendo impermeabilização de base. A investigação direta dos poços de monitoramento localizado próximo as células de resíduos apresentaram parâmetros de coliformes, cor, turbidez, ferro, chumbo e manganês superiores aos padrões estabelecidos pela Portaria nº. 518/04 do Ministério da Saúde, confirmando os resultados indicados pelos métodos geofísicos. Esta confirmação revela a pouca eficiência do sistema de impermeabilização do aterro, permitindo a percolação do lixiviado para o subsolo. O Índice de Qualidade da Água Natural Subterrânea, baseado em análise hidroquímica, apresentou resultado ótimo (56%) e bom (44%) das amostras, e não refletiu o grau de contaminação mostrado pelos exames microbiológicos, matéria orgânica e metais. As águas superficiais foram analisadas pelo Índice de Qualidade da Água (IQA) na área de influência do aterro. Os pontos a jusante do lançamento do efluente tratado no corpo receptor e na represa próximo a célula do aterro, revelaram que a qualidade da água é ruim, e sugerindo provir do aterro sanitário, devido à pouca eficiência do sistema de tratamento e pela deficiência dos coletores de águas pluviais.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Lixiviado, Geofísica, Recursos Hídricos.

ABSTRACT

SANTOS, A.A. *Quality of surface water and groundwater in the area of influence of a landfill*. Cuiabá, 2008. 111p. Dissertation (Environmental Physics Master) – Institute of Physics,,Federal University of Mato Grosso.

The incorrect operation of landfills, can bring serious environmental consequences, including risks of contamination of water resources and risks to public health in the regions under their influence. In this context, the study was conducted in the area of landfill of Cuiabá (MT) and its surroundings because of concern about the leachate from the landfill first cell receiving municipal waste and the lagoons of stabilisation, have never been sealed, are potential sources of contamination. This study aimed to show the contamination occurred with geophysical methods, through direct investigation of groundwater and surface water assessment in the area of influence of the landfill from Cuiabá. The method used in research of direct groundwater and surface tests were physical-chemical, metals and microbiological tests. The results of groundwater were compared to the results of electrical conductivity of soil obtained by indirect research through geophysical methods (electromagnetic induction walking, Electrical walking and Ground Penetrating Radar). The geophysical methods have identified strong evidence that the subsoil had been contaminated by high electrical conductivity found in much of the area, mainly in the area of treatment of manure lagoons and the south and north sides of the landfill. Where the deposition of waste was more recent, the signs of contamination were more pronounced, even with the basic sealing. The research of direct monitoring wells located near the cells of waste had parameters of coliform, colour, turbidity, iron, lead and manganese above the standards established by Portaria N°. 518/04 of the Ministry of Health, confirming the results indicated by the geophysical methods. This confirmation shows the low efficiency of the system of sealing the landfill, allowing the percolation of leachate to the subsoil. The Index of Natural Groundwater Quality, based on chemical analysis, have presented great result (56%) and good (44%) of the samples, not reflected the degree of contamination shown by microbiological tests, organic matter and metals. The superficial water were examined by the Water Quality Index (IQA) in the area of influence of the landfill. The points downstream of the release of treated effluent into the body receiver and the dam near the cell of the landfill, to show that water quality is poor, and suggesting come from the landfill, due to low efficiency of the system of treatment and the disability of collectors of rainwater.

KEYWORDS: Sanitary Landfill, Leachate, Geophysics, Water Resources

1 INTRODUÇÃO

A crescente problemática da produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nas grandes cidades envolvem vários aspectos, um deles é a disposição e/ou operação inadequada de resíduos sólidos em aterros sanitários, que estão gerando vários problemas ambientais, incluindo riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido ao lixiviado produzido na decomposição dos resíduos, fato este, que pode acarretar sérias conseqüências ao meio ambiente e à saúde pública.

A técnica de aterros sanitários para disposição de resíduos sólidos, é a mais difundida e aceita em todo mundo (MELO & JUCÁ, 2001). Enquanto novas tecnologias de destino final não surgirem como alternativa viável, esta tecnologia é um constituinte essencial de qualquer sistema de manejo de resíduos sólidos.

Dados do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - DMRSU (SNIS, 2005) revelam que no Brasil para uma massa coletada de 15,8 milhões de toneladas, em 2005, os índices relativos à disposição final dos resíduos alcançam os valores de: 68,5% dispostos em aterros sanitários, 25% dispostos em aterros controlados e 6,5% em lixões.

Os tratamentos dos resíduos sólidos urbanos como forma de diminuição dos impactos na disposição dos resíduos, são pouco utilizados, resultando assim, direta ou indiretamente em poluição dos recursos hídricos no Estado do Mato Grosso, uma vez que aproximadamente 78,5% dos mesmos são dispostos em vazadouro a céu aberto ou lixão (COSTA *et al.*, 2003).

De 1982 a 1997, a disposição de resíduos sólidos da cidade de Cuiabá-MT, foi realizada de forma descuidada e sem preocupação com as normas de engenharia para aterro sanitário, no antigo lixão, localizado no km 6 da Rodovia Emanuel Pinheiro (SANTOS, 2005). Estudos realizados no antigo lixão de Cuiabá por Shiraiwa *et al.* (2002) mostram que a contaminação, provocada por alta carga

poluidora originada de metais pesados e contaminantes, atingiu o nível d'água podendo comprometer o meio ambiente e a saúde da população que utiliza desta água. Desta forma é de se presumir que também se um aterro sanitário estiver operando inadequadamente poderá estar alterando a qualidade dos recursos hídricos.

A partir de 1997, o resíduo sólido urbano de Cuiabá, com exceção dos resíduos inertes, como o da construção civil, passou a ser depositado num aterro sanitário localizado na estrada Balneário Letícia, s/nº, Sítio Quilombo próximo à Lagoa Bonita e recebe aproximadamente 450 ton/dia resíduos sólidos (SEMINFE, 2007).

O aterro localiza-se no divisor de águas das microbacias do Ribeirão do Lipa (RL), Córrego Doutor (DR) e o Córrego Três Barras (TB), todos afluentes do rio Cuiabá que serve de abastecimento público, irrigação, pesca, balneabilidade e é um dos principais afluentes do Pantanal.

O projeto original do aterro sanitário, foi concebido para receber apenas os rejeitos das usinas, de triagem e de compostagem, sem a presença de matéria orgânica que seria destinada à compostagem. Por isso, não houve a previsão de impermeabilização da base do aterro e das lagoas de estabilização. Quando detectado este problema, foi feito um projeto de adaptação do aterro, prevendo a impermeabilização da base, que começou a ser feita a partir de então. A primeira Célula a receber resíduos sólidos urbanos e as lagoas de estabilização nunca foram impermeabilizadas, sendo, fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas e superficiais pelo chorume.

Em consequência dos processos de decomposição (químicos, físicos e biológicos) aos quais o lixo é submetido, forma-se o chorume (líquido percolado) com carga poluidora várias vezes maior que a do esgoto doméstico, podendo gerar grande impacto ao meio ambiente. Para agravar o problema, também há uma provável contaminação química, principalmente por metais pesados, que não são removidos no tratamento biológico realizado nas lagoas e por infiltração de chorume no aquífero freático.

Na área de estudo, são encontradas rochas do Grupo Cuiabá que apresentam-se fissuradas o que torna o aquífero mais vulnerável à contaminação por poluentes. No antigo lixão de Cuiabá, que recebeu os resíduos sólidos de Cuiabá até 1997,

estudos geofísicos realizados evidenciaram uma penetração de chorume a profundidade superiores a 30 m, em rochas do Grupo Cuiabá (SANTOS, 2005).

Segundo Laureano (2007) através de estudo geofísico no aterro sanitário de Cuiabá os resultados mostraram fortes indícios de que o subsolo encontrava-se contaminado em boa parte da área, principalmente na região das lagoas de tratamento de chorume e nas laterais sul e norte do aterro. Foram detectadas evidências de contaminação em profundidades maiores que 60 m, porém a zona mais atingida pela poluição situou-se na faixa dos 30 m de profundidade. Nos locais onde a deposição de lixo era mais recente, os sinais de contaminação foram mais acentuados, mesmo havendo impermeabilização de base. Ou seja, a impermeabilização pode não estar sendo eficiente, permitindo que o chorume percole para o subsolo.

Este trabalho tem como finalidade comprovar as contaminações indicadas pelas condutividades elétricas do trabalho de Laureano (2007). Foram realizados o monitoramento da qualidade da água em poços e em córregos e represas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá. Os parâmetros de qualidade da água, medidos foram pH, cor, temperatura da água, turbidez, alcalinidade, cloretos, sólidos totais, dureza, carga orgânica, exames microbiológicos, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrato, fosfato, flúor, manganês, cádmio, ferro, níquel, cromo, zinco, cobre e chumbo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comprovar a contaminação verificada pelos métodos geofísicos, por meio de investigação direta da água subterrânea e avaliar a qualidade da água superficial na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá/MT.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar o aterro de acordo com Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos, baseado em *check list*, sob o ponto de vista ambiental, nos requisitos da ISO 14001.
- Caracterizar águas subterrâneas e superficiais na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá, MT.
- Comparar os resultados obtidos com os valores máximos preconizados pela Portaria Nº 518/04 do Ministério da Saúde e pela Resolução CONAMA nº. 357/05.
- Correlacionar os resultados das análises da matéria orgânica (DQO e DBO₅) com as variáveis: cor, turbidez, índice pluviométrico, coliformes totais e nível do aquífero freático dos poços de monitoramentos na área do aterro.
- Classificar a água dos poços de monitoramento de acordo com Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea, (IQNAS), baseando-se em análises químicas da água subterrânea.
- Classificar a água superficial na área de influência do aterro, de acordo com o Índice de Qualidade Água (IQA)/National Sanitation Foudantion (NSF).

- Comparar os resultados das análises físicas, químicas e metais das águas dos poços de monitoramento com a condutividade elétrica do solo obtidos pela investigações geofísicas no aterro sanitário de Cuiabá.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta, de forma sucinta, uma revisão bibliográfica de resíduos sólidos, aterro sanitário, lixiviado e também são apresentadas algumas poluições ambientais, por fim, estudos relevantes sobre monitoramento da qualidade de água superficial e subterrânea na área de influência de aterro sanitário.

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos apresentam grande diversidade e complexidade. As suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com sua fonte ou atividade geradora. Fatores econômicos, sociais, geográficos, educacionais, culturais, tecnológicos e legais afetam o processo de geração dos resíduos sólidos, tanto em relação à quantidade gerada quanto à sua composição qualitativa (ZANTA *et al.*, 2006 p. 12). Segundo a Norma Brasileira NBR – 10004 (2004) –:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Esta norma classifica os resíduos quanto a sua periculosidade a saúde pública e ao meio ambiente o grau de periculosidade dos resíduos depende de suas propriedades físicas, químicas e infecto-contagiosas. Assim, um resíduo ou um dos seus constituintes que apresentem qualquer uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, é classificado como perigoso. O conhecimento das características e da classificação

dos resíduos sólidos é um dos subsídios para o prognóstico de estratégias de gerenciamento de resíduos. O gerenciamento adequado minimiza possíveis impactos ambientais e prejuízo à saúde pública decorrentes da liberação de emissões gasosas e líquidas associadas às características dos resíduos sólidos.

A quantidade de resíduos produzida por uma população é bastante variável e depende de uma série de fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimento da população nos períodos de férias e fins de semana e novos métodos de acondicionamento de mercadorias, com a tendência mais recente de utilização de embalagens não retornáveis (CUNHA, 2002).

O lixo doméstico no Brasil é composto de cerca de 50% de matéria orgânica. Esse percentual varia de acordo com os seguintes fatores:

a) climáticos – as chuvas aumentam o teor de umidade. No outono há mais folhas e no verão, mais embalagens de bebida;

b) épocas especiais – os feriados aumentam o teor de embalagens;

c) demográficos – quanto maior a população urbana, maior a produção *per capita*;

d) sócio-econômicos – quanto maior o nível cultural, educacional e aquisitivo, maior a incidência de materiais recicláveis e menor a incidência de matéria orgânica. Quando acontecem campanhas ambientais, há uma redução de materiais não-biodegradáveis como plásticos.

Com relação a produção *per capita* de resíduos sólidos domiciliares e comerciais, Cuiabá produz aproximadamente 830 g.hab⁻¹ baseado pela população estimada do IPDU (2007) e 920 g.hab⁻¹ pela população do IBGE (2007). Estas estimativas da produção *per capita* usou como base o valor médio coletado diariamente na cidade de Cuiabá. Observou-se uma diferença entre os valores *per capita* de resíduos sólidos devido a diferença da contagem de população do IPDU e IBGE. A produção *per capita* estimada tanto pelo IPDU quanto pelo IBGE na cidade de Cuiabá é superior a geração de resíduos domésticos no Brasil, que é de cerca de 600 g.hab⁻¹, de acordo com PEÑIDO MONTEIRO *et al.* (2001).

Além disso, no Brasil são gerados mais 300 g.hab⁻¹ de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos. Portanto, a média nacional de produção de RSU é de 900 g.hab⁻¹. Porém, há variação de acordo com o tamanho da cidade, podendo

chegar até a 1300 g.hab⁻¹ em cidades como Rio de Janeiro, PEÑIDO MONTEIRO *et al.* (2001).

A Tabela 1 apresenta a quantidade anual e acumulada de resíduos recebidos no aterro de Cuiabá nos anos de 2000 a 2005.

Tabela 1 – Quantidade anual e acumulada de resíduos, em toneladas, recebidas no aterro de Cuiabá (2000/2005).

| Ano | Quantidade anual de resíduos recebida (t) | Quantidade acumulada de resíduos (t) |
|------|---|--------------------------------------|
| 2000 | 75.980 | 75.980 |
| 2001 | 74.892 | 150.872 |
| 2002 | 72.275 | 223.147 |
| 2003 | 114.500 | 337.647 |
| 2004 | 102.877 | 440.524 |
| 2005 | 93.141 | 533.665 |

Fonte: Adaptado (IPDU, 2007).

A composição física (gravimétrica) média, dos RSU do município de Cuiabá, no ano de 2004 e 2005, segundo Viana (2008), é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Características físicas dos RSU de Cuiabá/MT.

| COMPONENTES | CUIABÁ (%) – Nov. 2004 | CUIABÁ (%) – Ago. 2005 |
|------------------|------------------------|------------------------|
| Papel | 3,48 | 3,73 |
| Papelão | 3,18 | 3,41 |
| Plástico | 11,58 | 12,39 |
| Vidros | 1,18 | 1,27 |
| Metais | 2,91 | 3,59 |
| Trapo | 1,65 | 1,53 |
| Jardinagem | 18,21 | 16,93 |
| Matéria Orgânica | 44,02 | 40,94 |
| Entulho | 4,00 | 6,00 |
| Outros | 9,79 | 10,23 |

Fonte: Viana (2008).

3.2 ATERRO SANITÁRIO

A disposição de resíduos sólidos urbano por sua vez, emprega como método mais usual o aterro sanitário que apresenta menor custo e consiste no confinamento dos resíduos em camadas cobertas por material inerte, geralmente solo, empregando métodos construtivos e técnicas para redução de volume e a mitigação de impactos ambientais. A Norma NBR 8419/1992, define aterro sanitário como sendo:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbano no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os como uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou intervalos menores, se necessário.

De acordo com Zanta (2006) os resíduos dispostos em aterros sanitários são decompostos biologicamente, predominando neste processo a digestão anaeróbia. O aterro sanitário concebido como um bioreator e operado como tal, pode propiciar melhores condições ambientais para evolução do processo de tratamento biológico.

Segundo Gomes *et al.* (2006) o aterro sanitário é um biodigestor construído segundo normas de engenharia. Trata-se de estrutura encapsulada, usada para a atenuação das características nocivas dos resíduos sólidos, projetada de forma a favorecer a biodegradação anaeróbia e a conseqüente estabilização dos resíduos sólidos armazenados, na maior parte das vezes, entre camadas isolantes de material compactado, usualmente solo local.

Damasceno (1996) e Castilhos Jr. (1988), verificaram que as fontes principais dos metais pesados, por tipo de resíduo sólido, são: material orgânico (Pb, Ni e Zn), papel (Pb), material metálico (Cd, Pb, Ni e Zn), plástico (Cd e Zn), vidro (Cr), e outros: baterias (Cd, Pb, Ni e Zn), borrachas (Zn) e tecidos (Cr).

O aterro sanitário é considerado velho com tempo de operação maior que 10 anos, apresentando alta salinidade e alta concentração de compostos nitrogenados. O material orgânico é considerado recalcitrante com alta relação DQO/DBO₅ e baixa degradabilidade (BILA, 2000).

El-Fadel *et al.* (2002) analisam a relação DBO₅/DQO do chorume e classificam como aterros jovens e instáveis, aqueles que apresentam valor maior que

0,5; em aterros moderadamente estáveis, aqueles com valores entre 0,1 – 0,5; e em aterros velhos, os com valor menor que 0,1.

A Tabela 3, apresenta faixa de concentrações de chorume em função da faixa de idade de aterros.

Tabela 3 – Concentração de chorume de acordo com a idade do aterro sanitário.

| Parâmetro | Faixa de valores em função da idade do chorume de aterro sanitário | | | |
|------------------------|--|---------------|-------------|--------|
| | 0-5 | 5-10 | 10-20 | > 20 |
| DQO (mg/l) | 15.000-40.000 | 10.000-20.000 | 1.000-5.000 | <1.000 |
| Nitrog.(amônia) (mg/l) | 500-1500 | 300- 500 | 50 – 200 | <30 |
| pH | 3-6 | 6-7 | 7-7,5 | 7,5 |
| Cloreto (mg/l) | 1.000-3.000 | 500-2000 | 100-500 | <100 |
| Fósforo (mg/l) | 100-300 | 10-100 | - | <10 |

Fonte: Adaptada (El-FADEL *et al.*, 2002).

Em se tratando das alternativas de disposição final do lixo, o aterro sanitário é a solução menos impactante, pois o mesmo é projetado para impedir a contaminação do subsolo pelo chorume, líquido oriundo do lixo, altamente poluente, com elevada concentração de matéria orgânica e metais pesados. Há a impermeabilização da base onde é depositado o lixo. Também há drenagem dos gases e do chorume.

Além disso, o aterro é diariamente recoberto de terra, evitando a ação de vetores. Não é permitida a entrada de catadores, a não ser quando há um centro de triagem de lixo, o qual não se recomenda quando o município não possui coleta seletiva. No caso de Cuiabá, onde não há separação do lixo reciclável, todo o lixo que chega ao aterro passa por uma esteira elétrica, onde catadores retiram uma parcela do reciclável (LAUREANO, 2007).

Apesar do aterro sanitário ser a melhor solução para destinação final de lixo, ele não vem sendo utilizado da forma correta. Deveria ser depositado no aterro somente o que realmente é lixo, ou seja, os materiais que não podem ser reaproveitados ou reciclados. Dessa maneira a vida útil do aterro seria prolongada, os recursos naturais seriam poupados e o consumo de energia muito reduzido, tendo em vista a reciclagem. Se o princípio dos 3R's (reduzir, reciclar e reutilizar) fosse seguido, conseguiria-se atingir todos esses objetivos.

Na visão de SANTOS (2005), para solucionar os problemas resultantes da má gestão do lixo nos municípios, é importante a educação ambiental da comunidade, a

separação do material reciclável, a compostagem da matéria orgânica (que representa, no caso do Brasil, mais de 50% da produção de lixo) e o que sobrar, que não for reaproveitável, deve ser disposto em aterros sanitários. Desta forma reduziria-se a quantidade de lixo a ser aterrado. De acordo com o modelo de gestão de RSU proposto por FEHR (2003), que é baseado na coleta diferenciada, é possível desviar até 80% dos resíduos dos aterros.

3.3 CHORUME, LÍQUIDOS PERCOLADOS OU LIXIVIADOS

De acordo com Fernandes *et al.* (2006b) a interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica dos resíduos sólidos e a infiltração de água pluviais na massa de resíduos solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos, gerando um líquido escuro, de composição variável, comumente denominado lixiviado. A idade do aterro sanitário e o grau de estabilização do material sólido disposto têm grande influência na composição do lixiviado.

Segundo Torres *et al.* (1997), a quantidade produzida do chorume em um aterro sanitário depende da interação de fatores geológicos, hidrogeológicos, meteorológicos (umidade, precipitação, evaporação, temperatura e ventos), topográficos, condições de operação do aterro (conformação e cobertura das Células, grau de compactação, tipo de equipamentos, recirculação ou não de chorume) e da natureza dos resíduos sólidos confinados.

Torres *et al.* (1997) o lixiviado apresenta altas concentrações de matéria orgânica, medida como DQO (demanda química de oxigênio), DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio), COT (carbono orgânico total) e AGV (ácidos graxos voláteis), bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas (metais pesados), e ainda apresenta variações de pH; valores altos de sólidos totais, sólidos dissolvidos e de nitrogênio na forma amoniacal, entre outros. E, pelo fato do chorume conter, às vezes, altos níveis de metais e outros compostos podem ser considerados uma água residuária industrial, sendo que sua composição muda de um aterro para outro, em função da qualidade e características dos resíduos sólidos depositados.

No lixiviado também podem ser encontradas outras substâncias tóxicas na massa de resíduos sólidos podem acarretar danos ambientais se atingirem o aquífero

freático ou água superficial e também podem ser prejudiciais em caso de emissões de gases voláteis para atmosfera. Esses efeitos danosos podem se estender à comunidade animal e vegetal aquática e aos seres humanos que dela se utilizam (FERNANDES *et al.*, 2006b).

Em estudo no Estado Unidos foram observadas alterações de âmbito genético em alguns bioensaios. Sabe-se que esse tipo de contaminação é capaz de provocar câncer, doenças genéticas, esterilidade, doenças cardíacas e outros efeitos crônicos. Esses efeitos podem ser súbitos ou demorar décadas para se manifestarem (QASIM & CHIANG, 1994).

Conforme Fernandes *et al.* (2006b) o lixiviado contém altas concentrações de nitrogênio amoniacal e que deste fato decorrem vários problemas. Os efluentes, com alta concentração de nitrogênio amoniacal, quando descartados em cursos d'água, sem prévio tratamento, podem estimular o crescimento de algas, a depleção do oxigênio dissolvido, além de serem tóxicos à biota do ecossistema aquático. Quando em sistemas de tratamento biológico, as altas concentrações de nitrogênio amoniacal podem causar problemas de odores, além de serem tóxicas às bactérias decompositoras.

De acordo com Zanta *et al.* (2006) o lixiviado pode conter matéria orgânica dissolvida ou solubilizada, nutrientes, produtos intermediários da digestão anaeróbia dos resíduos, como ácidos orgânicos voláteis, substâncias químicas, como, por exemplo, metais pesados tais como cádmio, zinco, mercúrio, ou organoclorados, oriundos do descarte de inseticidas e agrotóxicos, além de microrganismos.

Segundo Zanta *et al.* (2006), a pluma de lixiviado pode conter cinco grupos de poluentes:

- a) matéria orgânica dissolvida expressa pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) demanda química de oxigênio (DQO) ou pelo carbono orgânico total (COT), incluindo ácidos fólicos e húmicos;
- b) macrocomponentes inorgânicos Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , NH_4^+ , Fe^{++} , Mn^{++} , CL^- e HCO_3^- ;
- c) elementos traços: Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn;

- d) Compostos orgânicos xenobióticos (COXs) presente em baixas concentrações, incluindo hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, e compostos alifáticos clorados;
- e) Outros componentes como boro, arsênio, bário, selênio, mercúrio e cobalto, que são encontrados em baixíssimas concentrações.

Oliveira & Pasqual (2000) ressaltam que o acréscimo do nível de água no local do aterro gera dois efeitos indesejáveis: primeiro, considerando o aumento da pressão do percolado irá aumentar a taxa de vazamento do líquido percolado no local, agravando o risco de possível contaminação da água subterrânea; segundo, em tais circunstâncias, o nível de água contaminada pode alcançar o topo da escavação, com a conseqüente dispersão lateral e possível ameaça às fontes da superfície.

A composição físico-química do chorume gerado no Aterro Sanitário de Cuiabá nos anos de 1999 e 2000, foi obtido por Santos Filho (2000) e no ano de 2001, por Caporossi (2002) (Tabela 4). É possível observar uma diminuição no valor médio da DQO e sólidos totais, indicando uma situação de instabilidade do aterro. As medidas do pH indicam que o chorume era mais ácido em 1999-2000 do que em 2001, mostrando o aumento pH passando para fase alcalina.

Tabela 4 – Composição química de chorume de resíduos sólidos municipais.

| Variável | 1999-2000 (1) | | 2001 | |
|-------------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | Faixa de variação | Média | Faixa de variação | Media |
| T. água (°C) | - | 28 | 14 – 30 °C | 28 |
| pH | 5,70 – 8,60 | - | 8,02 – 8,83 | - |
| DQO (mg/l) | 12.276 – 47.349 | 22.691 | 6.042 – 35.000 | 16.150 |
| DBO ₅ (mg/l) | 4.320 – 30.351 | 13.352 | - | - |
| Alcalinidade (mg/l) | - | - | 215 – 11.500 | 1.063 |
| OD (mg/l) | - | - | - | - |
| Condutivid.(μs/cm) | - | - | 30 – 162.500 | 25.140 |
| Cloreto (mg/l) | - | - | 3.755 – 106.622 | 47.999 |
| Nitrogênio (mg/l) | - | - | 291 – 553 | 453 |
| Fósforo (mg/l) | - | - | 0,15 – 27 | 2,89 |
| Sól. Totais (mg/l) | 17.559– 59.908 | 29.140 | 16.354 – 32.561 | 19.242 |
| Sól. Fixos (mg/l) | - | - | 1.230 – 14.797 | 12.938 |
| Sól. Voláteis (mg/l) | - | - | 4.018 – 24.724 | 6.620 |

Fonte: (1) Santos Filho (2000). Adaptado (CAPOROSI *et al.*, 2001).

A composição do chorume muda durante as diversas fases de decomposição do lixo no aterro. Estas são afetadas pela decomposição biológica de materiais orgânicos, pela oxidação química e pela dissolução de materiais orgânicos e inorgânicos, segundo SISINNO (1995).

Segundo Latorraca (2007) o sistema de tratamento de chorume do aterro de Cuiabá não apresentou uma boa eficiência, fato este, constatado em termos de remoção da DQO e DBO₅ terem sido de 93 e 95% respectivamente, estes números estão aquém daqueles esperados, pois os valores médios da concentração no efluente tratado foram de 720 e 300 mg/L de DQO e DBO₅, de acordo com boletins de monitoramento SEMA-MT (1999 a 2005).

Os parâmetros analisados como cloretos, cor, sólidos totais dissolvidos, apresentaram concentrações elevadas. O mesmo ocorrendo com os parâmetros previsto em normas, como pH, coliformes totais, coliformes fecais, bário, cobre, selênio e chumbo, que apresentaram concentrações fora dos padrões de lançamento e compromete a classe do Ribeirão do Lipa, (Padrão de Classe dois) estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 357 de 17 de março de 2005 (LATORRACA, 2007).

Torres *et al.* (1997), advertem que os mananciais de água, passíveis de recebimento do chorume apresentam modificação de coloração, depreciação de oxigênio dissolvido e contagem de patogênicos, levando a impactos no meio aquático com quebra do ciclo vital das espécies.

3.4 POLUIÇÃO AMBIENTAL

Oga (1996), diz que a idéia de poluição ambiental abrange uma série de aspectos, que vão desde da contaminação do ar, água e solo, até a desfiguração da paisagem. Poluição ambiental são fatores do ambiente que possam comprometer a saúde e a sobrevivência do homem. Este autor diferencia contaminante de poluente da seguinte forma: contaminante é a substância presente em concentrações anormais e poluentes é a substância que causa danos ambientais.

Segundo Silva (2001), existe uma poluição relacionada ao lixo que é pouco comentada, é a poluição visual. Talvez esse fato se deve à maior importância dada às outras formas de poluição consideradas mais graves pelos pesquisadores como poluição do ar, da água e do solo. Os aterros sanitários são locais pouco agradáveis de serem visitados, não só pelo odor pútrido, mas também devido ao incômodo visual. Embora aterros só sejam visitados por quem deseja ir, a população que vive no entorno do aterro convive diariamente com a visão do lixo disposto neste local.

Sisinno (1995) alguns dos impactos ambientais que devem ser avaliados em aterros sanitários é a ruptura da paisagem, quando o aterro não está compatível com a área à sua volta. Vários pesquisadores observaram que há uma desvalorização imobiliária das áreas que se encontram em torno dos aterros. Sisinno (1995), define que impacto ambiental como qualquer perda de valor que ocorre no território como consequência da atividade humana.

Silva (2001), além deste problema à população residente nas proximidades de áreas de despejos pode ser incomodada por vetores, pela poluição do ar, poeira e gases, ruídos, odores, e pela contaminação dos mananciais.

3.4.1 Poluição do Ar Relacionado com Lixo

Todos os gases gerados em um aterro sanitário são resultantes basicamente de duas formas de decomposição da matéria orgânica: a aeróbia (em presença de oxigênio) e a anaeróbia (em ausência de oxigênio). A decomposição aeróbia promove a liberação de gás carbônico e água. Enquanto que a decomposição anaeróbia promove a liberação de gás metano. No lixo, a matéria orgânica que pode ser decomposta varia de 50 a 60%, tornando-o um excelente meio de cultura para a proliferação de microrganismos como bactérias e fungos (SCHALCH, 1984; LEITE, 1991).

De acordo com Silva (2001) é interessante ressaltar que o odor pútrido comum na decomposição da matéria orgânica, é resultado da decomposição anaeróbia. Esse odor é incômodo para a população na área de influência do aterro de resíduos sólidos urbanos e é levado a longas distâncias, dependendo do sentido e intensidade dos ventos na região. O metano é produzido por todo o tempo em que houver matéria orgânica no lixo. Isto significa que mesmo depois de desativado um depósito de lixo, este gás continua sendo produzido, por muito tempo.

O metano é altamente inflamável em contato com o ar, na proporção de 10 a 15%. É o principal componente do biogás, utilizado na geração de energia (LEITE, 1991), propiciando a redução da emissão do gás metano para a atmosfera, um dos gases do efeito estufa, gerando receitas oriundas do crédito de carbono.

Segundo Silva (2001), alguns aterros possuem sistemas de incineração, que são recomendados para o lixo hospitalar. Estes sistemas poluem através da produção

de furanos e dioxinas. A temperatura nos incineradores deve oferecer energia suficiente para que ocorra o rompimento das ligações químicas entre os átomos. As dioxinas e os furanos, podem ser formados pelo resfriamento dos gases incinerados por volta de 300°C. Dioxinas e furanos são organoclorados extremamente tóxicos.

Na maioria dos municípios brasileiros que não possuem aterro sanitário estabelecido, há a queima diária do lixo para diminuir o volume. Esta queima direta gera, além de gases como o dióxido de carbono, também cinza e muita fumaça, que invariavelmente prejudica a população do entorno da área de despejo (lixão) e dependendo dos ventos, os poluentes podem ser levados a áreas muito maiores (SILVA, 2001).

3.4.2 Formação da Pluma de Contaminação

Conforme Soares *et al.* (2005) unidades de disposição de resíduos sólidos, expostas à ação da água, podem constituir-se em fontes de contaminação do solo e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. É o caso de aterros sanitários, onde há precipitação sobre os resíduos. Ao atingir a superfície do aterro, parte da água esco superficialmente ou acumula-se na superfície e parte infiltra-se, sofrendo posteriormente evaporação ou, caso o aterro não tenha impermeabilização de base realmente efetiva, a água contaminada percola para o subsolo, abaixo dos resíduos, conforme Figura 1.

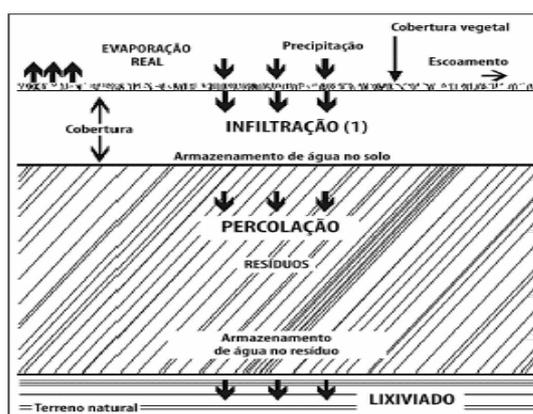


Figura 1 – Distribuição das águas da chuva sobre a superfície e um resíduo depositado a céu aberto.

Fonte: Soares *et al.* (2005)

A água percolada através dos resíduos constitui o chorume, que contém muita matéria orgânica e metais em solução. Estes metais interagem com as fases sólida, líquida e gasosa do solo e com a sua micro fauna e flora, afetando o transporte e/ou retenção dos metais. Essa interação juntamente com o fluxo da água subterrânea é o que vai definir o tamanho e a direção da pluma de contaminação como ilustra a Figura 2, segundo Soares *et al.* (2005).

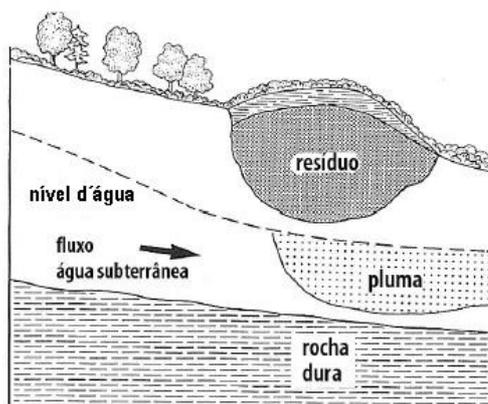


Figura 2 – Formação da pluma de contaminação sob depósito de resíduos.

Fonte: Soares *et al.* (2005)

O solo é um sistema multicomponente constituído pelas fases: sólida, líquida e gasosa. De acordo com Soares *et al.* (2005), a fração sólida constitui cerca de 50%, sendo que uma pequena parte é orgânica e a maior parte é inorgânica, com diferentes granulometrias. A fração orgânica corresponde à cerca de 2 a 5% do volume, estando localizada próximo à superfície. A fração inorgânica, conforme a sua granulometria, pode ser denominada argila, silte e areia. As areias são constituídas principalmente de quartzo, os siltes de quartzo e minerais silicatados primários e secundários e as argilas de silicatos secundários e de alumino-silicatos. A proporção de cada fração é muito variável em solos naturais e a textura destes é dada de forma mais ou menos arbitrária pela proporção relativa das frações que apresentam. Afirma ainda que as fases gasosa e líquida preenchem as posições entre os grãos do solo, compreendendo, cada uma, cerca de 20 a 30% do volume do solo. De acordo com os mesmos autores, “a textura afeta as propriedades do solo como a condutividade hidráulica e a retenção de umidade, tendo, portanto, efeito importante na capacidade de transporte e retenção de metais”.

Os mecanismos de transporte de metais no solo estão relacionados ao intemperismo e à oxidação dos minerais no solo. Os minerais de ocorrência superficial são oxidados e, portanto, não são transportados, enquanto os metais dissolvidos, produtos da lixiviação de constituintes do solo ou da contaminação superficial, são transportados pela água (SOARES *et al.*, 2005).

É possível afirmar, de modo simples, que a oxidação de minerais e a lixiviação dos metais ocorrem na chamada zona de oxidação, que se estende da superfície do terreno até o nível d'água da subsuperfície. Na verdade, esta zona vai até uma profundidade na qual o potencial de oxidação seja suficiente para que ocorra a oxidação, atingindo, a partir desse ponto, a zona de transição ou enriquecimento. Nesta região, podem ocorrer precipitação ou (ad)sorção dos metais dissolvidos. Mais adiante em profundidade chega-se à denominada zona de redução (SOARES *et al.*, 2005).

A região acima do nível d'água, onde os poros do solo encontram-se apenas parcialmente preenchidos com água, denomina-se zona insaturada superior (SOARES *et al.*, 2005).

O transporte de contaminantes no solo é regido pelos mesmos mecanismos que presidem o transporte de solutos em meios porosos. De maneira geral o transporte de solutos no solo é afetado por dois mecanismos básicos: a difusão e a advecção. A difusão é o processo no qual o soluto move-se na solução de regiões de maior concentração para as de menor concentração. A advecção, por sua vez, pode ser entendida simplificada como o processo pelo qual a água, em movimento, carrega solutos dissolvidos. Em adição a estes mecanismos, contribuem também para o transporte de solutos os fenômenos de dispersão e de atenuação ou retardo (SOARES *et al.*, 2005).

Através de mecanismos de difusão, é possível que o soluto migre no solo com velocidade maior que a da solução. A advecção é o transporte simultâneo de solutos e da solução que os carrega (SOARES *et al.*, 2005).

Um exemplo de trabalho realizado sobre contaminação do subsolo por chorume de aterro foi realizado por Oliveira & Jucá (2004). Ambos estudaram o acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma Célula do aterro de resíduos sólidos da Muribeca,

próximo de Recife, PE. Concluíram que “os perfis de concentração dos metais pesados e de sólidos voláteis no solo mostraram que existe uma frente de contaminação em direção ao fundo, evidenciando-se também que ocorre ampla faixa de concentração dos metais analisados, relacionada à concentração de cada espécie no percolado. O chumbo, o cobre e o manganês foram os metais preferencialmente sorvidos e apresentaram uma velocidade média de frente de saturação de $2,3 \times 10^{-2}$ m.ano⁻¹, que indica transporte por advectivo-dispersivo”. Ao passar pelas zonas saturada e insaturada a solução pode misturar-se com a água ali presente, resultando na diluição da solução e na conseqüente redução da concentração do soluto. Este fenômeno é conhecido como dispersão, sendo classificada como longitudinal, quando ocorre ao longo do eixo de escoamento, ou transversal, quando ocorre na direção perpendicular a este eixo (SOARES *et al.*, 2005).

De acordo com Soares *et al.* (2005), as três principais causas da dispersão longitudinal, com alongamento da pluma de dispersão ao longo desta direção são:

- a) num escoamento em meio poroso, o movimento da água é mais rápido no centro dos poros do que junto a suas paredes;
- b) determinadas frações da solução se movem por caminhos mais longos que outras, sendo retardadas em função dos obstáculos que encontram em seu caminho e
- c) parte da solução que escoar através dos poros maiores tende a mover-se mais rápido do que aquela que o faz através de poros menores.

A dispersão transversal é a divisão lateral do fluxo num meio poroso, em diferentes direções, mesmo em condições não turbulentas. Em regiões insaturadas, as forças de capilaridade também podem provocar a dispersão transversal do fluxo. A capilaridade é inversamente proporcional ao tamanho dos poros. Estes formam tubos capilares e, quanto menor o diâmetro dos tubos (ou tamanho dos poros), maior será a força de capilaridade. Outro fator que aumenta a capilaridade é a baixa umidade de solo, ou seja, quanto mais insaturado for o solo, maior será a intensidade da força Soares *et al.* (2005).

Calças *et al.* (2001) afirmam que “os solos arenosos são representativos das condições mais críticas do processo de atenuação e transporte de contaminantes, que podem ocorrer em meio poroso não saturado”. Tais autores investigaram a atenuação

natural de contaminantes do chorume de aterros sanitários em solos arenosos. Os resultados indicaram que “os efeitos de atenuação da contaminação pelo chorume são significativos, principalmente em relação à qualidade do chorume, mesmo para baixa compactação do solo. Ainda, a redução da permeabilidade do meio com base na recompactação do solo a 95% do Proctor Normal foi suficiente para conter, a migração do chorume sob condições de baixa carga hidráulica”.

Segundo Soares *et al.* (2005), quando a permeabilidade do solo varia com a profundidade também pode haver dispersão lateral. Na medida em que o fluxo descendente, induzido pela força gravitacional, encontra uma camada de menor permeabilidade, pode ocorrer simultaneamente o escoamento lateral. Assim, a solução acumular-se-á na parte superior da camada de menor permeabilidade até haja um nível de pressão capaz de vencer a resistência ao fluxo descendente.

Conforme Drury (1999) afirma que fenômenos químicos, físico-químicos e biológicos podem contribuir para o retardo do transporte dos metais no solo. O principal fenômeno não biológico que retarda a migração de metais no solo é a sorção que compreende os fenômenos de adsorção, precipitação e intrusão (SOARES *et al.*, 2005).

A adsorção pode ser definida como a acumulação de elementos químicos sobre a superfície das partículas sólidas adsorventes, reduzindo a concentração do desses elementos na água circulante. A adsorção acontece devido à carga elétrica associada às partículas de solo e do tipo de íon em solução, ou seja, se a carga do material adsorvente for negativa, por exemplo, ele atrairá cátions, que possuem carga positiva. A adsorção é influenciada tanto por forças intermoleculares quanto pelo pH e potencial redox. No tratamento de água, por exemplo, pode-se utilizar carvão mineral, que adsorve substâncias indesejáveis presentes na água (SOARES *et al.*, 2005).

Os solos argilosos tendem a possuir maior poder de sorção comparativamente a solos arenosos, devido às cargas elétricas das argilas, que adsorvem os íons metálicos. Além do efeito benéfico da sorção no sentido de frear o crescimento da pluma de contaminação, os solos argilosos possuem baixa permeabilidade. Portanto a litologia pode ser considerada como um fator determinante na escolha de áreas para deposição de resíduos.

3.5 TRABALHOS NA ÁREA DE POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE ÁGUA SUPERFICIAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE ATERRO SANITÁRIO.

Segundo Sisinho & Moreira (1996) os resultados encontrados no aterro controlado do Morro do Céu no município de Niterói no Estado do Rio de Janeiro, mostram que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas é ruim, destacando-se a presença de coliformes nas amostras analisadas, além da evidência – nas águas superficiais – de grande carga de compostos orgânicos expressos pelos valores de DQO e DBO₅, e das concentrações de Fe, Mn, Ni e Zn acima dos limites permissíveis pela legislação ambiental.

Nas águas do córrego Mata-Paca na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu as concentrações de Fe e Mn dissolvidos, Ni (ambas coletas) e Zn (segunda coleta) observadas, encontram-se acima daquelas recomendadas como valores máximos permissíveis, que estabelece a classificação das águas de acordo com seus usos preponderantes (SISINNO & MOREIRA, 1996).

As águas subterrâneas do aterro controlado do Morro do Céu estão em desacordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 36 do Ministério da Saúde, vigente no período do estudo, uma vez que todas as amostras analisadas mostravam-se contaminadas com organismos do grupo coliforme. Esta contaminação, entretanto, não pode ser atribuída exclusivamente à ação do chorume, uma vez que foi constatada também a possibilidade de influência de águas de infiltração (SISINNO & MOREIRA, 1996).

Segundo Oliveira & Pascal (2000) no aterro de Botucatu as concentrações do metal pesadas Ni na água superficial e na nascente estão em desacordo com o valor permissível pela Resolução CONAMA, para classes (classe I) de água doce. Conclui-se que a concentração deste metal indica contaminação da água superficial e a contaminação da água subterrânea por cádmio e chumbo.

Conforme estudo no aterro controlado (antigo lixão) do Distrito Federal os resultados apresentaram elevados teores de nitrito, nitrato, fosfato, oxigênio consumido e oxigênio dissolvido. No oxigênio consumido foram observadas maiores

distorções, indicando ambiente propício à proliferação de bactérias e provavelmente decomposição (BOAVENTURA *et al.*, 1995).

Os teores de fosfato e nitrogênio amoniacal indicam contaminação recente por matéria orgânica, mostrando os efeitos do aterro sanitário sobre a água subterrânea na área.

Em Belo Horizonte foram pesquisadas duas diferentes situações: um lixão que funcionou de 1967 a 1972 e um aterro sanitário de 1972 até 2004. A pesquisa revelou elevado índice de contaminação por metais (Al, Ba, Fe, Mn, Ni e Pb) na água subterrânea sob o lixão desativado há 30 anos, enquanto o aterro sanitário envia o chorume sem qualquer tratamento para um córrego, possibilitando a sua infiltração para contaminar as águas subterrâneas. Esse chorume apresentava elevadíssimas concentrações dos mais variados metais, além de altas taxas de contaminação bacteriológica (coliformes fecais e de estreptococos fecais) (COSTA, 2004).

Tabela 5 apresenta características físico-químicas médias das águas coletadas de Piezômetro P1 e poço tipo cisterna instalado em aterro sanitário de Uberlândia – MG, (COELHO *et al.*, 2002).

Tabela 5 – Características Físico-químicas médias das águas coletadas de Piezômetro e poço tipo cisterna em aterro sanitário.

| PARÂMETROS | Poço | Piezômetro P1 |
|---|--------|---------------|
| pH | 5,5 | 5,4 |
| T (°C) | 27,0 | 27,0 |
| DQO (mg O ₂ /L) | 1213,0 | 1924,0 |
| DBO ₅ (mg O ₂ /L) | 503,0 | 682,0 |
| Acidez (mgCaCO ₃ /L) | 64,0 | 48,0 |
| Alcalinidade(mgCaCO ₃ /L) | 302,5 | 157,0 |
| N amoniacal (mg/L) | 8,1 | 6,9 |
| Cloreto (mg/L) | 193,0 | 329,0 |
| Condutividade (µS/cm) | 591,0 | 1162,0 |
| Turbidez (UNT) | 0,6 | 5,6 |
| Ca (mg/L) | 37,0 | 63,0 |
| Mg (mg/L) | N.D. | 49,0 |
| Cd(mg/L) | <L.D. | <L.D. |
| Pb (mg/L) | <L.D. | <L.D. |
| Cu (mg/L) | 0,4 | <L.D. |
| Cr (mg/L) | <L.D. | <L.D. |
| Ni (mg/L) | n.a. | n.a. |
| Zn (mg/L) | 0,8 | 0,3 |

L.D. = limite de detecção; n.a = não analisado; N.D. = não detectado.

Fonte: Coelho *et al.* (2002)

De acordo com Coelho *et al.* (2002) foi encontrado alto nível de contaminação nas águas do aquífero freático. A maioria dos parâmetros físico-químicos analisados mostraram-se fora dos limites aceitáveis pela legislação vigente (CONAMA 20, COPAM 10). As amostras apresentavam forte odor de matéria orgânica em processo de decomposição. Os dados de DQO e DBO₅ para as amostras de água subterrânea do poço e piezômetro P1 mostram, claramente, que as águas subterrâneas estão sofrendo contaminação pelo percolado líquido (chorume) produzido pelo maciço do aterro sanitário.

Outros parâmetros também confirmam a contaminação das águas subterrâneas pelo aterro sanitário de Uberlândia, como por exemplo, os teores de nitrogênio amoniacal e cloreto. Os resultados obtidos para cloreto sugerem que o

piezômetro instalado pela comissão pode estar localizado numa zona por onde percola, em maior quantidade, o chorume produzido pelo aterro sanitário. O teor de nitrogênio amoniacal (sob as formas de NH_3 e sais de amônio) na água indica a ocorrência de contaminação direta por dejetos de origem animal e vegetal. O nitrogênio amoniacal é produzido também a partir de nitrogênio orgânico, por atividade biológica.

Observa-se pela Tabela 5 que as concentrações de nitrogênio amoniacal nas amostras de água do piezômetro P1 e do poço estão muito acima dos limites aceitáveis para águas Classe 1 e 2. Como o nitrogênio orgânico converte-se progressivamente em nitrogênio amoniacal por atividade biológica e o nitrogênio amoniacal pode se converter em NO_2^- e NO_3^- , é muito importante que todas as formas de nitrogênio sejam determinadas nesses tipos de investigação (COELHO *et al.*, 2002).

Medidas da acidez e alcalinidade das amostras de água subterrânea dos poços piezômetro P1 também apontam para a contaminação dessa fonte pelo aterro sanitário. A acidez em percolados líquidos contaminados é causada principalmente pela presença de CO_2 , ácidos minerais e sais hidrolizáveis. A determinação desse parâmetro é importante, pois indica o lançamento de esgotos ou outro percolado líquido contaminado em fontes naturais de água doce. A presença de CO_2 em águas naturais não contaminadas é responsável pela leve acidez das águas em razão do H_2CO_3^- formado. Por essa razão, muitas águas contêm acidez e alcalinidade, pois H_2CO_3^- pode ser convertido a HCO_3^- e CO_3^{2-} na presença de compostos básicos como aminas e amônia (COELHO *et al.*, 2002).

Os resultados de acidez e alcalinidade das amostras analisadas indicaram a ocorrência de contaminação, pois a acidez não está sendo causada somente pelo CO_2 dissolvido, pois sua solubilidade em água, sendo muito baixa, da ordem de 10^{-3} mol/L, forneceria um valor de acidez desprezível. Assim, considerando-se que nitrogênio amoniacal encontra-se presente nas amostras de água analisadas, é possível que este seja uma das substâncias responsáveis pela acidez medida. A determinação da alcalinidade mostrou grande contribuição de HCO_3^- . Tal fato indica a presença de contaminantes básicos, como por exemplo, de NH_3^- , produzido

por atividade biológica. Uma grande contribuição de HCO_3^- , foi observada em todas as amostras (COELHO *et al.*, 2002).

A infiltração e percolação de chorume através do solo, numa vazão elevada, devido à produção de grandes quantidades de percolados líquidos pelo maciço de lixo aterrado, explicam os elevados índices de DQO, DBO_5 , cloreto e nitrogênio amoniacal, encontrados nas águas subterrâneas, a jusante do aterro (COELHO *et al.*, 2002).

3.6 APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A geofísica utiliza métodos não invasivos ou não destrutivos, que permitem obter informações sobre as condições geológicas e hidrológicas da subsuperfície, de forma indireta e rápida comparada aos métodos tradicionais de investigação direta.

Os métodos geofísicos são ferramentas consagradas de investigação do meio físico, amplamente empregado no diagnóstico e monitoramento de área contaminadas, sempre em conjunto com técnica diretas de investigação (MOREIRA, *et al.*, 2006).

Os métodos de eletrorresistividade e eletromagnético são considerados os principais para mapear a pluma de contaminação provocada pela infiltração de chorume nos depósitos de resíduos. A interpretação integrada entre os métodos geofísicos diminui as ambigüidades inerentes à interpretação dos dados (REYNOLDS, 1997).

Lago *et al.* (2006), empregando os métodos da eletrorresistividade e polarização induzida permitiram identificar anomalias dentro da zona saturada, que caracterizaram a presença da contaminação gerada pela migração do percolado proveniente da disposição dos resíduos sólidos. A contaminação é confirmada por investigação direta (análise química da água coletada nos poços de monitoramento).

De acordo com Kelly (1976), que correlacionou a análise de amostras de água de poços de monitoramento de um depósito de resíduos com os resultados de sondagens elétricas no mesmo local, o grau de correlação foi bom, sendo os valores de condutividade obtidos semelhantes. Assim, constatou que a geofísica é eficaz na investigação de plumas de contaminação.

Benson & Yuhr (1982) utilizaram seis técnicas geofísicas para o estudo de pluma de contaminação oriunda de depósito de resíduos, dentre as quais a resistividade, o método eletromagnético indutivo e do radar de penetração no solo. Além de detectar a pluma, tais métodos também comprovaram ser eficazes na localização de resíduos enterrados.

Mendes (1987) usou os métodos de eletrorresistividade e eletromagnético indutivo para o estudo das seguintes áreas com potencial de contaminação: aterros sanitários de Taubaté, Novo Horizonte (esses dois em continuidade ao trabalho do programa entre as Universidades de Waterloo e São Paulo) e São José dos Campos, SP; áreas de infiltração de vinhaça em Novo Horizonte e Ribeirão Preto, SP; aquíferos costeiros de São Paulo contaminados por intrusões salinas; e áreas industriais com problemas de poluição e contaminação. O autor sugeriu a aplicação conjunta dos métodos para garantir um grau de confiança maior nos resultados obtidos (GREENHOUSE & SLAINE 1983),

De acordo com Porsani (1999), na década de 90, com o avanço tecnológico, o GPR passou a ser utilizado numa gama maior de problemas, incluindo a localização da pluma de contaminação em áreas impactadas pela disposição de resíduos.

Elis & Zuquette (1999) investigaram o aterro sanitário em Ribeirão Preto, o aterro Bandeirantes em São Paulo, e uma área de disposição de resíduos de curtume em Franca, todos no Estado de São Paulo, utilizando a técnica de caminhamento elétrico dipolo-dipolo para avaliar as relações entre dimensões do empreendimento e qualidade dos resultados obtidos. Observaram que a qualidade da informação obtida decresceu com o aumento do espaçamento entre os eletrodos, que é o recurso utilizado para investigar níveis mais profundos em empreendimentos de maior porte.

Buselli *et al.* (1990) aplicaram, na Austrália, as técnicas de sondagens elétricas e os métodos eletromagnéticos no domínio do tempo para estabelecer a relação entre locais de disposição de resíduos sólidos e contaminação do subsolo por chorume. Os resultados mostraram que a aplicação conjunta destas técnicas foi mais efetiva para caracterizar os locais contaminados.

Ellert *et al.* (1990) investigou a pluma de contaminação oriunda do lixão de São Carlo, SP, utilizando o método eletromagnético indutivo. Valores muito altos de condutividade elétrica apontaram a presença de contaminação.

Boian (1995) estudou a área do aterro sanitário de São José do Rio Preto, SP, utilizando o método geofísico eletromagnético indutivo. O objetivo foi estimar o grau de contaminação do ambiente hidrogeológico devido à deposição de RSU. Pretendendo-se estimar a influência do aterro sanitário na qualidade da água subterrânea local, correlacionou-se os dados obtidos através da geofísica com os dados de análises físico-químicas de amostras da água, obtendo-se um bom resultado.

Franco & Pires (1995) estudaram a contaminação de águas superficiais e subterrâneas provocada pelo depósito de resíduos sólidos de Brasília, DF, utilizando técnicas geofísicas e análises químicas da água. As sondagens elétricas verticais realizadas na proximidade do aterro caracterizam bem a estruturação do solo desenvolvido sobre ardósia. Através de análises físico-químicas observou-se que os níveis de concentração de metais na água foram baixos, representando um efeito da dispersão e diluição dos contaminantes da pluma de contaminação do antigo lixão. Concluiu-se que, para obter resultados mais conclusivos sobre a pluma de contaminação, seria necessário um maior adensamento de SEV's.

4 ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo é feita uma caracterização da área de estudo, enfatizando os aspectos: localização, clima, geológicos, históricos e ainda o escopo da Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Cuiabá/MT.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O aterro sanitário de Cuiabá situa-se ao nordeste da área urbana da cidade, capital do Estado. Faz parte da província geomorfológica da Baixada Cuiabana. A altitude varia de 146 a 250 metros na área urbana e seu entorno. A população é da ordem de 526.830 mil habitantes e a área do município de 3.538 km² (IBGE, 2007).

O clima é Tropical de Savana (AW) – quente e semi-úmido. A temperatura média anual é de 26°C, com as máximas médias diárias em torno de 36°C, em setembro, e as mínimas de 15°C no mês de julho (INMET, 2000). Há duas estações bem definidas, sendo a seca, nos meses de abril a setembro, e a chuvosa, entre os meses de outubro a março (SILVINO, 2008).

O índice pluviométrico anual varia de 1.250 a 1.500 mm e a precipitação é mais intensa no verão (IPDU, 2007).

4.1.1 Localização da Área

A Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos localiza-se a nordeste da área urbana de Cuiabá na estrada Balneário Letícia, s/nº, Sítio Quilombo próximo à Lagoa Bonita, ao lado do Garimpo do Mineiro. A distância de aproximadamente 17 Km do centro da cidade, e cerca de 7 km do bairro mais próximo (Jardim Paraíso II). A área da Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos é de aproximadamente 15,16 ha e as coordenadas geográficas, latitude e longitude, são respectivamente: 15°35'12"S e 56°04'16"W.

Quanto aos recursos hídricos, o aterro localiza-se no divisor de águas, das bacias do Ribeirão do Lipa, com o córrego Doutor e o córrego Três Barras, pertencentes à Bacia do Rio Cuiabá, conforme a Figura 3.

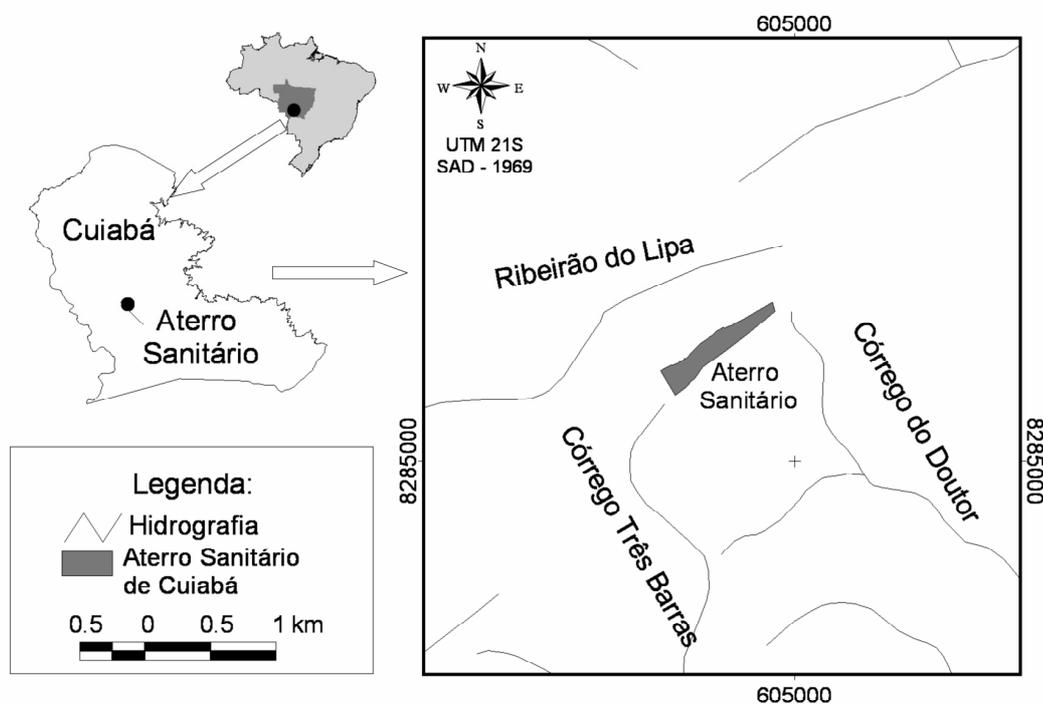


Figura 3 – Localização da Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Cuiabá - Carta topográfica, Escala 1:100.000.

Fonte: Adaptado (Base de dados SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso - Geodados)

O Ribeirão do Lipa é um curso d'água caracterizado por ser de regime intermitente e afluente da margem esquerda do rio Cuiabá. A área da bacia de contribuição é de 6.944 ha, assim ocupada: 34% da área total encontram-se urbanizada, 48% corresponde à área de campo e 17% à preservada (LATORRACA, 2007).

Na Figura 4 pode-se observar a trajetória do chorume tratado ao sair das lagoas de tratamento. O corpo receptor Ribeirão do Lipa é considerado como rio de classe 2, sendo que no período de estiagem (Junho a Setembro) interrompe o seu fluxo natural. Durante esse período permanecendo apenas poças de água em pontos de depressão ao longo do eixo do seu leito principal. A faixa de variação da vazão do corpo receptor é de 0,0 a 11,40 L/s (LATORRACA, 2007).



Figura 4 – Área do aterro sanitário de Cuiabá.

Fonte: Adaptado (GOOGLE EARTH ; acessado, 2007).

A 1ª Célula do aterro (Figura 4) e as lagoas de tratamento do chorume não tiveram impermeabilização de base, sendo fontes potenciais de contaminação do subsolo. As demais Células de deposição de lixo possuem impermeabilização de base com manta de PEAD, assim como drenagem de chorume, o qual é encaminhado ao tratamento através de tubulações plásticas. Também há drenagem de águas superficiais e queima de gases (SMSU, 2001).

4.1.2 Geologia da Área

A área estudada se situa nos domínios geológicos do Grupo Cuiabá, pertencente a Faixa Interna de Dobramentos Paraguai, mais precisamente no compartimento geomorfológico denominado “Baixada Cuiabana”, compreendido entre o Planalto do Guimarães e a Província Serrana (IPDU, 2007).

Em relação a geomorfologia, visualiza-se, na região da Baixada Cuiabana, dois compartimentos de relevos, representados principalmente por diferenças

litológicas. Nas regiões onde predominam metarenitos o relevo possui cotas mais elevadas, devido à resistência dessas rochas ao intemperismo. As regiões adjacentes, compostas na sua maioria por filitos possuem uma topografia arrasada (LUZ *et al.*, 1980), a exemplo da área em estudo.

Segundo a proposta de LUZ *et al.* (1980), que subdivide o Grupo Cuiabá na região da Baixada Cuiabana em 9 Subunidades, a região do aterro sanitário de Cuiabá está inserida na Subunidade 5 em contato com a Subunidade 6, conforme Figura 5.

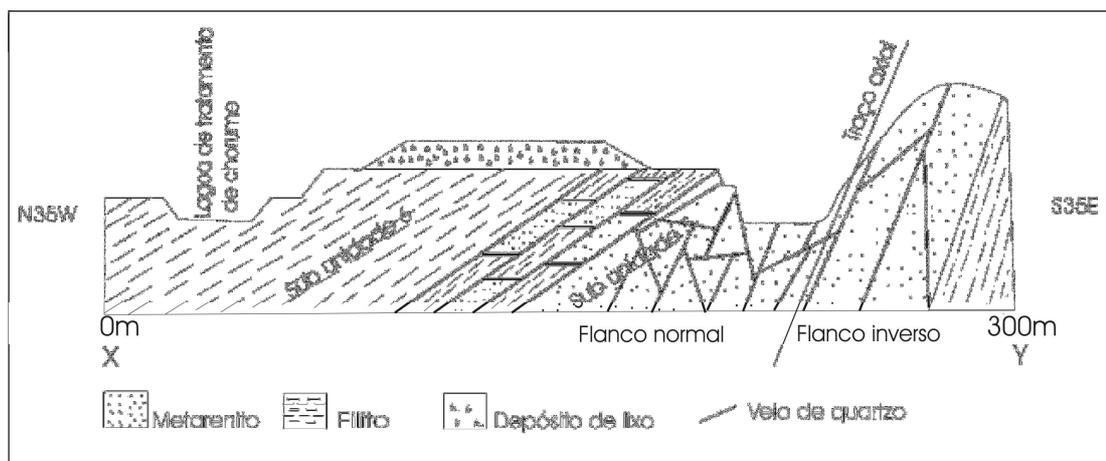


Figura 5 – Perfil geológico transversal do aterro sanitário de Cuiabá.

Fonte: Fernandes *et al.* (2006a)

De acordo com Silva (1999) o aterro situa-se imediatamente ao lado do Garimpo do Mineiro, conseqüentemente esta descrição cabe também à porção sudeste do aterro. De acordo com o referido autor, nesta área foi distinguida uma seqüência de metassedimentos, parte da Subunidade 5, com rochas filiticas em sua base, uma unidade intermediária marcada por uma alternância entre filitos, metassiltitos e metarenitos finos. Sobre estas se seguem rochas metareníticas quartzosas de granulação fina a grossa intercalada a filitos esverdeados.

No topo da seqüência ocorre uma unidade constituída de quartzo-filitos cuja feição característica é sua cor de alteração rósea. Os termos mais pelíticos são compostos basicamente por mica branca e por uma menor quantidade de quartzo com uma abundância variável de opacos. Os termos mais quartzosos são formados basicamente por quartzo, e uma menor quantidade de feldspato e mica branca. As

unidades acima descritas passam a metadiamicritos com matriz pelítica, intercaladas a metarenitos feldspáticos correspondentes a Subunidade 6 (SILVA, 1999).

A litologia de parte da Subunidade 5, presente no Garimpo do Mineiro, foi descrita por Silva (1999), conforme Figura 6, sendo dividida em três grupos:

- Grupo 1 – metarenitos e metarenitos conglomeráticos, com intercalações de camadas centimétricas de filitos verdes laminados;
- Grupo 2 – quartzo-filitos, de coloração rósea, finamente laminados. São constituídos por quartzo, micas e opacos;
- Grupo 3 – metadiamicritos, ocorrendo por vezes com intercalações de camadas de metarenito feldspático.

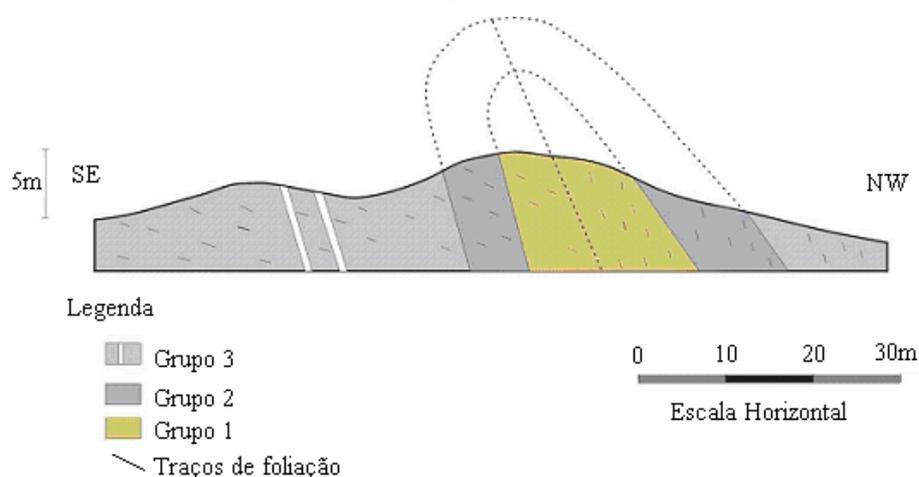


Figura 6 – Perfil geológico do Garimpo do Mineiro.

Fonte: Silva *et al.* (1999)

A presença de fraturas preenchidas por quartzo, onde ocorre maior infiltração de água, a área do aterro situada na Subunidade 5 é mais passível de contaminação por choroze proveniente do aterro (SILVA, 1999).

A área correspondente à Subunidade 6 é composta basicamente por filitos conglomeráticos, que possuem cores que variam entre cinza-esverdeada e esverdeada (quando frescos) e amarelada, amarronzada e avermelhada (quando alterados). A granulação é fina e a matriz filítica, localmente arenosa. Os clastos geralmente são de fragmentos de rocha, cujos diâmetros variam de grânulos a calhaus, subarredondados a angulosos. Há também a presença de metarenitos, que ocorrem em lentes, sendo compostos basicamente por quartzo e cristais alterados de feldspato (SILVA, 1999).

VILELA & SALOMÃO (2006) caracterizaram os horizontes do solo na região do aterro (subunidade 6) em quatro pontos localizados a nordeste e noroeste do aterro, conforme Figura 7. Tal caracterização foi realizada através da escavação de trincheiras, seguida de descrição pedológica

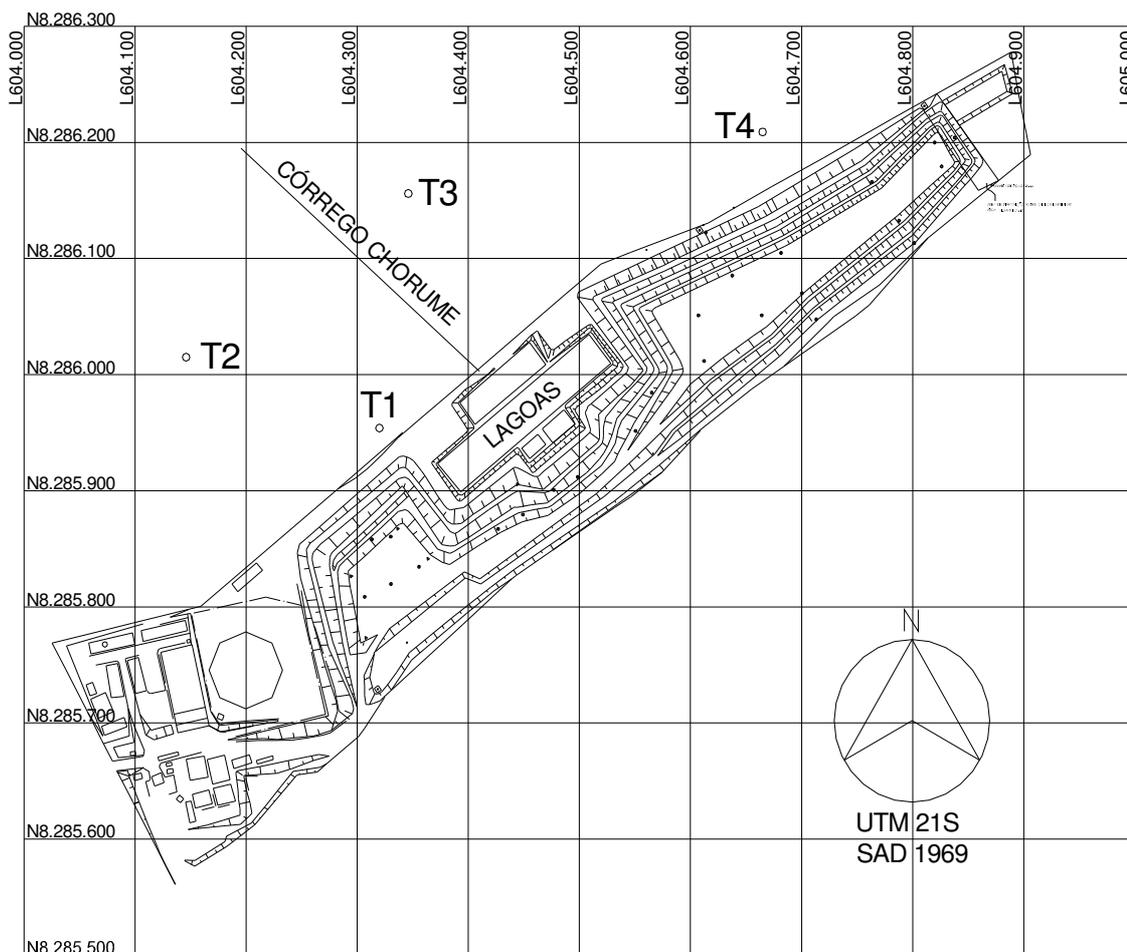


Figura 7 – Localização das trincheiras onde o solo foi caracterizado.

Fonte: Vilela & Salomão (2006).

De acordo com VILELA & SALOMÃO (2006), na Trincheira T1 o solo é constituído por quatro níveis de horizontes, sendo estes definidos por:

- Horizonte “Ap” (Antrópico) – concentrado em quartzo;
- Horizonte “F” – concentrado em laterita (óxido de ferro);
- Horizonte “B” – sem vestígio da rocha e sem laterita, e
- Horizonte “C” – apresenta vestígios da rocha (Filito alterado).

Pelas características de cada horizonte constatou-se que os Horizontes “Ap” e “F” são do tipo Plintossolo Petro-Plíntico, constituído por couraças ferruginosas e cascalhos de quartzo, sendo muito porosos, e com isso, apresentando grande permeabilidade (VILELA & SALOMÃO, 2006).

Já os Horizontes “B” e “C” são camadas impermeáveis por possuírem argilas e serem pouco porosos (VILELA & SALOMÃO, 2006), (Figura. 8).

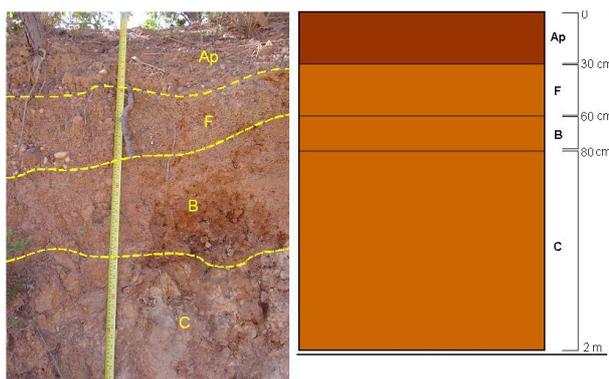


Figura 8 – Perfil da Trincheira T1.
Fonte: Vilela & Salomão (2006)

Segundo VILELA & SALOMÃO (2006), a Trincheira T2 é constituída pelo Horizonte “F” (descrito na Trincheira T1), porém com algumas características distintas, como a presença de uma couraça ferruginosa formada pela cimentação do óxido de ferro em uma camada sedimentar (fenômeno da concentração absoluta) e a presença de dois níveis, conforme a descrição a seguir:

- “F1” – caracterizado por possuir um cascalho mais fino e ter uma espessura de 80 cm;
- “F2” – caracterizado por possuir uma couraça ferruginosa pouco intemperizada com fragmentos de quartzo e ter 1,20 m de espessura.

O solo também é denominado como Plintossolo Petro-Plíntico (VILELA & SALOMÃO, 2006), (Figura 9).

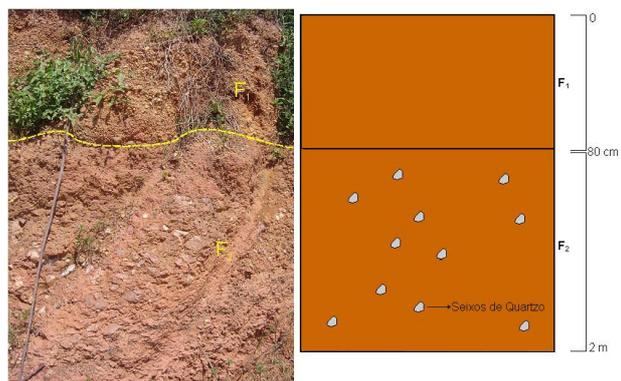


Figura 9 – Perfil da Trincheira T2.

Fonte: Vilela & Salomão (2006).

Segundo VILELA & SALOMÃO (2006), a Trincheira T3 é constituída pelos Horizontes “Ap”, “C” e “F”, assim descritos:

- Horizonte “Ap” – composto pelas mesmas características do Horizonte “Ap” da Trincheira T1 mas com coloração cinza escura;
- Horizonte “C” – possui cascalho de quartzo e pouca matriz areno-argilosa centimétrica e milimétrica;
- Horizonte “F” – caracterizado por possuir grãos de quartzo milimétrico e alguns centimétricos cimentados por óxido de ferro (FeO_2) pouco alterado, (Figura 10).

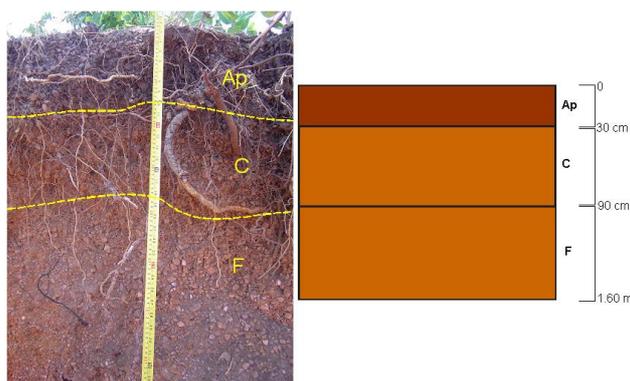


Figura 10 – Perfil da Trincheira T3.

Fonte: Vilela & Salomão (2006)

A Trincheira T4 possui um só tipo de horizonte e um veio de quartzo de aproximadamente 15 cm. O horizonte descrito é o “F”, que possui as mesmas

características do Horizonte “F” da Trincheira T4 (VILELA & SALOMÃO, 2006), (Figura 11).

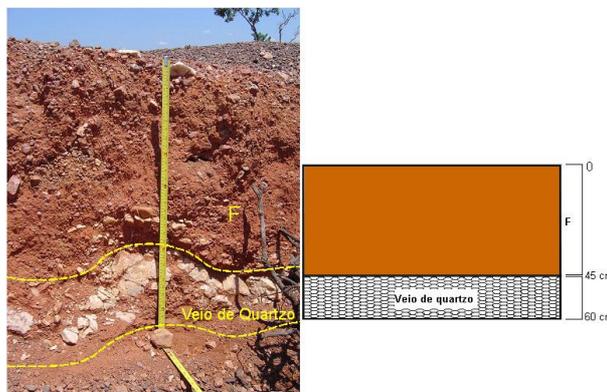


Figura 11 – Perfil da Trincheira T4.

Fonte: Vilela & Salomão (2006).

Como observado na Trincheira T1 a rocha de base é o filito. Nas demais trincheiras não se encontrou o filito, pois o mesmo encontrava-se mais profundo. Simplificadamente pode-se afirmar que, na área estudada, a rocha de base – o filito – é coberta por camadas de cascalhos de quartzo e laterita, podendo apresentar fraturas preenchidas por quartzo em alguns pontos. A espessura das camadas sobre o filito varia de alguns centímetros a alguns metros (LAUREANO, 2007).

Silva (2001) também estudou o solo que compõe a área do aterro. Os ensaios revelaram que o solo é argilo-siltoso, classificado com 7,85% de areia, 35,11% de silte e 57,04% de argila.

Segundo SILVA (2006), a infiltração da água no filito é lenta, devendo estar relacionada à sua alta percentagem de silte, que tem facilidade de se desprender pelo impacto das gotas da chuva, produzindo um selamento superficial. Dessa forma, pode provocar escoamento superficial da água ao invés de infiltração.

4.1.3 Histórico

De acordo com Caporossi (2002), Cuiabá contava em 1982 com uma população de aproximadamente 250.000 habitantes, uma produção de lixo em torno de 121 t/dia e até então o lixo era lançado em vários locais da cidade. A partir dessa data a disposição dos resíduos passou a ser concentrada em uma área denominada “Lixão de Cuiabá”, localizada no km 6 da Rodovia Emanuel Pinheiro, aí

permanecendo até o ano de 1997. Nesse local havia a presença de muitos catadores de lixo, tentando retirar do mesmo restos de alimentos e objetos que pudessem ser vendidos ou reaproveitados. Tal situação impunha aos catadores uma condição de trabalho miserável, uma vez que estes se misturavam com animais e vetores como ratos, baratas e moscas (SMSU, 2001).

Visando equacionar as problemáticas relacionadas com a limpeza urbana, a Prefeitura Municipal de Cuiabá, através da empresa PRODECAP – Progresso e Desenvolvimento da Capital, resolveu adotar o Sistema de Manejo Integrado de Resíduos Sólidos, passando pela melhoria dos serviços de limpeza urbana, coleta regular de lixo e também pelo encerramento das atividades de disposição final no “lixão”, substituindo-o por outro local considerado ambientalmente seguro, sanitariamente adequado e economicamente sustentável (CAPOROSSO, 2002).

A conclusão das obras do novo local para destinação dos resíduos sólidos ocorreu em dezembro de 1996, em março de 1997 teve início à operação da mesma.

Com a mudança do local de destino final do lixo para a Usina de Reciclagem e Compostagem, foi criada ainda em 1995 uma Cooperativa de Catadores de Lixo, aproveitando a mão-de-obra existente no antigo lixão, porém de forma organizada, produtiva e mais higiênica (SMSU, 2001), acompanhando as linhas de processo da usina.

A empresa ENTERPA AMBIENTAL S/A., assumiu a operação do aterro sanitário em dezembro de 1998 e da usina em agosto de 1999 (SMSU, 2001).

A finalidade de que a implantação do aterro sanitário recuperasse a área degradada pela atividade do garimpo, onde seriam depositados os rejeitos enfardados proporcionando a remoldagem do relevo da área. Sobre os fardos, seriam dispostas camadas de composto orgânico obtido na usina, ocorrendo a revegetação da superfície do terreno, porém o enfardamento não foi possível devido à questão operacional na usina, levando à incorreta disposição da massa de resíduos (SMSU, 2001).

4.1.4 Central de Destinação Final de Resíduos Sólidos de Cuiabá

A Central de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Cuiabá é compreendida por diversas unidades, tais como o setor de recepção e pesagem do lixo, usina de triagem, onde se realiza a classificação e prensagem do material, passando para o beneficiamento de plásticos, setor de compostagem e o aterro sanitário, conforme Figura 12.

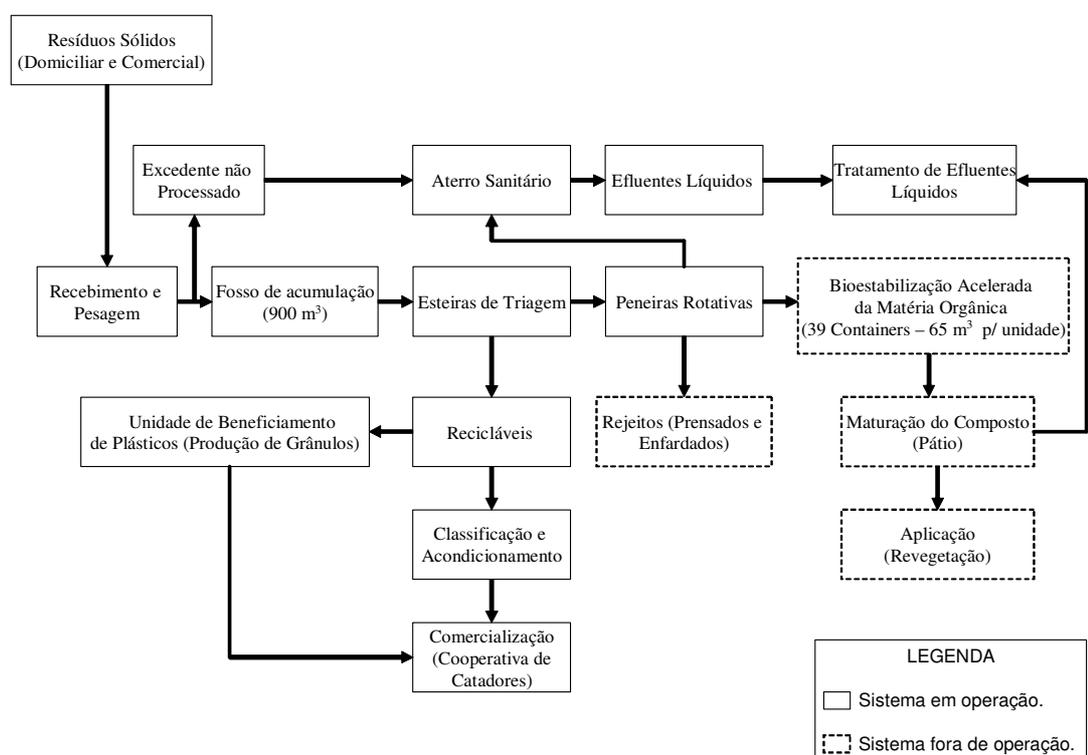


Figura 12 – Fluxograma dos resíduos na Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos da cidade de Cuiabá/MT.

Fonte: Adaptado (CAPOROSI, 2002).

4.1.4.1 Setor de Recepção e Pesagem

O aterro possui uma guarita para o registro de entrada dos caminhões de coleta, seguida de uma balança rodoviária para pesagem e controle, com capacidade para 34 toneladas; um pátio de recepção de lixo e fosso de acumulação com capacidade para 900 m³, onde é depositado o lixo bruto resultante da coleta regular (SMSU, 2001).

4.1.4.2 Esteiras de Triagem

O lixo bruto é transportado mecanicamente até as esteiras de triagem, onde são retiradas, através da catação, os materiais inertes. A capacidade nominal de triagem dos materiais está relacionada com a velocidade ergonômica do conjunto das esteiras da triagem. É essa velocidade que permite a triagem manual do lixo pelos catadores. A capacidade nominal de 200 t/dia é determinada pela capacidade nominal de $5t.h^{-1}$ por esteira de triagem em operação durante 8 horas/dia (SMSU, 2001).

4.1.4.3 Setor de Triagem de Materiais Recicláveis

Nesse setor, ocorre a separação dos materiais recicláveis presentes no lixo, através de cinco linhas de esteiras alimentadas através de moegas dosadoras onde é feita a triagem manual. A separação dos materiais ferrosos é realizada com um dispositivo eletromagnético instalado no final da esteira e a separação da matéria orgânica através das peneiras rotativas hexagonais. Cada esteira possui 15 metros de comprimento e 36 polegadas de largura, sendo que sua velocidade varia de 0,07 a $0,42 m.s^{-1}$. A matéria orgânica bruta, após passar pela malha das peneiras rotativas, deve ser transportada até o setor de compostagem através de correias (SMSU, 2001). Porém não é o que ocorre, sendo a fração orgânica *in natura* encaminhada ao aterro juntamente com os rejeitos.

4.1.4.4 Setor de Classificação, Prensagem e Armazenamento de Materiais Recicláveis

Ao lado do setor de separação dos materiais recicláveis, existem duas áreas a céu aberto de $300 m^2$ destinados ao armazenamento de material prensado, enfardado e selecionado. Esse material passa por uma classificação, sendo depois encaminhada para o enfardamento. Existem dois tipos de prensa, a do tipo vertical com capacidade para $1.250 kg.h^{-1}$ e a do tipo horizontal com capacidade para $800 kg.h^{-1}$.

4.1.4.5 Setor de Recuperação e Beneficiamento de Plásticos

Após triagem, o plástico é transformado em matéria prima reciclada. Este processo é composto pela classificação, moagem, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão e granulação dos materiais classificados.

4.1.4.6 Compostagem

O material da compostagem é selecionado nas peneiras rotativas do setor de triagem, e encaminhado, através dos transportadores por correias, até o conjunto de 39 *containers*, sendo que cada um possui 61,35 m³ para a matéria orgânica e 3,65 m³ para a câmara de aeração. Ao todo são 44 *containers*, pois 39 são para a compostagem e 5 para biofiltros com objetivo de tratar o ar que é liberado para a atmosfera, absorvendo os gases responsáveis pelo mau cheiro da compostagem, formando conjuntos dispostos de forma circular no pátio. Os containers são basculáveis, construídos com tubos, perfilados e barras de aço carbono, parede dupla com isolamento térmica em placas de poliuretano expandido de 50 mm, fundo falso com 29 cm de altura, duas comportas basculantes manuais para permitir a alimentação do container, porta traseira basculante manual para descarga, três entradas na lateral inferior para tubulação de insuflamento de ar, uma saída superior para exaustão de ar, dois pontos na tampa superior e um na lateral superior com instalação de três termoresistências para o controle de temperatura interna e um ponto junto à saída de ar dos containers, próximo à entrada de ar do biofiltro, com a instalação de um analisador de teor de O₂ no ar efluente. Há um dispositivo para a coleta e recirculação do líquido percolado. A maturação do composto orgânico proveniente dos containers de compostagem acelerada é feita em um pátio a céu aberto, com capacidade para armazenar a produção de 14 dias de maturação. Este sistema está desativado, desde do início da operação do aterro devido á falta de energia suficiente para o seu funcionamento (SMSU, 2001).

4.1.4.7 Aterro Sanitário

O aterro sanitário foi projetado para receber material proveniente das atividades da usina de triagem e compostagem de lixo domiciliar urbano da cidade de

Cuiabá, o chamado rejeito, após serem prensados e enfardados. Porém, atualmente os resíduos são depositados no aterro sanitário “in natura” e sem enfardamento

Em Cuiabá são coletadas cerca de 450 toneladas de resíduos sólidos domiciliares e comerciais correspondendo a um índice de cobertura de 93%. Atualmente, somente 230 toneladas dos resíduos que chegam à Central de Destinação Final são destinados à usina de reciclagem, que apresenta uma eficiência de aproveitamento dos materiais recicláveis de 7%. Os outros 220 toneladas são depositadas diretamente nas Células do aterro.

Os resíduos ali dispostos são constituídos de materiais do lixo domiciliar e comercial: plásticos, panos, raspas de couro, pedaços de madeira, materiais de higiene pessoal, fragmentos de materiais diversos, garrafas plásticas, restos de alimento (CAPOROSI, 2002).

Além disso, o aterro recebe 7 ton.d⁻¹ de Resíduos Sólidos de Saúde - RSS, os quais são dispostos em vala séptica, separadamente dos demais resíduos de forma sanitária e ambientalmente segura, oriundos de hospitais, clínicas, farmácias, laboratórios e congêneres.

4.1.4.8 Coleta de Resíduos Sólidos e o Horário de Funcionamento da Usina

A coleta de lixo funciona de acordo com o horário de funcionamento da usina, ou seja, de segunda a sábado, com horários bem definidos: de 07h00 às 11h00 e de 13h00 às 17h00. O aterro funciona 24 horas por dia.

4.1.4.9 Sistema de Impermeabilização do Solo do Aterro Sanitário

O sistema de impermeabilização do solo é indicado nas faixas de disposição do aterro, com o objetivo de se evitar contaminação das águas subterrâneas do aquífero freático pelo chorume percolado. Porém de acordo com o levantamento hidrogeotécnico realizado para a elaboração do projeto técnico, o solo possui baixa permeabilidade. Por isso e pelo fato de estar prevista a compostagem do material orgânico, inicialmente não foi feita a impermeabilização da base do aterro e nem das lagoas de tratamento. Somente da segunda Célula de lixo em diante foi feita a

impermeabilização da base. Mas a primeira Célula e as lagoas até hoje não foram impermeabilizadas (SMSU, 2001).

4.1.4.10 Sistema de Drenagem Superficial

O aterro possui sistema de drenagem superficial, que tem a finalidade de garantir que as águas precipitadas diretamente nos módulos do aterro não entrem em contato com o lixo (SMSU, 2001).

Também há um sistema de drenagem do chorume. Segundo a SMSU (2001), foi executado um sistema de drenagem de fundação permitindo a drenagem de fundo pelos canais formados. E após cada camada de resíduo são executadas valas de drenagem que são interligadas às caixas coletoras para o encaminhamento ao sistema de tratamento.

4.1.4.11 Sistema de Drenagem dos Gases

A drenagem dos gases gerados também é realizada, evitando que os gases produzidos na decomposição anaeróbia da matéria orgânica, principalmente o metano, não se acumulem nas Células do material confinado. Neste caso, uma concentração da ordem de 5 a 15% poderá formar com o ar uma mistura explosiva. Os drenos de gases são os mesmos do sistema de drenagem vertical de líquidos SMSU (2001).

4.1.4.12 Sistema de Tratamento

Finalmente há um sistema de tratamento do chorume. Após a captação, o chorume é encaminhado a um sistema de tratamento, com objetivo de remover a carga orgânica e reduzir o potencial patogênico. O sistema adotado para o aterro sanitário de Cuiabá foi o de lagoas de estabilização em série, detalhado a seguir.

O sistema de tratamento do chorume do aterro sanitário é composto por um tanque de equalização, uma lagoa anaeróbia e duas facultativas, em série. O fluxograma pode ser visualizado na Figura 13.

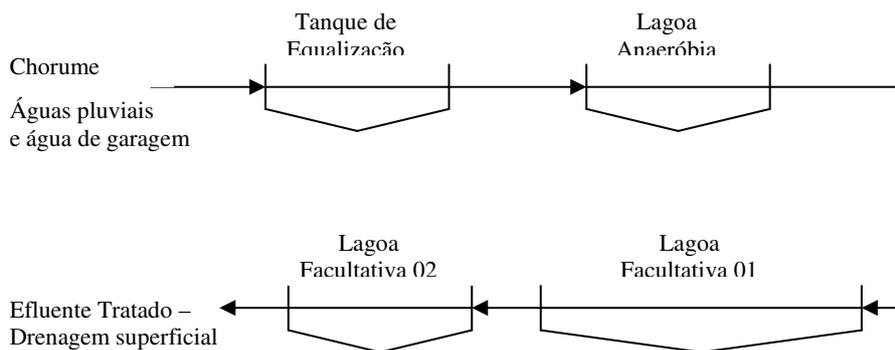


Figura 13 – Fluxograma do sistema de tratamento de chorume.

Além de chorume bruto, o tanque de equalização também recebe as águas pluviais do pátio da usina, as águas de lavagem dos caminhões e águas de lavagem da unidade de beneficiamento de plástico.

Os estudos de Caporossi (2002) apontaram uma vazão afluyente média de $20,74 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, máxima na lagoa anaeróbia de $188,35 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ e mínima de $6,91 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para o ano de 2001. As DQOs média, máxima e mínima do líquido afluyente, para o mesmo ano, são de 2.540 mg/L , 6.860 mg/L e 970 mg/L , respectivamente. Já as DQOs média, máxima e mínima do chorume bruto, para o mesmo ano, são de 16.150 mg/L , 35.000 mg/L e 6.040 mg/L , respectivamente.

Observando os dados da referida autora, percebe-se que a eficiência do sistema de tratamento varia de acordo com a vazão. Quando esta é máxima, a eficiência é menor (cerca de 76%). Quando a vazão é mínima, a eficiência é maior (100%), pois o tempo de detenção hidráulica é maior, otimizando o tratamento biológico. A eficiência média ficou em torno de 96%, não atingindo os padrões que a legislação estabelece. Dessa forma, caso fosse tratado apenas o chorume bruto nas lagoas, a eficiência do sistema seria otimizada. Poderia ser construído um sistema de tratamento separado para as águas pluviais e de lavagem (LAUREANO, 2007).

De acordo com Caporossi (2002), no período seco ocorre inexistência de vazão efluente das lagoas (ocorrido em setembro de 2001, por exemplo). A autora afirma que as possíveis causas sejam as elevadas temperaturas e uma provável infiltração, sugerindo que esta última deve ser melhor averiguada. Porém, vale salientar que, no período seco, a evaporação superficial é muito grande. Por outro lado, como não há impermeabilização das lagoas, é possível que haja realmente percolação de chorume para o subsolo, apesar da baixa permeabilidade da matriz fílica da área.

5 METODOLOGIA

A descrição dos materiais e métodos adotados envolveram estudos bibliográficos no que diz respeito a Central de Disposição de Resíduos Sólidos de Cuiabá; avaliação do índice da qualidade de aterros de resíduos através de *check list*, fluxograma do índice de qualidade da água superficial e subterrânea; técnicas de coletas, processamento de dados e estudo geofísicos já existentes.

5.1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

As revisões bibliográficas foram referente a resíduos sólidos, aterro sanitário, chorume, sistema operacional, e aplicação de métodos geofísico em uma área de disposição de resíduos sólidos. Foram realizadas consultas aos bancos de dados e acervos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/MT), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/MT), Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano (IPDU/CUIABÁ), Secretaria Municipal de Infra-estrutura (SEMINFE/CUIABÁ), literatura específica e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

5.2 ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS DE CUIABÁ.

O Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQAR), é constituído por parâmetros para avaliar eficiência dos dispositivos de controles de impactos ambientais e prevenção da poluição causados por um aterro sanitário nos processos de implantação e operação.

Este IQAR, permite determinar a eficiência real dos sistemas de proteção ambiental, baseado nos conceitos de Gestão Ambiental, através da ISO 14001. Através de um *check list* (Apêndice 1), com os parâmetros das características do

local, infraestrutura implantada e condições operacionais. São atribuídos notas e pesos, para cada critério ambiental envolvidos, de acordo com o grau de importância para o monitoramento, como proposto e elaborado por Leite (2005).

5.3 FLUXOGRAMA DE TRABALHO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA.

A Figura 14 apresenta as etapas desenvolvidas nas atividades de levantamento de dados primários (coleta; resultados de exames bacteriológicos, resultados de análises físico-químicas e análises de metais), e dados secundários (temperatura, índice pluviométrico, efluente tratado e mapas geofísicos). Esse conjunto de dados foi organizado em bases distintas, de forma a permitir a realização de:

- 1 - Análises estatísticas descritivas e correlação;
- 2 - Comparação e avaliação dos resultados obtidos das águas superficiais com a Resolução CONAMA nº. 357/05 e águas subterrâneas Portaria nº. 518/04;
- 3 - Classificação do índice da qualidade da água superficial e subterrânea.

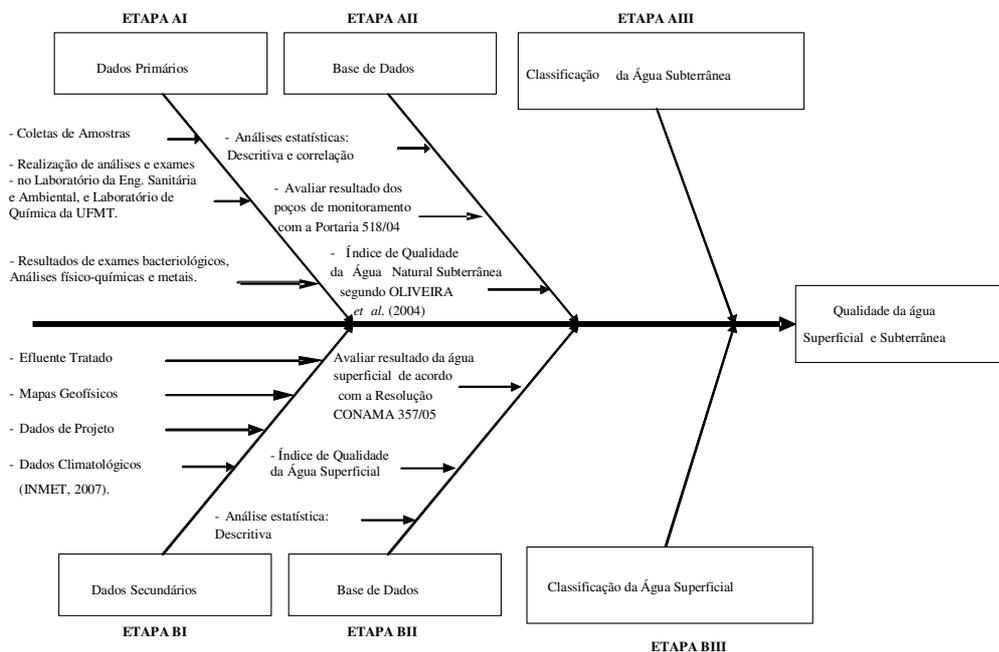


Figura 14 – Sequência de etapas utilizadas para classificação da qualidade da água superficial e subterrânea na área de influência da central de disposição final de resíduos sólidos urbanos da cidade de Cuiabá/MT.

5.4 MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Foram analisados nove poços de monitoramento distribuídos estrategicamente pela área do aterro. Para tanto, o procedimento de amostragem foi de acordo com a NBR 13.895/97.

Cinco poços de monitoramento já faziam parte do aterro sanitário:

- RL 1 – poço tubular profundo de abastecimento e monitoramento;
- RL 2 e RL 3 – situam-se próximo à 1ª Célula;
- RL 4 – situa-se próximo à 2ª Célula;
- RL 5 – situa-se próximo à estrada de acesso ao Balneário Letícia.

Três poços de monitoramento foram abertos pela Universidade Federal de Mato Grosso:

- RL 6 e RL 7 – também localizados na estrada de acesso ao balneário Balneário Letícia; e

- RL 8 – próximo a lagoa bonita. Um poço tubular profundo foi monitorado na área adjacente ao aterro como *background* (DR 9).

Os poços de monitoramento na região do aterro indicam profundidades que variam de 25 m a 30 m. No Apêndice 2, encontra-se as coordenadas e altitude dos poços de monitoramento.

A localização destes poços de monitoramento pode ser observada na Figura 15.



Figura 15 – Localização dos poços de monitoramento e represas na área de influência do aterro sanitário.

Fonte: Adaptado (GOOGLE EARTH, acessado 2007).

As coletas para análises físico-químicas e metais nos poços foram realizadas utilizando frascos de um litro e para coleta bacteriológica foram utilizados frascos de 250 ml esterilizados em laboratório.

Buscou-se preservar as amostras conservando-as em temperatura de 4°C até a fase de análises em laboratório, realizadas no Departamento de Engenharia Sanitária e Departamento de Química da Universidade Federal de Mato Grosso.

A Figura 16, apresenta a realização de coleta de amostra de água do subsolo no poço de monitoramento RL 3, com auxílio do coletor que constitui-se de um tubo de PVC preto, medindo 0,60 metros de comprimento e 2 polegadas de diâmetro, com uma válvula de retenção vertical instalada em uma das extremidades, na outra extremidade um cordão de nylon com 60 metros de comprimento. Utilizou-se um coletor para cada poço de monitoramento.



Figura 16 – Realização de coleta de água subterrânea no ponto RL3.

Oliveira *et al.* (2004) selecionou os principais parâmetros químicos que influenciam na qualidade da água, utilizando os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde Portaria nº. 518/2004. Dentre os parâmetros, foram escolhidos seis: cloreto, pH, sólidos totais, dureza, flúor e nitrato. Estabelecidos pesos para ponderar a influência de cada parâmetro, permitindo assim gerar uma nota global para o índice IQNAS, representativo da qualidade da água com fins de potabilidade.

A equação matemática utilizada para o IQNAS, é um produtório de valores de qualidade (q_i) para cada variável, elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i), de acordo com Apêndice 3:

$$\text{IQNAS} = q_1^{w_1} \times q_2^{w_2} \times q_3^{w_3} \times \dots \times q_n^{w_n}$$

Onde:

q_i = nota ou qualidade da variável i

w_i = peso da variável i .

A cada parâmetro foi atribuído um peso, listados na Tabela 6, de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQNAS.

Tabela 6 – Pesos dos parâmetros IQNAS.

| Parâmetros | Equações matemáticas das Notas | Pesos | |
|-----------------------|---|----------------------------|------|
| pH | $Q_{pH} \% = 1,7354 * pH^2$ | $[2 \leq pH \leq 7,34]$ | 0,05 |
| | $Q_{pH} \% = 16405 * pH^{-2,5 - 17}$ | $[pH \geq 7,35]$ | |
| Cloreto (Cl) | $Q_{cl} \% = 100$ | $[Cl < 4,86]$ | 0,26 |
| | $Q_{cl} \% = 138,9 * (Cl^{-0,19561}) - (Cl^{0,42})$ | $[4,86 \leq Cl \leq 3000]$ | |
| | $Q_{cl} \% = 0,0$ | $[Cl > 3000]$ | |
| Sólidos Totais (ST) | $Q_{ST} \% = 79 - 0,167284 * RT + EXP(RT^{0,228})$ | $[0 \leq RT \leq 1630]$ | 0,22 |
| | $Q_{ST} \% = 27,7$ | $[RT > 1630]$ | |
| Dureza (DUR) | $Q_{DUR} \% = 100$ | $[DUR < 5,4]$ | 0,16 |
| | $Q_{DUR} \% = 101,1 * EXP(-0,00212 * DUR)$ | $[DUR \geq 5,4]$ | |
| Flúor (F) | $Q_F \% = 80 + 21 * F - F^{11,6263}$ | $[0 \leq F \leq 1,5]$ | 0,16 |
| | $Q_F \% = 0,0$ | $[F > 1,5]$ | |
| Nitrato (NO_3^- N) | $Q_n \% = 100 * EXP(-0,0994 * N)$ | $[N \geq 0,0]$ | 0,15 |
| | | Soma total dos pesos | 1,00 |

Fonte: Oliveira *et al.* (2004)

O cálculo do valor de IQNAS, para cada amostra utilizadas permite definir a qualidade da água, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Nível de qualidade do IQNAS.

| Descrição (OLIVEIRA <i>et al.</i> 2004) | FAIXA |
|---|----------|
| Qualidade ótima | 80 – 100 |
| Boa | 52 – 79 |
| Aceitável | 37 – 51 |
| Imprópria | 0 – 36 |

Fonte: Oliveira *et al.* (2004)

Com base no valor do IQNAS foi possível elaborar um diagnóstico de qualidade química das águas subterrâneas do aquífero na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá.

5.5 MONITORAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL

As águas superficiais coletadas na área de influência do aterro sanitário são provenientes do Ribeirão do Lipa e represas próximas de acordo com a Figura 15.

Os pontos de coletas são: RL 10 e RL 11 em represas; RL 12 e RL 13 no Ribeirão do Lipa a jusante do ponto de lançamento de efluente tratado do aterro sanitário; RL 14 – na represa a montante do ponto de lançamento e RL15, junto à área do aterro. No Apêndice 3, encontra-se a coordenada e altitude dos pontos de coletas das águas superficiais.

As amostras de águas superficiais foram baseadas nas orientações contidas na NBR 9.898/87. As coletas de amostra de águas superficiais para análises físico-químicas e metais foram realizadas utilizando frascos de um litro e para coleta bacteriológica foram utilizados frascos de 250 mL esterilizados e preparados em laboratório.

As amostras foram conservadas em temperatura de 4°C. As análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia Sanitária e no Departamento de Química da Universidade Federal de Mato Grosso.

A Figura 17, apresenta a realização de coleta e o monitoramento da temperatura da água superficial do ponto RL 10.



Figura 17 – Realização de coleta e monitoramento da temperatura da água superficial no ponto RL10.

Os resultados das exames bacteriológicos, físico-químicos e metais das águas superficiais na área de influência do aterro foram comparados com valores máximos preconizado pela Resolução CONAMA nº. 357/05.

Na caracterização do Índice de Qualidade da Água, utilizou alguns parâmetros que representam suas características físico-químicas e biológicas. Estes

parâmetros foram estabelecidos pela National Sanitation Foundation (NSF) nos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, para o desenvolvimento de um índice que indicasse a qualidade da água. Com isso nove parâmetros foram considerados mais representativos: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Para cada parâmetro foram traçadas curvas médias da variação da qualidade da água em função das suas respectivas concentrações de acordo com Apêndice 4.

A cada parâmetro foi atribuído um peso, listados na Tabela 8, de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQA/NSF.

Tabela 8 – Peso dos parâmetros do IQA.

| Parâmetro | Peso (wi) NSF-WQI |
|----------------------------------|------------------------------|
| Oxigênio dissolvido | 0,17 |
| Coliformes fecais (NMP/100 mL) | 0,15 |
| pH | 0,12 |
| DBO ₅ (mg/L) | 0,10 |
| Nitratos (mg/L NO ₃) | 0,10 |
| Fosfatos (mg/L PO ₄) | 0,10 |
| Temperatura (°C) | 0,10 |
| Turbidez (UNT) | 0,08 |
| Sólidos Totais (mg/L) | 0,08 |
| TOTAL | 1,00 |

Então o IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros conforme a fórmula:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{wi}$$

Onde:

IQA – índice de qualidade da água, um número de 0 a 100

qi = qualidade do parâmetro *i* obtido através da média de qualidade;

wi = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

Os valores do índice variam entre 0 e 100, conforme especificado na Tabela 9, a seguir:

Tabela 9 – Nível de qualidade do IQA.

| Descrição (NSF) | FAIXA | Descrição (CETESB) | FAIXA |
|---------------------|----------|--------------------|----------|
| Péssima qualidade | 0 – 25 | Péssima | 0 – 19 |
| Má qualidade | 20 – 36 | Ruim | 20 – 36 |
| Média qualidade | 37 – 51 | Regular | 37 – 51 |
| Boa qualidade | 52 – 79 | Boa | 52 – 79 |
| Excelente qualidade | 91 – 100 | Ótima | 80 – 100 |

Fonte: CETESB (2007)

Assim definido, o IQA/NSF reflete a interferência por lixiviado e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos na qualidade dos recursos hídricos.

5.6 PERÍODO DE COLETA

As coletas dos poços de monitoramento ocorreram 13 vezes, no período de estudo, entre os meses de outubro de 2006 a outubro de 2007, exceto para os seguintes poços:

- RL 5: As coletas foram no período de janeiro a maio de 2007. No período de junho a setembro o mesmo encontrou-se seco, retornando a coleta no mês de outubro de 2007.
- RL 6, RL 7, RL 8 e DR 9: As coletas foram realizadas no período de novembro a outubro de 2007.

As coletas das águas superficiais ocorreram entre os meses de outubro de 2006 a outubro de 2007, exceto para as seguintes represas:

- RL 14: As coletas foram realizadas de novembro a outubro de 2007.
- RL 15: As coletas foram realizadas de julho a outubro de 2007.

5.7 VARIÁVEIS ANALISADAS

A Tabela 10 apresenta as variáveis levantadas, métodos adotados baseados no “Standard Methods” (APHA *et al.*, 1995) para análise de água potável e residuária.

As análises físico-químicas em cada amostra de água foram analisados as seguintes variáveis:

Tabela 10 – Métodos das análises físico-químicas.

| Variáveis | Método | Periodicidade |
|---|--|---------------|
| Alcanilidade | Potenciométrico com titulação c/ H ₂ SO ₄ - 0,02 N | Trimestral |
| Temperatura da água T [Água] | Leitura direta no termômetro | Mensal |
| Temperatura do ar T [Ar] | Leitura direta no termômetro | Mensal |
| Cor Aparente | Colorimétrico | Mensal |
| Turbidez | Turbidimétrico | Mensal |
| Potencial Hidrogeniônico – pH | Potenciométrico | Mensal |
| Dureza total | Titulométrico EDTA | Mensal |
| Nível d'água | Trena | Mensal |
| Sólidos Totais | Gravimétrico | Semestral |
| Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK | Kjeldhal macro | Mensal |
| Cloreto | Mohr | Semestral |
| Nitrato | Espectrofotométrico | Semestral |
| Fosfato | Espectrofotométrico | Semestral |
| Flúor | Espectrofotométrico | Semestral |
| Fósforo total | Persulfato de potássio – Ácido ascórbico | Mensal |
| Oxigênio Dissolvido | Winkler, por modificação de azida sódica | Semestral |
| DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio) | Iodométrico | Mensal |
| DQO (Demanda Química de Oxigênio) | Refluxo fechado: colorimétrico | Mensal |

As análises químicas dos metais (Mn, Cd, Fe, Ni, Cr, Zi, Cu e Pb) em cada amostra de água foram analisadas pelo método de Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA), com periodicidade semestral de acordo com APHA *et al.* (1995).

As exames microbiológicos de coliformes totais e *E. Coli*, foram realizadas mensalmente através do método de colilert de acordo com APHA *et al.* (1995).

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA E DE CORRELAÇÃO SIMPLES

O estudo baseou-se na análise estatística descritiva e na análise de correlação simples, tais análises utilizaram-se do software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

A análise descritiva como o próprio nome sugere trata-se da organização, sumarização e descrição de dados, por meio de cálculos de medidas médias, valores máximos e mínimos, desvio padrão, entre outros. A análise de correlação é um indicador de relação linear entre duas variáveis intervalares. Trata-se de uma medida de associação que independe das unidades de medidas e que varia de -1 à +1, quanto mais próximo de -1 ou +1 for o coeficiente de correlação maior é a qualidade do ajuste, conforme Martins (2002).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados:

1 - A classificação do aterro em estudo, de acordo com Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos;

2 - Testes estatísticos de análises descritivas e avaliação dos resultados das superficiais e subterrâneas de acordo com valores máximos permitidos na Portaria nº. 518/04 e Resolução CONAMA nº. 357/05;

3 - Análise de correlação de matéria orgânica (DQO e DBO₅) com as variáveis cor, turbidez, índice pluviométrico, coliformes totais e o nível do aquífero freático, nos poços de monitoramento RL 1, RL 2, RL 3, RL 4 e RL 5;

4 - Classificação do índice da qualidade da água superficial e subterrânea na área de influência do aterro sanitário e comparação de mapas geofísicos com resultados dos poços de monitoramento.

6.1 ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS

Durante as visitas mensais para coleta de amostras foram observados alguns problemas, principalmente na infra-estrutura do aterro como a pouca eficiência do sistema de proteção basal e sistema de tratamento de lixiviado; falta de drenagem da água superficial.

Observou-se na parte operacional a necessidade de monitoramento periódico das águas superficiais e subterrâneas; ocorrência de criação de animais na proximidade da área do aterro; presença de urubus, garças e presença de moscas.

O Quadro 01, a seguir mostra o cálculo do IQAR e a pontuação atribuída aos diferentes sub-itens. O Índice da Qualidade de Aterros de resíduos obtido foi de 7,4 e enquadra-se em Condições Controladas, e não Condições Adequadas como é desejável.

6.2 ANÁLISE DESCRITIVA

Os resultados das análises das águas dos poços de monitoramento estão apresentados através de estatística descritiva com valor mínimo, máximo, médio e desvio padrão.

Para avaliação da qualidade das águas subterrâneas, foi utilizado como referência os padrões estabelecidos na Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde, para potabilidade e aceitação em relação ao consumo humano.

6.2.1 Poço de Abastecimento e Monitoramento do Aterro Sanitário RL 1:

Na Tabela 11 são apresentados os resultados mínimos, máximos, médios, desvio padrão e os valores máximos permitidos estabelecidos pela Portaria n°. 518/04.

Tabela 11 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 1.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|--------------------------|-------------------------|----|------|-------------|-----------|---------------|---------|
| Temp. Água | °C | 13 | 23.0 | 30.0 | 26.2 | 2.2 | - |
| Temp. Ar | °C | 13 | 27.0 | 38.0 | 32.9 | 3.9 | - |
| pH | | 13 | 5.8 | 6.6 | | 0,3 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 0 | 7.0 | 2.5 | 2.5 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 0 | 3 | 0,9 | 1.1 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 13 | 0 | 12.0 | 2.9 | 3.6 | 15 |
| Turbidez | UNT | 13 | 0 | 3 | 1 | 1 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 0 | 2420 | 51 | 991 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli.</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 1 | 1 | 0.227 | Ausente |
| Índice Pluvimétrico | mm | 13 | 0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; *Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-M.S.

A concentração de coliformes totais no poço RL 1 apresentou grande variação ao longo do período de estudo, variando entre 0 NMP/100mL a 2420 NMP/100mL, o valor da média geométrica foi de 51 NMP/100mL indicando contaminação de acordo com a Portaria n°. 518 do Ministério da Saúde.

Os resultados obtidos das bactérias *Escherichia Coli* no poço RL 1 apresentou contaminação de acordo com padrão de potabilidade somente no mês de setembro

com valor de 1 NMP/100mL, em outros meses de estudo apresentou ausência de bactérias *Escherichia Coli*.

Como citado anteriormente um possível justificativa para este fato é a proximidade de menos de 5m do poço ao barracão desativado, onde existia um banheiro com a mínima infraestrutura. Também na proximidade do poço ocorria à lavagem de equipamentos e peças gerando como consequência resíduos líquidos que percolam sem tratamento no solo e pelo orifício da tampa de proteção do poço.

Em relação a matéria orgânica DBO₅ apresentou concentrações média e máxima superiores a 1mg/L, indicando possíveis contaminação por carga orgânica, que possivelmente esta associado com a abertura na parte superior do poço.

É importante ressaltar que, a Célula do aterro não esta diretamente ligado aos valores elevados de coliformes e matéria orgânica.

6.2.2 Poço de Monitoramento RL 2:

Tabela 12 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 2.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|---------------|------------|---------------|---------|
| Temp. Água | °C | 13 | 24 | 31 | 27.7 | 2.1 | - |
| Temp. Ar | °C | 13 | 27 | 38 | 33 | 3.8 | - |
| pH | | 13 | 5.9 | 6.2 | | .1 | 6-9,5 |
| DQO | mg/L | 13 | 4 | 43 | 20 | 14 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 2 | 15 | 7 | 4 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 13 | 38 | 339 | 169 | 116 | 15 |
| Turbidez | UNT | 13 | 5 | 56 | 21 | 16 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 1 | 92.100 | 919 | 25.174 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 240 | 21 | - | Ausente |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | 0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria nº. 518/04-M.S.

A cor aparente da água apresentou valor mínimo de 38 mgPt-Co.L⁻¹, mais que o dobro do considerado permitido, provavelmente pela lixiviação da matéria orgânica da 1ª Célula do aterro. A turbidez da água apresentou valor mínimo de 5 UNT, que é o máximo permitido. Observou-se uma coloração marrom mais elevado no período de seca.

A água deste poço apresentou odor de matéria orgânica em processo de decomposição, agravando no período de seca com odor de “enxofre”.

Os valores de pH variaram entre 5,9 a 6,2. O valor mínimo encontra-se inferior ao padrão de potabilidade que variam de 6,0 a 9,0 . De acordo com Feitosa & Filho (2000), a maioria das águas subterrâneas apresenta pH entre 5,5 a 8,5.

As concentrações de matéria orgânica de DBO₅, apresentou um forte indício de poluição, uma vez que concentrações com valores acima de 1 mg/L, indicam possíveis contaminações por carga orgânica infiltradas a partir da 1ª Célula, não impermeabilizada para o aquífero freático.

Esse indício de poluição se reflete nas elevadas concentrações de DQO encontradas, com média de 20 mg/L. De acordo com Feitosa & Filho (2000) os valores acima de 10 mg/L pode ser um claro indicativo de contaminação.

A concentração de coliformes totais apresentou grande variação ao longo do período de estudo, variando entre 1 NMP/100mL a 92.100 NMP/100mL com média geométrica de 919 NMP/100mL indicando contaminação de acordo com a Portaria nº. 518 do Ministério da Saúde.

O resultado obtido das bactérias *Escherichia Coli* no poço RL 2 apresentou contaminação de acordo com padrão de potabilidade com valores mínimo de 0 NMP/100mL, 240 NMP/100mL e média geométrica de 21 NMP/100mL.

6.2.3 Poço de Monitoramento RL 3:

Tabela 13 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água do poço de monitoramento RL 3.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|----------------|--------------|---------------|---------|
| T [Água] | °C | 13 | 22.0 | 28.0 | 25.3 | 1.5 | - |
| T [Ar] | °C | 13 | 27 | 39 | 33.2 | 4 | - |
| pH | | 13 | 6.0 | 6.5 | | .1 | 6-9,5 |
| DQO | mg/L | 13 | 9 | 78 | 46 | 24 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 5 | 56 | 22 | 16 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 13 | 86 | 395 | 299 | 102 | 15 |
| Turbidez | UNT | 13 | 21 | 135 | 64 | 29 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 809 | 241.920 | 9.280 | 85.667 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 200 | 11 | 59.320 | Ausente |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | 0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-M.S.

Os resultados de cor e turbidez apresentaram valores muito superiores aos valores estabelecido pela Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde, devido a provável percolação do lixiviado através dos resíduos da 1ª Célula. O menor valor encontrado de cor e turbidez foi de 86 mgPt-Co.L⁻¹ e 21 UNT, no mês de janeiro de 2007, devido a elevação do nível do aquífero freático e a consequente diluição da água acarretando na diminuição dos valores de cor e turbidez. Em setembro de 2007 verificou-se o maior valor de cor 395 mgPt-Co.L⁻¹ e no mês de outubro 2006 apresentou maior valor de turbidez que foi de 135 UNT, ambos no final do período de seca. Observou-se uma água com odor de matéria orgânica em processo de decomposição.

Os resultados de DBO₅, mostra a poluição pela 1ª Célula do aterro por matéria orgânica infiltradas para o aquífero freático. Os resultados das concentração de DBO₅ são superiores a 1 mg/L, confirmando a contaminação de acordo com Feitosa & Filho (2000).

As concentrações de DQO confirmam que a água subterrânea do poço encontra-se contaminada, pelo lixiviado da 1ª Célula, com valores superiores aos estabelecidos por Feitosa & Filho (2000) de 10 mg/L, com exceção do mês de fevereiro de 2007 quando encontrou-se o valor de 9,0 mg/L.

As bactérias do grupo coliformes totais e *Escherichia Coli* neste poço, apresentou valores superiores ao padrão de potabilidade.

6.2.4 Poço de Monitoramento RL 4:

Tabela 14 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 4.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | * V.M.P |
|-------------------------|-------------------------|----|------------|----------------|--------------|---------------|---------|
| T [Água] | °C | 13 | 25 | 30 | 27.5 | 1.5 | - |
| T [Ar] | °C | 13 | 27 | 39 | 33.1 | 4.0 | - |
| pH | | 13 | 5.4 | 5.7 | | .1 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 39 | 96 | 69 | 21 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 18 | 53 | 35 | 11 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 13 | 100 | 494 | 343 | 139 | 15 |
| Turbidez | UNT | 13 | 35 | 193 | 84 | 44 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 9 | 934 | 920.000 | 5.576 | 305.462 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 1000 | 10 | 275 | Ausente |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | 0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-MS.

As altas concentrações de DBO₅, DQO, cor, turbidez e coliformes encontradas nas amostras de água deste poço, mostram uma forte contaminação. A origem desta contaminação é oriunda da 2ª Célula, devido á sua proximidade. Estas altas concentrações são maiores no período de menor índice pluviométrico (junho, julho, agosto e setembro) e menores no período de maior pluviosidade. O poço apresentou uma água turva com odor forte de matéria orgânica em processo de decomposição, agravando no período de seca. Os valores de pH do poço apresentaram inferiores ao estabelecido pela Portaria n°. 518/04.

6.2.5 Poço de Monitoramento RL 5:

Tabela 15 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água do poço de monitoramento RL 5.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P 518/04 |
|--------------------------|-------------------------|---|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|
| T [Água] | °C | 6 | 24 | 30 | 26.2 | 2.1 | - |
| T [Ar] | °C | 6 | 29 | 36 | 32 | 2.8 | - |
| pH | | 6 | 5.8 | 6.1 | | .1 | 6-9,5 |
| DQO | mg/L | 6 | 4 | 35 | 15 | 11 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 6 | 1 | 9 | 5 | 3 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 6 | 397 | 748 | 557 | 123 | 15 |
| Turbidez | UNT | 6 | 74 | 175 | 118 | 42 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 2 | 2.000.000 | 3.000.000 | 2.449.490 | 707.107 | Aus. |
| <i>Escherichia Colio</i> | NMP/100mL | 2 | 150.000 | 500.000 | 273.861 | - | Aus. |
| Índice Pluviométrico | Mm | 6 | 0 | 315.7 | 157.6 | 128.4 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria nº. 518/04-M.S.

O efluente tratado e lançado diretamente ao solo em um canal de drenagem natural que escoar até o Ribeirão do Lipa. Ao lado deste percurso foi perfurado um poço raso RL 5, no período de estudo, este poço de monitoramento secou nos meses de junho a outubro.

A cor e a turbidez apresentaram valores muito superiores a Portaria nº. 518/04 do Ministério da Saúde, provavelmente pelo líquido percolado do efluente tratado que apresentou elevado valor de matéria orgânica devido a pouca eficiência do sistema de tratamento.

O poço apresentou uma água escura e com odor forte de matéria orgânica em processo de decomposição.

Os valores de pH do poço RL 5 apresentou valor de 5,8 a 6,1, o menor valor apresentou inferior ao padrão estabelecido Portaria nº. 518 do Ministério da Saúde entre 6,0 a 9,5.

Os valores de DBO₅, apresentaram valores com forte indicio de contaminação provavelmente por carga orgânica infiltradas pelo efluente tratado para o aquífero freático.

As concentrações de DQO encontradas com valor inferior a 10 mg/L, no mês de fevereiro, março e abril, dentro da especificação segundo Feitosa & Filho (2000). No meses de janeiro, maio e outubro esses valores foram superiores a 10 mg/L.

Os elevados valores de coliformes totais e *Escherichia Coli* superiores ao padrão estabelecido Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde, provavelmente ocorre pela infiltração do efluente tratado que apresenta pouca eficiência na remoção de patogênicos (LATORRACA, 2007).

6.2.6 Poço de Monitoramento RL 6, RL 7 e RL 8:

Estes poços foram perfurados em agosto/2007 e somente foram realizadas duas coletas de amostras em setembro e outubro de 2007.

Tabela 16 - Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento RL 6, RL 7 e RL 8.

| Variáveis | Unid. | N | RL 6 Média | RL 7 Média | RL 8 Média | *V.M.P 518/04 |
|-----------------------------|-------------------------|---|---------------|---------------|---------------|------------------|
| T [Água] | °C | 2 | 28,0 | 28,5 | 28,0 | - |
| T [Ar] | °C | 2 | 35,5 | 36,0 | 35,5 | - |
| pH | | 2 | 6.2 – 6.2 | 6.2 – 6.2 | 8.0 – 8.0 | 6-9,5 |
| DQO | mg/L | 2 | 4 | 40 | 70 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 2 | 1 | 21 | 30 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 2 | 139 | 171 | 499 | 15 |
| Turbidez | UNT | 2 | 73 | 91 | 232 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 2 | 0 | 23.980 | 749 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 2 | 0 | 0 | 1 | Ausente |
| Índice Pluviométrico | mm | 2 | 96.6 | 96.6 | 96.6 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-M.S.

Em relação à cor e turbidez os poços apresentaram valores acima do máximo permitido, observando-se um valor maior no poço RL 8. Isto ocorre provavelmente devido a construção recente destes poços. Foi verificado “*in loco*” a presença elevada de materiais particulados em suspensão.

A concentração de DBO₅, para os poços RL 7 e RL 8, caracterizam um forte indício de poluição, que se reflete também nas concentrações de DQO encontradas nas águas dos poços de monitoramento. O poço RL 6 apresentou valor de 1 mg/L, no limite máximo estabelecido para DBO₅ (FEITOSA & FILHO, 2000).

Os poços RL 7 e RL 8, apresentaram elevados valores de coliformes totais, superior a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. O poço RL 8 apresentou valor médio de 1 NMP/100mL, fora do padrão estabelecido pela Portaria

6.2.7 Poço Background (Abastecimento do garimpo do Mineiro) DR 9:

Tabela 17 – Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas e exames bacteriológicos das amostras de água do poço de monitoramento DR 9.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|-------------------------|---|------|-------|--------|---------------|---------|
| T [Água] | °C | 9 | 28.0 | 34.0 | 31.0 | 2.2608 | - |
| T [Ar] | °C | 9 | 29 | 37 | 34 | 2.9580 | - |
| pH | | 9 | 6.1 | 6.4 | | .1020 | 6-9,5 |
| DQO | mg/L | 9 | 0 | 0 | 0 | .000 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 9 | 0 | 0 | 0 | .000 | - |
| Cor | mgPt-Co.L ⁻¹ | 9 | 0 | 8 | 1 | 3 | 15 |
| Turbidez | UNT | 9 | .0 | 3 | 0,4 | 1 | 5 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ausente |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ausente |
| Índice Pluviométrico | mm | 9 | 0 | 315.7 | 97.500 | 112.4356 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-M.S.

Os resultados de pH, cor, turbidez, coliformes totais e bacteriais *Escherichia Coli* neste poço tubular profundo apresentaram valores dentro da faixa estabelecida pela Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde.

Ao longo do estudo foram verificadas baixa concentração de matéria orgânica representada pelos valores de DBO₅ e DQO, confirmando a não poluição do aquífero freático.

6.2.8 Água Superficial: Represa RL 10

Na Tabela 18 são apresentados as estatísticas descritivas com os valores máximos, mínimos, médio e desvio padrão da represa RL 10, comparando-os com valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/2005.

Tabela 18 – Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 10.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|----------------------|----|------|------------|-------|---------------|--------|
| Temp. Água | °C | 13 | 27.0 | 36.0 | 32 | 2.7 | - |
| Temp. Ar | °C | 13 | 27.0 | 38.0 | 33.3 | 3.7 | - |
| pH | | 13 | 6.8 | 7.7 | | | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 3 | 15 | 9 | 4 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 1 | 6 | 3 | 2 | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 13 | 11 | 108 | 50 | 34 | 75 |
| Turbidez | UNT | 13 | 4 | 46 | 17 | 16 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 2500 | 15000 | 5.980 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 10 | 2 | - | 1000 |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | .0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

Os parâmetros de DBO₅ e cor apresentaram valores máximos superiores aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/05, esse fato ocorreu no período de maior precipitação e também influenciou diretamente na elevação de DQO. Estes valores não estão ligados diretamente ao aterro que dista da represa aproximadamente 890m, superior a distância de 200 m de coleção hídrica ou cursos d'água mais próximo atendendo a Portaria n° 124 de 20/8/80.

6.2.9 Água Superficial: Represa RL 11

Tabela 19 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 11.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|----------------------|----|-------|------------|------------|---------------|--------|
| Temp. [Água] | °C | 13 | 24.0 | 35.0 | 30.0 | 3.7 | - |
| Temp. [Ar] | °C | 13 | 27.0 | 37.0 | 33.0 | 3.2 | - |
| pH | | 13 | 6.9 | 7.6 | | 2.1 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 3 | 34 | 13 | 11 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 1 | 16 | 6 | 5 | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 13 | 12 | 195 | 102 | 59 | 75 |
| Turbidez | UNT | 13 | 5 | 50 | 26 | 18 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 1.000 | 19.900 | 3.613 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 0 | 41 | 8 | - | 1000 |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | .0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

Em relação aos parâmetros médio de cor e DBO₅ apresentaram valores superiores ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 357/05. Contudo, estes valores médios foram observados no período de maior índice de precipitação apresentando uma coloração vermelho escuro. Estes resultados não estão ligados diretamente à influência do aterro que dista aproximadamente 1000 m da represa RL 11.

6.2.10 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 12

Tabela 20 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 12.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desvio Padrão | *V.MP |
|-------------------------|----------------------|----|-----------|----------------|-------------|---------------|-------|
| Temp. Água | °C | 13 | 27.0 | 34.0 | 31.1 | 2.7 | - |
| Temp. Ar | °C | 13 | 27.0 | 39.0 | 33.5 | 4.0 | - |
| pH | | 13 | 7.9 | 8.6 | | .21 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 19 | 53 | 32 | 10 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 10 | 29 | 19 | 7 | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 13 | 57 | 382 | 189 | 135 | 75 |
| Turbidez | UNT | 13 | 19 | 95 | 68 | 25 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 1.150 | 435.200 | 60.751 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 6 | 291.000 | 1100 | - | 1000 |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | .0 | 315.7 | 121.5 | 106.8 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

O córrego esta distante aproximadamente 660 m do perímetro do aterro sanitário e a jusante do lançamento do efluente tratado que não apresenta uma boa eficiência na remoção de bactérias patogênicas e carga orgânica, não atendendo os padrões ambientais LATORRACA (2007).

O lançamento deste efluente reflete diretamente na qualidade do Ribeirão do Lipa, os sinais da poluição são visíveis na cor e odor da água, confirmados nos resultados dos parâmetros de DBO₅, cor e *Escherichia coli*.

Esses valores superiores a Resolução CONAMA n°. 357/05 aumentaram consideravelmente no período de chuva pelo aumento da produção de chorume no aterro e a pouca eficiência do sistema de tratamento chorume.

6.2.11 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 13

O efluente tratado é lançado na drenagem superficial do solo (15°30'3,8''S e 56°01'35,4''W), com altitude de 234m, percorre uma distância de aproximadamente 570m até o corpo receptor Ribeirão do Lipa (15°29'51,3''S e 56°01'48,9''W) com altitude de 225m (Figura 18).



Figura 18 – (a) Lançamento do efluente tratado, (b) trecho do percurso e (c) recebimento do efluente no corpo receptor.

Tabela 21 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 13.

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desv. Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|----------------------|----|---------------|------------------|----------------|--------------|--------|
| Temp. [Água] | °C | 12 | 26.0 | 33.0 | 30.3 | 2.6 | - |
| Temp. [Ar] | °C | 12 | 27.0 | 37.0 | 33.0 | 3.5 | - |
| pH | | 12 | 7.4 | 8.4 | | .35 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 12 | 50 | 291 | 157 | 81 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 12 | 27 | 155 | 80 | 41 | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 12 | 275 | 412 | 354 | 41 | 75 |
| Turbidez | UNT | 12 | 67 | 193 | 101 | 44 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 12 | 10.500 | 2.419.200 | 241.838 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 12 | 16 | 1000.000 | 1210 | - | 1000 |
| Índice Pluviométrico | mm | 12 | .0 | 315.7 | 123.450 | 111.3 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

Os resultados obtidos de DBO₅, cor, turbidez e *E. coli*, apresentaram acima do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 357/05 para rios de Classe 2. De acordo com Jordão & Pessoa (2005) os resultados médios obtidos de

DBO₅, apresentou com a característica de uma água resíduária doméstica fraca, observado ainda uma coloração escura e odor, principalmente no período de chuva.

O resultado do efluente tratado do aterro no período de chuva apresentou DBO₅: 873 mg/L, cor: 1.250 mgPt.L⁻¹, média geométrica de coliformes fecais de 4,7x10⁷ NMP/100mL e média geométrica de *E. Coli*: 2,3x10⁶ NMP/100mL.

Verifica-se que no ponto RL 13 apresentaram uma contaminação maior que RL 12, contudo ambos os pontos sugere estar ligado ao lançamento do efluente tratado pelo sistema de tratamento de esgoto do aterro sanitário. Observa-se que as concentrações de matéria orgânica (DQO e DBO₅), coliformes, cor e turbidez no ponto RL 13 diminui em direção a jusante RL 12. Essa diminuição pode ser decorrente do fenômeno de autodepuração ou diluição no manancial, uma vez que existe uma distância entre os pontos RL 12 e RL 13 de aproximadamente 545 m, com ausência de outras fontes poluidoras de porte.

6.2.12 Água Superficial: Ribeirão do Lipa RL 14

Tabela 22 – Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 14.

| Variáveis | Unid. | *N | Mín. | Máx. | Média | Desv. Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|----------------------|----|------|---------------|--------------|--------------|--------|
| Temp. Água | °C | 13 | 24.0 | 37.0 | 31.0 | 4.0 | - |
| Temp. Ar | °C | 13 | 27.0 | 39.0 | 33.4 | 4.0 | - |
| pH | | 13 | 7.2 | 7.7 | | .1 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 13 | 3 | 16 | 8 | 4 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 13 | 1 | 6 | 3 | 1 | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 13 | 25 | 125 | 61 | 41 | 75 |
| Turbidez | UNT | 13 | 2 | 25 | 8 | 7 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 13 | 900 | 34.500 | 8.412 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 13 | 10 | 4.500 | 1060 | - | 1000 |
| Índice Pluviométrico | mm | 13 | .0 | 221 | 85 | 89 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

O ponto RL 14 encontra-se a 360 m do perímetro do aterro sanitário, os valores máximos de DBO₅, cor, turbidez e *E. Coli* apresentaram valores acima do limites máximo preconizado pela legislação CONAMA n°. 357/05. Devido a ineficiência do cobertura de resíduos e sistema de drenagem de águas pluviais, a água da chuva lava e percola os resíduos aumentando a produção de lixiviado na 2ª Célula, e escoar no sentido do ponto RL 14, principalmente no período de chuva.

6.2.13 Água Superficial: Represa RL 15

Tabela 23 - Estatísticas descritivas das amostras do ponto RL 15

| Variáveis | Unid. | N | Mín. | Máx. | Média | Desv. Padrão | *V.M.P |
|-------------------------|----------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Temp. Água | °C | 4 | 32.0 | 37.0 | 35.5 | 2.2 | - |
| Temp. Ar | °C | 4 | 34.0 | 37.0 | 35.3 | 1.5 | - |
| pH | | 4 | 7.2 | 7.8 | | .25 | 6-9 |
| DQO | mg/L | 4 | 83 | 199 | 125 | 51 | - |
| DBO ₅ | mg/L | 4 | 42 | 63 | 52 | - | 5 |
| Cor | mgPt.L ⁻¹ | 4 | 203 | 267 | 226 | 28 | 75 |
| Turbidez | UNT | 4 | 155 | 174 | 162 | 9 | 100 |
| Coliformes Totais | NMP/100mL | 4 | 5.900 | 7.500 | 6.775 | - | - |
| <i>Escherichia Coli</i> | NMP/100mL | 4 | 1.000 | 3.000 | 1.732 | - | 1000 |
| Índice Pluvimétrico | mm | 4 | .0 | 188 | 54 | 90 | - |

N= Número de amostras; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

A represa RL 15 encontra-se a 10 m da 2ª Célula do aterro sanitário, sua origem se deve ao antigo garimpo que havia no local. Os resultados apresentaram parâmetros de DBO₅, cor, turbidez e *E. Coli* superiores aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05. Esses valores provavelmente estão ligados à influência do aterro, principalmente pelos seguintes fatores: a proximidade do aterro à represa; a falta de drenagem de águas pluviais que geram como conseqüências erosões (Figura 19), removendo a cobertura do aterro que propicia o contato da água da chuva com os resíduos, aumentando a geração de lixiviados, que devido a topografia escoam na lateral sul, sendo coletados pela represa, principalmente no período chuvoso. A 2ª Célula encontra-se desativada e a lateral sul em processo de desativação. Provavelmente, assim que desativar toda lateral sul os parâmetros que estão superiores a Resolução CONAMA n°. 357/05 serão reduzidos principalmente no período de seca.

N.R – Não Realizado; <L.D – Menor que o limite de detecção; *Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04-MS.

Os resultados das análises de metais nos pontos RL 1 e DR 9 no período de seca e chuva, e o ponto RL 6 no período de chuva apresentaram dentro do padrão estabelecido pela Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde. Estes poços de monitoramento não estão sofrendo a influência das Células de resíduos do aterro um dos fatores é a distância e a topografia da área.

Observou-se que os valores Mn e Fe foram extremamente elevados nos poços RL 2, RL 3 e RL 4 no período de seca e chuva, nos poços RL 5 e RL 7 também apresentou valor elevado de Mn e Fe no período de chuva. No poço RL 8 o teor de Fe apresentou valor muito superior a Portaria. Estes valores estão fortemente ligados ao aterro sanitário, pois são valores acima dos encontrados nos poços *background*. Estes altos teores de Fe e Mn estão associados aos fatores físico-químicos, como pH, temperatura, e o potencial redox. Em pH ácido, em baixa concentração de oxigênio e baixo potencial redox ocorrerá a redução de Fe^{+3} para a forma Fe^{+2} , tornando-se solúvel, principalmente sob a forma de bicarbonato, ou na forma de íon Fe^{+3} em equilíbrio com hidróxido de ferro $[Fe_2(OH)_3]$, após sua oxidação.

Teores elevados de ferro não estão ligados a aspectos de saúde, mas à possibilidade de sua presença em excesso pode manchar roupas e ser inaceitável para diversos tipos de indústria (NETTO & BOTELHO, 1991).

O Mn é um mineral essencial, porém tóxico quando absorvido em excesso; os primeiros sintomas são debilidades musculares, tremores anormais, dor de cabeça, inclinação ao caminhar, salivação e reações psicóticas, quadro que se pode desencadear sinais da Doença de Parkinson (SEGURA-MUÑOZ *et al.*, 2003).

A concentração de chumbo nos pontos RL 2, RL 3 e RL 4 apresentaram valores superiores aos poços *Background* e a Portaria n°. 518, tanto no período de seca quanto no período de chuva. Estes elevados teores podem estar provavelmente associados a 1ª e 2ª Células de resíduos do aterro de materiais como baterias, pigmento e outros produtos que apresentam esse metal em sua composição. O chumbo é reconhecido como um dos mais nocivos metais, a maior parte do chumbo é incorporada ao tecido ósseo, devido à semelhança entre as propriedades dos compostos de chumbo e Ca^{2+} , ou incorporado na corrente sanguínea, podendo inibir

enzimas responsáveis pela catalização de uma etapa essencial da hemoglobina, levando a episódios de anemia crônica (SEGURA-MUÑOZ *et al.*, 2003).

6.3.2 Águas Superficiais: Períodos de Seca e Chuva

Tabela 25 - Valores médios das amostras de metais das águas superficiais.

| Metais | Unid. | Período | RL 10 | RL 11 | RL 12 | RL 13 | RL 14 | RL 15 | *V.M.P |
|--------|-------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------|
| Cu | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | N.R | 0,009 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | 0 | |
| Mn | mg/L | seca | 0.009 | 0.009 | 0.01 | 0.1 | <L.D | N.R | 0,1 |
| | | chuva | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.1 | <L.D | 0.04 | |
| Zn | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | N.R | 0,18 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | 0.002 | |
| Cr | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | N.R | 0,05 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | 0 | |
| Pb | mg/L | seca | 0.01 | <L.D | <L.D | 0.01 | 0.01 | N.R | 0,01 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| Fe | mg/L | seca | 0.67 | 0.63 | 0.40 | 1.40 | 0.66 | 0,8 | 0,3 |
| | | chuva | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 1.34 | 0.74 | 0.5 | |
| Ni | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | N.R | 0,025 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | 0 | |
| Cd | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | N.R | 0,001 |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | |

N.R – Não Realizado; <L.D – Menor que o limite de detecção; * Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

Os resultados obtidos nas análises de metais somente o teor de Fe apresentou concentração superior a 0,3 mg/L estabelecido pela Portaria CONAMA n°. 357/05. Uma possível justificativa se deve a característica do solo laterítico, típico do Grupo Cuiabá, devido as ações do antigo garimpo encontra-se exposta, no período de chuva o solo laterítico e as piritas são lavadas e depositadas nas represas e córregos da região.

6.4 TEORES DE FLÚOR, FÓSFORO, NITRATO, FOSFATO E CLORETO DAS ÁGUAS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.

As amostras foram coletadas no mês de julho (seca) e outubro (chuva). Os resultados das médias foram comparados com os padrões máximos estabelecidos na Portaria N° 518/04 para as águas subterrâneas (Tabela 26) e Resolução CONAMA n°. 357/05 para as águas superficiais (Tabela 27).

6.4.1 Água Subterrânea: Períodos de Seca e Chuva

Tabela 26 – Valores médios das amostras de flúor, fósforo, nitrato, fosfato e cloreto.

| Variáveis | Unid. | Período | RL 1 | RL 2 | RL 3 | RL 4 | RL 5 | RL 6 | RL 7 | RL 8 | DR 9 | *V.M.P |
|-----------|-------|---------|-----------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|--------|
| Flúor | mg/L | seca | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | - |
| | | chuva | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | <L.D | - |
| Fósforo | mg/L | seca | 0.00 1 | 0.11 | 0.5 | 0.5 | N.R | N.R | N.R | N.R | 0 | - |
| | | chuva | 0 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 1.69 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0 | - |
| Nitrato | mg/L | seca | 0.03 | 1.9 | 4.5 | 5 | N.R | N.R | N.R | N.R | 0 | 10 |
| | | chuva | 0.04 | 0.7 | 3.7 | 4.2 | 11.9 | 0.1 | 0.9 | 0.76 | 0 | - |
| Fosfato | mg/L | seca | 0.01 | 0.25 | 0.8 | 1.9 | N.R | N.R | N.R | N.R | 0 | - |
| | | chuva | 0.00 3 | 0.2 | 0.5 | 1.6 | 2.5 | 0.06 | 0.52 | 0.14 | 0 | - |
| Cloreto | mg/L | seca | 12 | 53 | 66 | 77 | N.R | N.R | N.R | N.R | 8 | - |
| | | chuva | 11 | 49 | 65 | 89 | 96 | 12 | 17 | 13 | 7 | - |

N.R – Não Realizado; ; <L.D – Menor que o limite de detecção; *Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04.

O poço de monitoramento RL 5 apresentou valor nitrato de 11,9 mg/L, superior ao valor estabelecido pela Portaria n°. 518/04 do Ministério da Saúde, sendo um indicativo de contaminação por lixiviado provavelmente do lançamento do efluente tratado com pouca eficiência que percola próximo ao poço.

6.4.2 Água Superficial: Períodos de Seca e Chuva

Tabela 27 - Valores médios das amostras de fósforo, nitrato, fosfato e cloreto.

| Variáveis | Unid. | Período | RL 10 | RL 11 | RL 12 | RL 13 | RL 14 | RL 15 | *V.M.P |
|-----------|-------|---------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Fósforo | mg/L | seca | 0.004 | 0.001 | 0.03 | 0.02 | 0.017 | 0.002 | 0,03 |
| | | chuva | 0.005 | 0.001 | 0.03 | 0.03 | 0.018 | 0.002 | |
| Nitrato | mg/L | seca | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 11 | 0.05 | 0.3 | 10 |
| | | chuva | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 14 | 0.05 | 0.3 | |
| Fosfato | mg/L | seca | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.025 |
| | | chuva | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.1 | 0.09 | 0.03 | |
| Cloreto | mg/L | seca | 1 | 1 | 6 | 10 | 1 | 3 | 250 |
| | | chuva | 1 | 1 | 5 | 8 | 1 | 3 | |

* Valores Máximos Permitidos pela Resolução CONAMA n°. 357/05.

Os resultados das amostras RL 13 localizado no Ribeirão do Lipa apresentou valores de nitrato superiores a Resolução CONAMA n°. 357/05, e esta contaminação esta diretamente ligado ao lançamento do efluente líquido do aterro sanitário.

Nos poços RL 12, RL 13, RL 14 e RL 15 as águas apresentaram concentrações de fosfato superiores a 0,025 mg/L, conforme preconiza a Resolução CONAMA n°. 357/05.

6.5 VARIAÇÃO DE TEORES DE DUREZA E SÓLIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

A Tabela 28, apresenta os resultados das médias e os padrões máximos estabelecidos na Portaria n°. 518 do Ministério da Saúde. As amostras foram coletadas no período de seca (julho).

6.5.1 Água Subterrânea: Períodos de Seca e Chuva

Tabela 28 - Valores médios das amostras de sólidos totais e dureza do ponto no período de seca RL 1, RL 2, RL 3, RL 4 e DR 9.

| Variáveis | Unid. | Período | RL 1 | RL 2 | RL 3 | RL 4 | RL 5 | RL 6 | RL 7 | RL 8 | DR 9 | *V.M.P |
|-----------|---------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| S.T | mg/L | seca | 90 | 295 | 726 | 1252 | N.R | N.R | N.R | N.R | 62 | - |
| | | chuva | 53 | 197 | 646 | 724 | 678 | 241 | 394 | 286 | 161 | |
| Dureza | mg/L CaCO ₃ | seca | 106 | 62 | 19 | 19 | N.R | N.R | N.R | N.R | 120 | 500 |
| | | chuva | 84 | 65 | 18 | 17 | 113 | 85 | 97 | 98 | 115 | |

N.R – Não Realizado; * Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 518/04.

Os sólidos totais apresentaram maiores valores no período de seca devido ao rebaixamento do nível do aquífero freático. As maiores concentrações foram observados nos poços próximo a 1^a e 2^a Células do aterro e no poço RL 5 ao lado do canal natural onde escoo o lançamento do efluente tratado do aterro.

A dureza dos poços de monitoramento apresentaram resultados dentro dos padrões de potabilidade, sendo que 43% das amostras apresentaram na faixa > 50 mg/L de CaCO₃ classificada como Branda, 28,5% na na faixa de 50 - 100 mg/L de CaCO₃ classificada Pouco Dura e 28,5% na faixa de 100 - 200 mg/L de CaCO₃ classificada Dura de acordo com FEITOSA & FILHO (2000).

6.6 TEORES DE ALCALINIDADE, OXIGÊNIO DISSOLVIDO E SÓLIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.

A Tabela 29, apresenta os resultados das médias e os padrões máximos estabelecidos na Portaria N° 518 do Ministério da Saúde. As amostras foram coletadas nos períodos: seca (julho e outubro) e chuva (abril e dezembro).

6.6.1 Água Superficial: Períodos de Seca e Chuva

Tabela 29 - Valores médios das amostras de dureza e sólidos totais.

| Variáveis | Unid. | Período | RL 10 | RL 11 | RL 12 | RL 13 | RL 14 | RL 15 | *V.M.P |
|---------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Alcalinidade | mg/L | seca | 80 | 35 | 35 | 30 | 80 | 30 | - |
| | | chuva | 75 | 25 | 40 | 30 | 80 | 30 | |
| Oxigênio Dissolvido | mg/L | seca | 6.6 | 7.4 | 6.6 | 6.8 | 6.1 | 5.4 | ≥5 |
| | | chuva | 6.6 | 7.2 | 6.2 | 6.2 | 5.9 | 5.4 | |
| Sólidos Totais | mg/L | seca | 37 | 44 | 853 | 850 | 65 | 1200 | - |
| | | chuva | 51 | 78 | 190 | 417 | 51 | 1472 | |

Para o parâmetro oxigênio dissolvido, observou-se que em todos os pontos de monitoramento as concentrações mantiveram-se dentro do limite mínimo de 5mg/L estabelecido para rios de classe 2, conforme preconiza a Resolução CONAMA nº. 357/05.

Os resultados de alcalinidade dos pontos RL 10 e RL 14 apresentaram valores de alcalinidade maiores observados também na melhor qualidade da água desses pontos.

6.7 ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES

Com base no critério utilizado por MARTINS (2002) – coeficiente de correlação acima de 0.7 indica forte correlação estatística entre variáveis – a matéria orgânica (DQO e DBO₅) e as variáveis físicas (cor e turbidez), exame bacteriológico Coliformes Totais (C.T), obtidos dos poços de monitoramento, apresentaram, em sua maioria, fortes correlações, conforme podemos observar nas tabelas 30 a 33.

Tabela 30 - Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 1.

| Variáveis | DQO | DBO ₅ | Cor | Turbidez | C.T | Índice Pluviométrico | Nível do aquífero freático |
|----------------------------|----------|------------------|----------|-----------|----------|----------------------|----------------------------|
| DQO | 1 | .864(**) | .726(**) | .704(**) | .793(**) | -.574(*) | .078 |
| DBO ₅ | .864(**) | 1 | .898(**) | .839(**) | .894(**) | -.542 | -.063 |
| Cor | .726(**) | .898(**) | 1 | .958(**) | .795(**) | -.659(**) | -.326 |
| Turbidez | .704(**) | .839(**) | .958(**) | 1 | .655(*) | -.685(**) | -.187 |
| C.T. | .793(**) | .894(**) | .795(**) | .655(*) | 1 | -.448 | -.274 |
| Índice Pluviométrico | -.574(*) | -.542 | -.659(*) | -.685(**) | -.448 | 1 | .904 |
| Nível do aquífero freático | .078 | -.063 | -.326 | -.187 | -.274 | .904 | 1 |

** Nível de significância 0.01.

* Nível de significância 0.05.

Tabela 31 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 2.

| Variáveis | DQO | DBO ₅ | Cor | Turbidez | C.T | Índice Pluviométrico | Nível do aquífero freático |
|----------------------------|-----------|------------------|-----------|-----------|---------|----------------------|----------------------------|
| DQO | 1 | .949(**) | .979(**) | .961(**) | -.329 | -.800(**) | .917(**) |
| DBO ₅ | .949(**) | 1 | .957(**) | .977(**) | -.333 | -.675(*) | .858(**) |
| Cor | .979(**) | .957(**) | 1 | .935(**) | -.336 | -.750(**) | .881(**) |
| Turbidez | .961(**) | .977(**) | .935(**) | 1 | -.291 | -.717(**) | .895(**) |
| C.T | -.329 | -.333 | -.336 | -.291 | 1 | .554(*) | -.444 |
| Índice Pluviométrico | -.800(**) | -.675(*) | -.750(**) | -.717(**) | .554(*) | 1 | -.909(**) |
| Nível do aquífero freático | .917(**) | .858(**) | .881(**) | .895(**) | -.444 | -.909(**) | 1 |

** Nível de significância 0.01.

*Nível de significância 0.05.

Tabela 32 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 3.

| Variáveis | DQO | DBO ₅ | Cor | Turbidez | C.T | Índice Pluviométrico | Nível do aquífero freático |
|----------------------------|-----------|------------------|-----------|----------|---------|----------------------|----------------------------|
| DQO | 1 | .919(**) | .900(**) | .374 | -.328 | -.901(**) | .889(**) |
| DBO ₅ | .919(**) | 1 | .770(**) | .155 | -.423 | -.822(**) | .875(**) |
| Cor | .900(**) | .770(**) | 1 | .499 | -.122 | -.925(**) | .810(**) |
| Turbidez | .374 | .155 | .499 | 1 | .710(*) | -.441 | .282 |
| C.T | -.328 | -.423 | -.122 | .710(*) | 1 | .190 | -.460 |
| Índice Pluviométrico | -.901(**) | -.822(**) | -.925(**) | -.441 | .190 | 1 | -.914(**) |
| Nível do aquífero freático | .889(**) | .875(**) | .810(**) | .282 | -.460 | -.914(**) | 1 |

** Nível de significância 0.01.

* Nível de significância 0.05.

Tabela 33 – Correlação entre matéria orgânica e variáveis do poço RL 4.

| Variáveis | DQO | DBO ₅ | Cor | Turbidez | C. T | Índice Pluviométrico | Nível do aquífero freático |
|----------------------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|----------------------------|
| DQO | 1 | .935(**) | .885(**) | .824(**) | -.510 | -.935(**) | .893(**) |
| DBO ₅ | .935(**) | 1 | .860(**) | .858(**) | -.410 | -.863(**) | .859(**) |
| Cor | .880(**) | .860(**) | 1 | .745(**) | -.611 | -.880(**) | .853(**) |
| Turbidez | .824(**) | .858(**) | .745(**) | 1 | -.328 | -.763(**) | .907(**) |
| C. T | -.510 | -.410 | -.611 | -.328 | 1 | .532 | -.475 |
| Índice Pluviométrico | -.935(**) | -.863(**) | -.880(**) | -.763(**) | .532 | 1 | -.913(**) |
| Nível do aquífero freático | .893(**) | .859(**) | .853(**) | .907(**) | -.475 | -.913(**) | 1 |

** Nível de significância 0.01.

* Nível de significância 0.05.

De modo geral, as correlações das variáveis físicas (cor com as demandas de oxigênio (química e bioquímica) foram fortes (com exceção do poço RL 3) e não diferiram muito de poço a poço (ora DQO apresentou maior correlação estatística, ora DBO₅). A forte correlação da cor e da turbidez com a DQO indica que o poço possui grande quantidade de material não degradável biologicamente e quando a correlação é maior com a DBO₅, há maior quantidade no poço de material biodegradável.

A correlação entre DQO e DBO₅ com os coliformes totais foi fraca. O único poço, onde a correlação foi forte (RL 1), também foi positiva, como era de se esperar dado que onde há fortes demandas bioquímicas de oxigênio deve haver presença de coliformes.

Por outro lado, os valores negativos para as correlações estatísticas entre as DBO₅ e DQO e o índice pluviométrico indicam que quando há aumento de precipitação há diminuição da concentração de matéria orgânica devido a sua infiltração e diluição pela água do aquífero freático.

Na tabela RL 1, a correlação entre matéria orgânica e o nível do aquífero freático não apresentou dados consistentes, devido pequeno tamanho da amostra.

Na tabela RL 3, encontrou-se uma fraca correlação entre matéria orgânica e as variáveis turbidez e coliformes totais, este fato se deve a estabilização dos resíduos da Célula 1 desativada.

6.8 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA NATURAL SUBTERRÂNEA

A Figura 20 ilustra o Índice de Qualidade da Água superficial e o Índice de Qualidade da Água Natural Subterrânea.

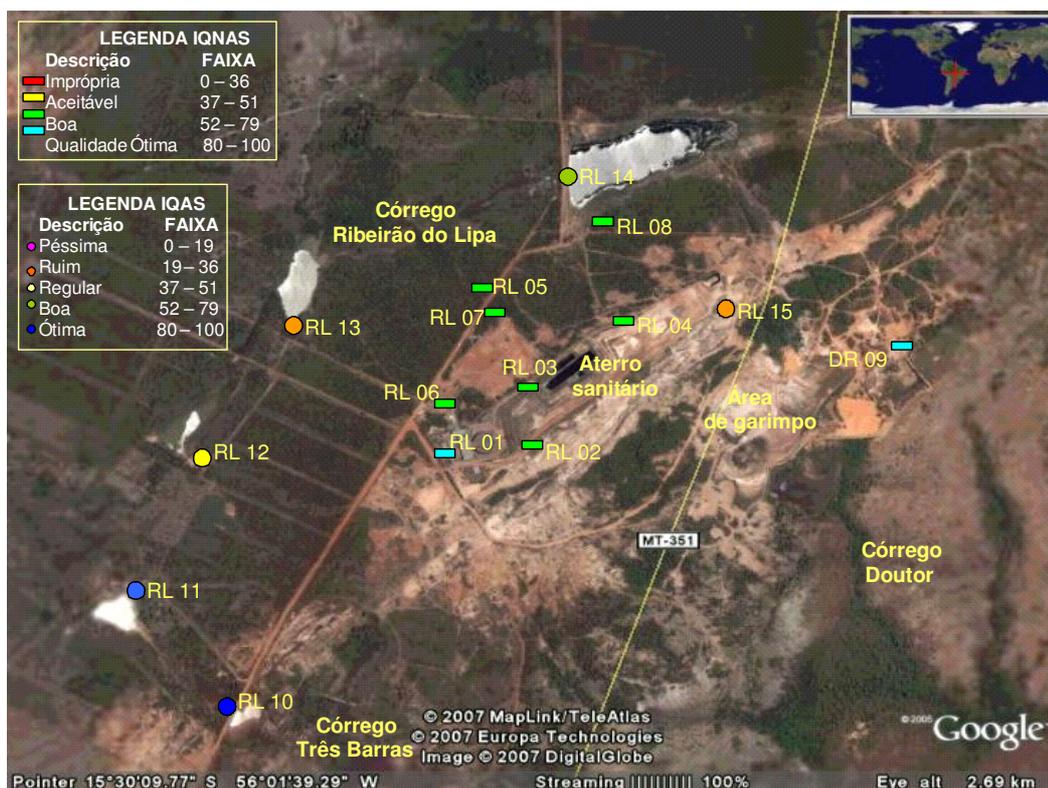


Figura 20 – Classificação do IQA superficial e IQANS na área de influência do aterro.

Fonte: Adaptado (GOOGLE EARTH, acessado 2007)

O cálculo do Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea foi baseado nos resultados das análises hidroquímicas de pH, cloreto, dureza, nitrato, flúor e sólidos totais (Apêndice 5), com pesos estabelecidos para cada parâmetro. Os poços de monitoramento RL 1 e DR 9, apresentaram qualidade ótima com valores de 84 a 85, respectivamente. Devido a não influência das Células do aterro sanitário nestas variáveis químicas.

Os poços RL 2, RL 3, RL 4, RL 5, RL 6, RL 7 e RL 8 apresentaram Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea Boa com valores de variaram de 54 a 76. Alguns desses valores pode esta ligados a influência das Células do aterro sanitário e

do canal superficial de drenagem que recebe o efluente tratado até o Ribeirão do Lipa.

A qualidade Boa do IQNAS não reflete a realidade no que se refere a qualidade da água para o consumo humano pois os poços apresentaram resultados de cor, turbidez, odor, coliformes totais, bactérias *E. Coli* e metais (mangânês, ferro e chumbo), com valores muito superiores ao preconizado pela Portaria nº. 518/04. Os resultados de matéria orgânica (DQO e DBO₅), indicam uma contaminação com valores superiores a 1 mg/L para DBO₅ e DQO acima de 10 mg/L (FEITOSA & FILHO, 2000).

O Índice de Qualidade da Água Superficial do ponto RL 10 e RL 11 calculados apresentaram valores de 89 e 85, respectivamente, considerados ótimos. O ponto RL 14 apresentou valor de 72, considerado bom. O resultados para o ponto de amostragem RL 12 apresentou Índice de Qualidade de Água Superficial Regular com valor de 50. Os pontos RL 13 e RL 15 apresentaram Índice de Qualidade de Água Superficial Ruim com valores de 35 e 33, provavelmente influenciado pelo aterro sanitário. De acordo com monitoramento da qualidade da água do rio Cuiabá (2003 – 2004) o Índice de Qualidade da Água do Ribeirão do Lipa apresentou Nível Médio (FEMA, 2005).

Os maiores valores em termos de DBO₅, bactérias *E. Coli*, nitrato, fosfato e sólidos totais na calha do Ribeirão do Lipa foram observados logo após o lançamento do efluente tratado do aterro RL 12 e RL 13 e ao lado da 2ª Célula, na represa RL 15 com concentração acima do valor máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº. 357/05. Esse córrego apresentou características físico-químicas e bacteriológicas similares a um esgoto típico de fraca concentração, ou seja, com elevados teores de matéria orgânica, coliformes e nutrientes LIMA (2001).

Um elevado valor da DBO₅ pode indicar a redução do oxigênio dissolvido e um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis conforme Santos (2006) que foi confirmado *in loco* com o forte odor de matéria orgânica.

O resultado da variável turbidez na água superficial no Ribeirão do Lipa, observou uma elevação nos teores do ponto RL 14 para RL 13, podendo ser reflexo do lançamento de esgoto tratado do aterro sanitário. A diminuição dos teores do

ponto RL 13 para RL 12. Verificou-se ainda que no período chuvoso os valores de turbidez foram mais elevados no ponto RL 13, devido a maior produção de lixiviado no aterro sanitário e também a baixa eficiência do sistema de tratamento, conforme estudos realizados por Latorraca (2008). O ponto RL 2 apresentou concentrações acima do valor máximo de 100 UNT, preconizado pela Resolução CONAMA nº. 357/05.

6.9 RELAÇÃO ENTRE MAPAS GEOFÍSICOS E A QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DO ATERRO.

6.9.1 Relação entre Mapas de Isovalores de Condutividade Elétrica Aparente e Análise de Água Subterrânea.

As Figuras 21 e 22 apresentam mapas de isovalores de condutividade aparente nas profundidades teóricas de 15 m, 30 m e 60 m obtidos por LAUREANO (2007).

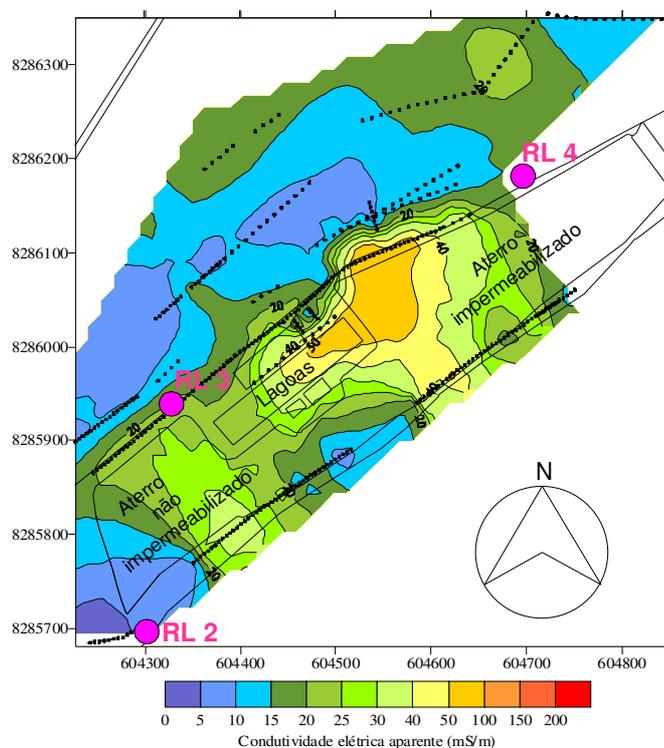


Figura 21 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 15 m.

Fonte: Laureano (2007)

O *background* na área do aterro sanitário de Cuiabá, onde se supõem que não havia contaminação, indicaram condutividade elétrica entre 4 e 16 mS.m^{-1} , predominando 12 mS.m^{-1} .

De acordo Laureano (2007) para a profundidade teórica de 15 m (Figura 21) a zona mais condutiva foi encontrada na região das lagoas e na área da 2ª Célula, impermeabilizada, com valores de condutividade superiores a 40 mS.m^{-1} . O chorume produzido provavelmente encontrou pontos de fuga, contaminando o subsolo nessas regiões. O mapa da Figura 21 sugere que houve percolação de chorume através das presenças de veios de quartzos verticalizadas no lado sul.

Na parte não impermeabilizada os valores de condutividade estiveram abaixo de 40 mS.m^{-1} , mas em muitos locais foram maiores que 20 mS.m^{-1} . Nesta faixa de condutividade pode haver contaminação (Fig. 22). Provavelmente esses valores foram menores devido à maior estabilidade do lixo, que foi depositado neste local há mais tempo que na 2ª Célula. As análises dos poços de monitoramento RL 2 e RL 3, confirmam este processo de estabilização com valores de matéria orgânica (DBO_5 e DQO), sólidos totais, cor e turbidez inferiores aos poços de monitoramento RL4.

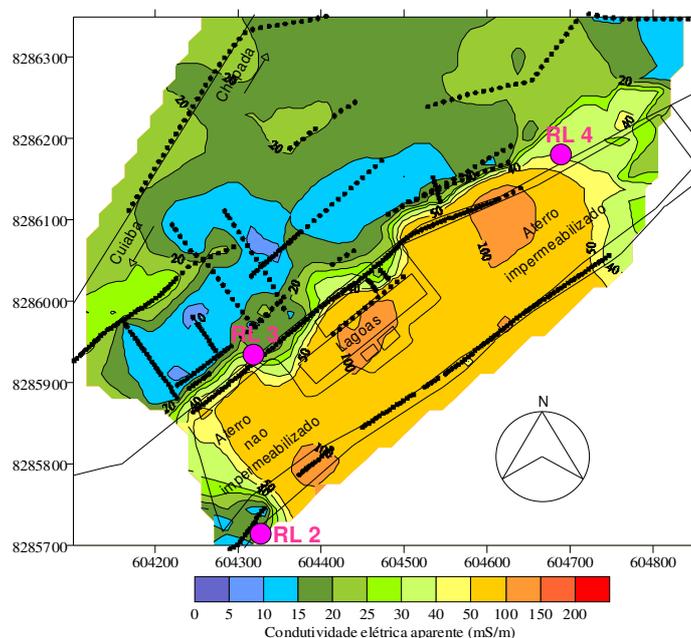


Figura 22 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 30 m.

Fonte: Laureano (2007)

Os valores da condutividade aparente para a profundidade teórica de 30 m aumentaram, ultrapassando os 100 mS.m^{-1} nas lagoas e nas áreas com e sem impermeabilização. Na maior parte da área do aterro a condutividade foi maior que 40 mS.m^{-1} , indicando que a contaminação já atingiu praticamente todo o subsolo do aterro. Na camada de 15 a 30 m a condutividade aumentou com a profundidade Laureano (2007).

O nível d'água na área do aterro (RL 2, RL 3 e RL 4), encontrado foi de aproximadamente 11 m. Pode-se inferir que o aumento da condutividade com a profundidade foi reflexo da saturação de água abaixo de 11 m. A camada que influencia na leitura situa-se entre 0 e 30 m de profundidade. Portanto houve influência do aquífero freático. Porém mesmo havendo esta influência pode-se afirmar que havia contaminação, pois em muitos pontos os valores ultrapassam os 50 mS.m^{-1} , que é a condutividade máxima de uma camada argilosa saturada (PORSANI, 1999).

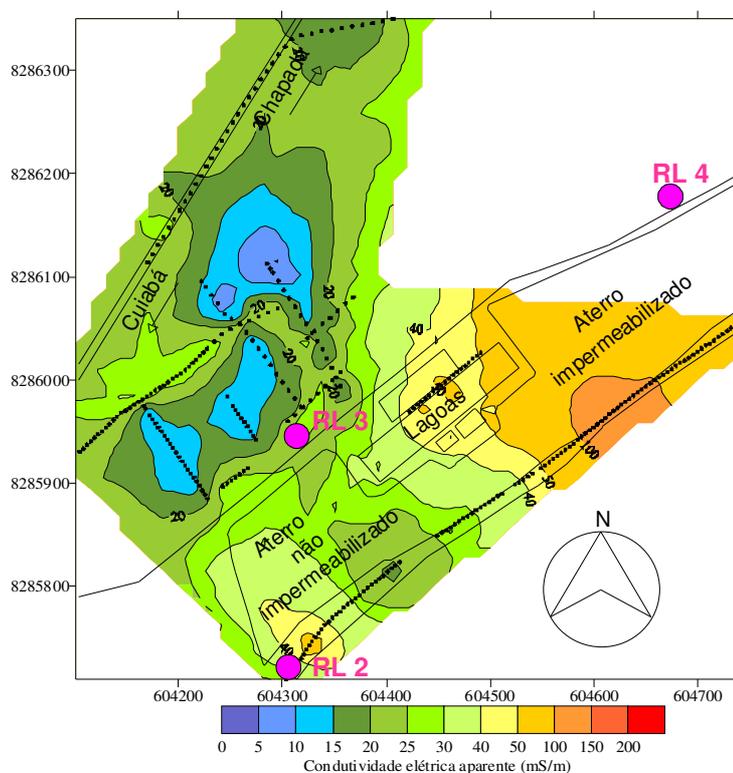


Figura 23 – Mapa de isovalores de condutividade elétrica aparente para a área do aterro sanitário de Cuiabá, profundidade teórica de 60 m.

Fonte: Laureano (2007)

De acordo com Laureano (2007) para a profundidade teórica de 60 m (Figura 23) os valores de condutividade foram menores do que para 30 m, principalmente na região das lagoas. Isto indica que, de 30 a 60 m de profundidade a contaminação diminui.

Na região das lagoas obteve-se elevados valores de condutividade, indicando que a falta de impermeabilização das lagoas provavelmente resultou na infiltração do efluente contaminando o subsolo.

Os resultados indicam que a parte impermeabilizada revelou zonas anômalas maiores que a não impermeabilizada. O poço RL 4 apresentou valores mais elevados nas análises físico-químicas e metais que o poço RL 2 e RL3, confirmando o método geofísico.

Os ensaios eletromagnéticos realizados no lixão de Ribeirão Preto, SP, revelaram zonas anômalas de condutividade fora das cavas de lixo com valores de até 30 mS.m^{-1} , sendo que a condutividade de *background* da região era muito baixa (abaixo de 10 mS.m^{-1} , pois trata-se de arenito).

6.9.2 Relação de Eletrorresistividade - Caminhamento Elétrico Arranjo Dipolo-Dipolo e Análises de Água Subterrânea

De acordo com Laureano (2007) o caminhamento elétrico (CE) realizado utilizou o arranjo dipolo-dipolo, com investigação em dois níveis. 20 m e 30 m . O CE foi efetuado nas linhas 2 e 9, as quais podem ser observadas na Figura 24.

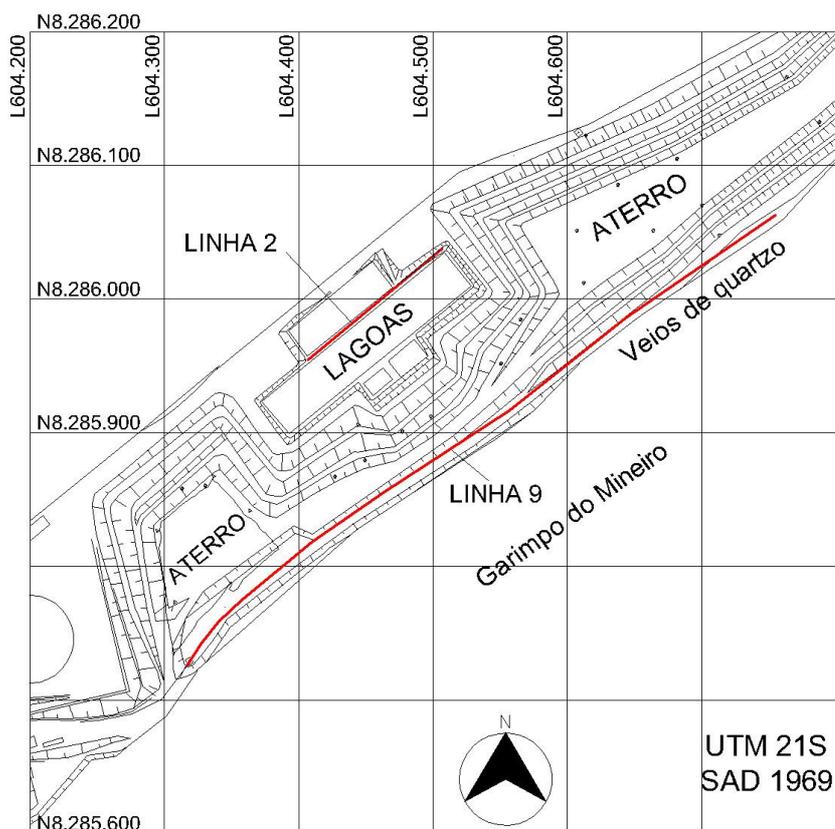


Figura 24 – Localização das linhas 2 e 9.

Fonte: Laureano (2007)

A linha 2 possui 120 m de comprimento e o ensaio foi realizado no sentido de sudoeste para nordeste entre as lagoas. Porém, devido ao arranjo dipolo-dipolo e ao espaçamento entre os eletrodos, o perfil possui menos de 120 m. As leituras foram feitas a cada 20 m, e correspondem ao ponto médio do arranjo no momento da leitura. A primeira leitura foi feita em 30 m, para o nível 1, e 40 m, para o nível 2. A última medida nas posições 80 m, para o nível 1, e 90 m, para o nível 2.

A Figura 25 apresenta o perfil de caminhamento elétrico para a linha 2, que fica entre as lagoas facultativas de tratamento de chorume.

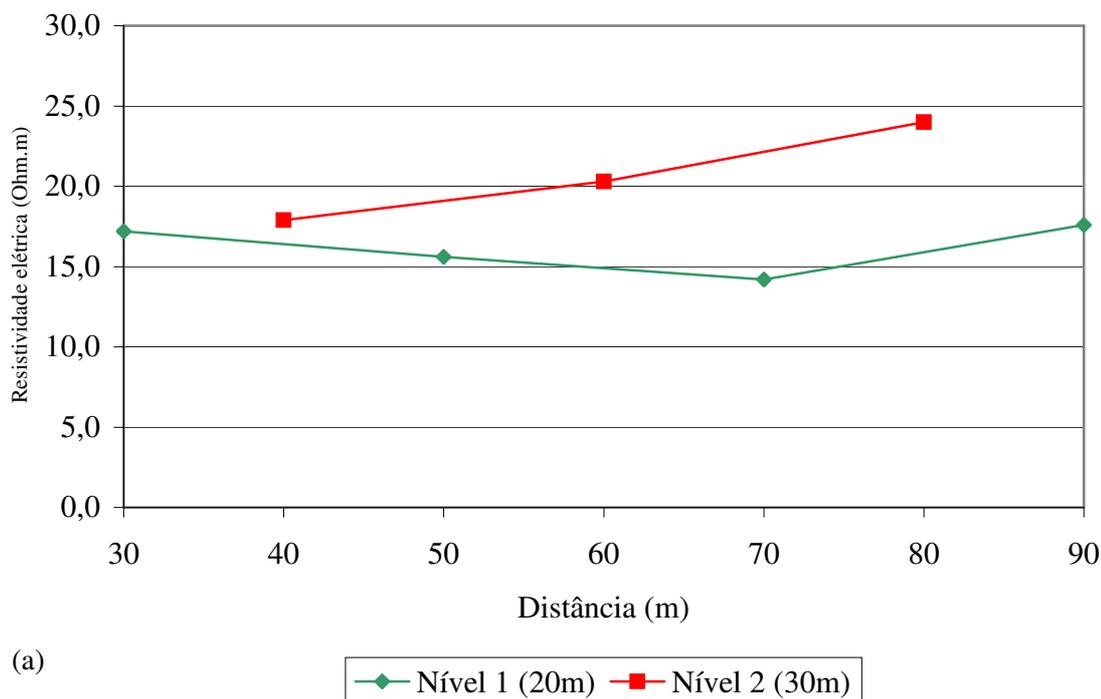


Figura 25 – Perfil de caminhamento elétrico da linha 2 (15/03/2006). (a) resistividade elétrica em função da distância.

Fonte: Laureano (2007)

Observa-se, na Figura 25, que a resistividade elétrica esteve abaixo de 25 Ohm.m em todo o perfil, segundo GALLAS et al (2003), valores inferiores 30 Ohm.m sugere contaminação uma vez que a condução elétrica (o inverso da resistividade elétrica) ocorre principalmente através de íons, que são abundantes no chorume. A contaminação foi maior em 20 m do que em 30 m de profundidade. Considerando que o níveis médios dos poços foi de 11 m, pode indicar que a poluição encontra-se aproximadamente na faixa de 19 m de profundidade.

A Figura 26 de Laureano (2007) apresenta o perfil de resistividade da linha 9, que situada no lado sul do aterro.

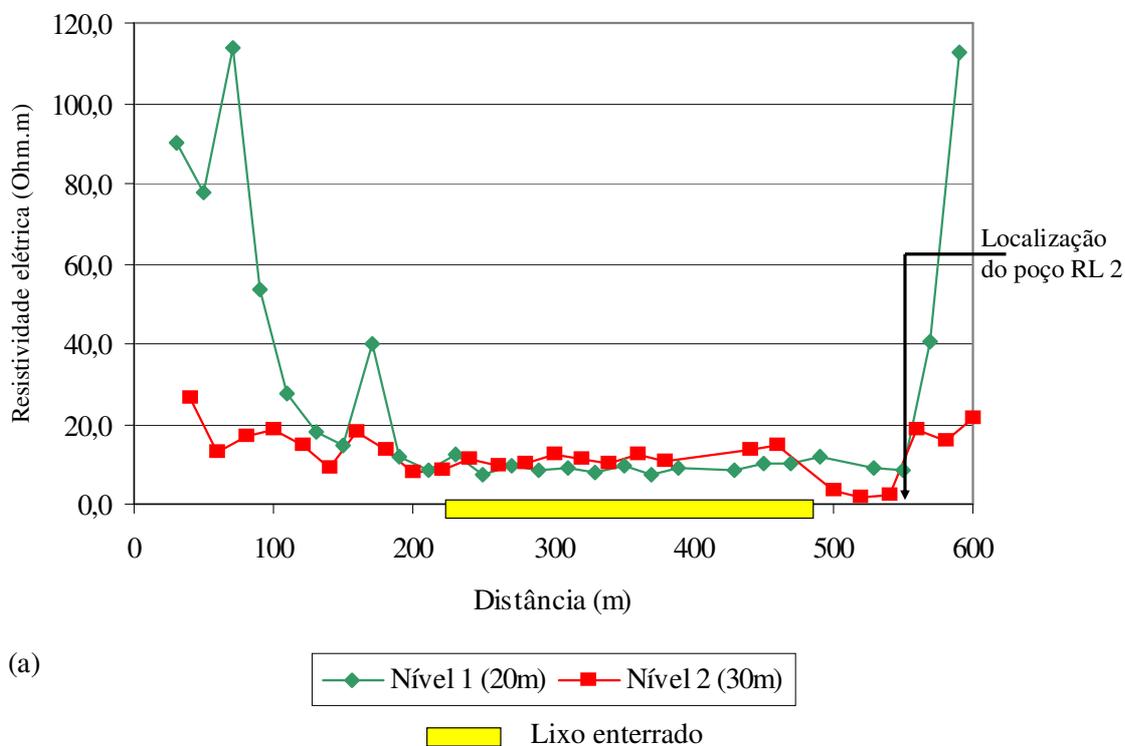


Figura 26 – Perfil de caminhamento elétrico da linha 9 (14/03/2006). (a) resistividade elétrica em função da distância.

Fonte: Laureano (2007)

Esta linha 9 apresentou valores de resistividade elétrica menores que 20 Ohm.m na maior parte do perfil, chegando a até 1,8 Ohm.m. Os baixíssimos valores encontrados apontam que o subsolo encontrava-se contaminado por chorume, a exemplo do que sugere os trabalhos de SILVA et al (2003), FACHINI (2006) e GALLAS et al (2005). Há Informações da Prefeitura que há lixo enterrado no trecho de 235 a 470 m da linha 9, os baixos valores de resistividade ocorreram em quase todo o perfil. Ou seja, a contaminação atinge toda a lateral sul do aterro, onde há ocorrência de formações permeáveis (metarenitos e fraturas preenchidas por quartzo), que favorece a percolação de chorume nestes veios e fraturas.

Os resultados do poço de monitoramento RL 2 apresentou elevados valores de matéria orgânica de (DQO: 20 mg/L e DBO₅: 7 mg/L); cor: 169 mgPt-Co.L⁻¹; turbidez 21 UNT mg/L; coliformes totais média geométrica: 919 NMP/100mL e *E.*

Coli: 21 NMP/100mL; e principalmente de metais (mangânês: 0,104 mg/L, chumbo: 0,015 e ferro 4,67 mg/L) comprovam a contaminação apontada pela geofísica.

6.9.3 Radar de Penetração no Solo (GPR)

A forte atenuação do sinal do GPR indica presença de um meio altamente condutivo, provocado pela presença de chorume. Com o método GPR foram adquiridos dois perfis linhas (2 e 9) de acordo com a Figura 27, com afastamento constante, utilizando antenas não blindadas de 50 MHz.

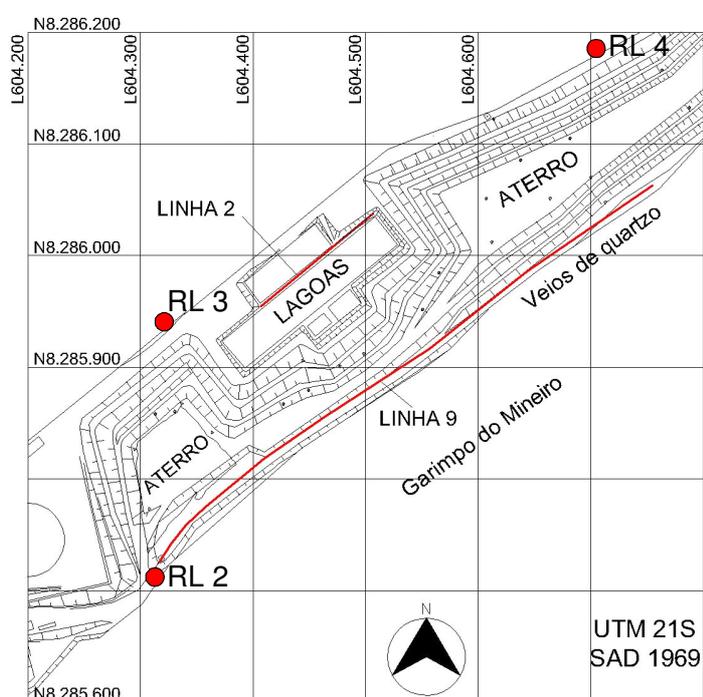


Figura 27 – Localização das linhas (2 e 9) e poços de monitoramento.

Fonte: Laureano (2007)

Para aquisição dos perfis foi mantido o espaçamento constante de dois metros entre as antenas transmissora e receptora. A linha 2 possui 130 m de comprimento e foi adquirida no sentido de sudoeste para nordeste. E a linha 9 possui 580 m de comprimento e foi adquirida no sentido de nordeste para sudoeste. Ela foi dividida em três trechos: o primeiro de 0 a 180 m; o segundo de 180 a 360 m; e o terceiro de 400 a 580 m. O trecho de 360 a 400 m não pôde ser adquirido pois no dia do ensaio havia uma poça de água no local (LAUREANO, 2007).

Depois de realizadas todas as etapas preliminares, os perfis de GPR das linhas 2 e 9.

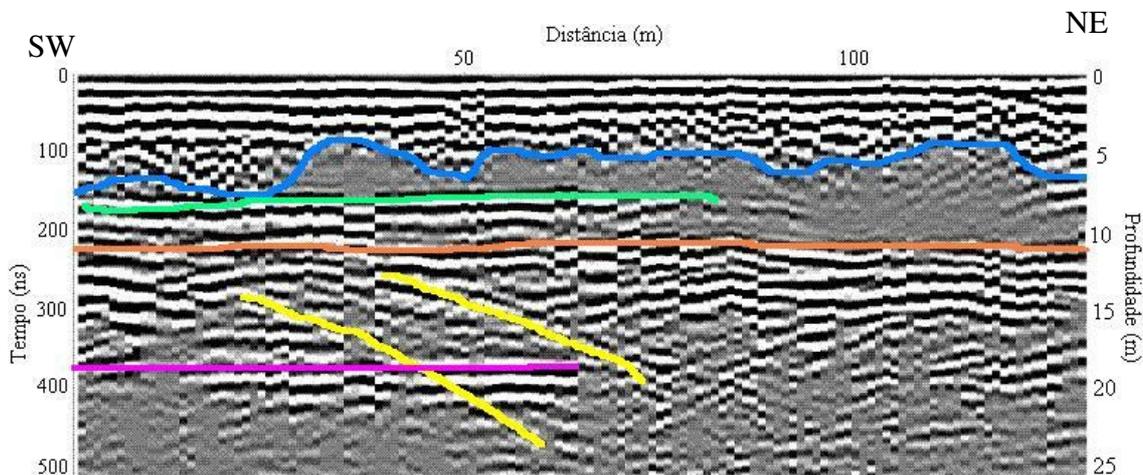


Figura 28 – Perfil de GPR da linha 2 - antena 50 MHz.

Fonte: Laureano (2007)

O perfil da linha 2, representado na Figura 28, mostrou ausência de reflexão, denominada de zona de sombra (*shadow zone*) de 25 a 150 m. Neste local, portanto, há contaminação do subsolo, pois a alta condutividade atenuou o sinal. Os refletores que aparecem abaixo da zona de sombra são refletores aéreos, os quais são explicados a diante.

A zona de sombra da linha 2 iniciou-se a 5-6 m de profundidade, abaixo da linha azul da Figura 28. Ou seja, logo abaixo do fundo das lagoas, indicando que a ausência de impermeabilização está possibilitando a percolação de chorume para o subsolo (LAUREANO, 2007).

Os resultados diretos da água do poço de monitoramento RL 3, confirmam a contaminação apontada pela geofísica, vários parâmetros mostram valores acima dos limites estabelecidos pelas normas de potabilidade, são elas: cor: 299 mgPt-Co.L⁻¹, turbidez: 64 UNT, coliformes totais: 9.280 NMP/100mL e *E. Coli*: 11 NMP/100mL e metais (manganês: 0,135 mg/L, chumbo: 0,017 mg/L e ferro: 7,73 mg/L).

As outras linhas da Figura 28 (verde, laranja, rosa e amarelas) são ondas aéreas, que foram refletidos em obstáculos, presente na área, tais como as paredes laterais das lagoas facultativas e o paredão de lixo ao redor da linha.

A Figura 29 apresenta os perfis de GPR da linha 9, no trecho de 400 a 570 m que se situa no lado sul do aterro, ao lado do Garimpo do Mineiro.

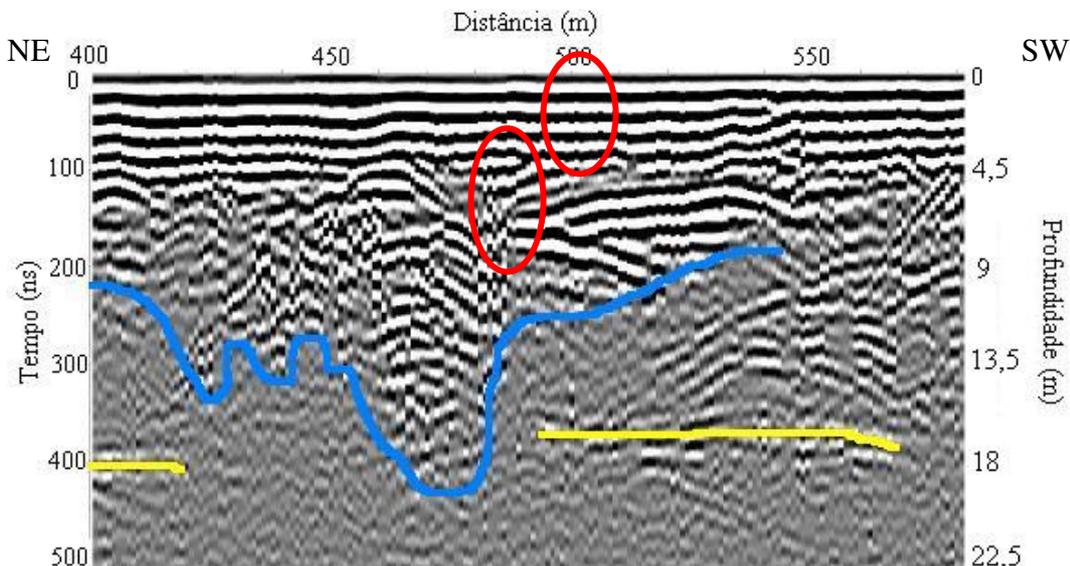


Figura 29 – Perfil de GPR da linha 9 - antena 50 MHz.

Fonte: Laureano (2007)

Os perfis de GPR de 400 a 570 m da linha 9, representados na Figura 29, mostraram ausência de reflexão em determinados trechos, abaixo da linha azul que representam zonas de sombra, onde o sinal é fortemente atenuado a área contaminada pela alta condutividade elétrica do meio e repercutam na maior parte do perfil abaixo de 14 m de profundidade.

No início do perfil (0 a 50 m) visualiza-se um padrão irregular devido aos veios de quartzo verticais presentes na área. As linhas verdes do perfil da Figura 29 são refletores que representam as camadas e rocha.

As regiões internas às elipses vermelhas representam feições locais.

As linhas amarelas são ondas aéreas e representam refletores localizados de 45 a 60 m de distância da linha 9 e correspondem ao paredão do Garimpo do Mineiro, que é relativamente paralelo à linha 9. Na posição 550 m localiza-se o poço RL 2 onde as análises químicas da água mostram um alto grau de contaminação e poluição oriunda do chorume da 1ª Célula. A profundidade no perfil de GPR e está entre 9 e 14 m do topo do aquífero freático nas medidas do nível da água do poço está 18,61 m.

Os perfis de GPR das linhas 2 e 9 estão de acordo com os resultados dos levantamentos eletromagnético e de eletrorresistividade.

7 CONCLUSÕES

O cálculo do Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos – IQAR resultou em 7,4 que permitiu classificar a qualidade deste aterro como um em Condições Controladas considerando principalmente características de infraestrutura, como a pouca eficiência do sistema de tratamento de lixiviado, a falta de um monitoramento periódico de águas superficiais, subterrâneas e gases, falta de drenagem de água pluviais, e condições operacionais, causando impactos negativos ao meio ambiente e a saúde pública principalmente na área de sua influência.

Foram coletadas ao todo 77 amostras de água, foram realizadas análises físico-químicas e exames bacteriológicos. Os resultados obtidos das amostras coletadas nos poços de monitoramento de águas subterrâneas, sugere a existência de contaminação próximo à Célula não impermeabilizada e impermeabilizada do aterro e próximo da drenagem que conduz o efluente tratado na área do aterro, para o Ribeirão do Lipa. As análises e exames apresentaram elevado teor de matéria orgânica, coliformes, cor, turbidez, ferro, manganês e chumbo, superiores aos padrões estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 518/04.

A contaminação observada nas águas superficiais no entorno do aterro, devido a má eficiência do sistema de tratamento do aterro, é evidenciado a jusante do lançamento do efluente do mesmo e na represa próximo a 2ª Célula, com elevada concentração de cor, turbidez, DBO₅, coliformes, fosfato, nitrato e ferro. Observou-

se que em todos os pontos de análises das águas superficiais apresentaram valores de ferro superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 357/05. Os valores observados de matéria orgânica (DQO e DBO₅) e as variáveis física cor e nível do aquífero freático apresentaram excelentes correlações nos poços (RL 2, RL 3, RL 4 e RL 5) e inversamente proporcional ao índice pluviométrico, indicando que quando aumenta a precipitação, diminui a carga orgânica devido a infiltração e a diluição da água do aquífero freático. A matéria orgânica e turbidez apresentaram uma boa correlação nos poços RL 3, RL 4 e RL 5, exceto no poço RL 2, indicando que a Célula desativada está em processo de estabilização do resíduo, devido a não percolação do lixiviado. Os poços (RL 2, RL 3, RL 4 e RL 5) apresentaram uma baixa correlação entre matéria orgânica e coliformes totais.

O IQNAS, baseados em análises hidroquímicas da água (cloreto, pH, flúor, nitrato, cloreto e sólidos totais), foram classificados em Ótima e Boa. A qualidade Boa da água subterrâneas, verificada em 56% dos poços de monitoramento não reflete a qualidade da água para consumo humano pois os poços apresentaram resultados com valores de cor, turbidez, coliformes totais, *E. Coli*, odor de matéria orgânica em processo de decomposição da matéria orgânica e metais (manganês, ferro e chumbo), superiores ao preconizado pela Portaria n°. 518/05. Em relação a matéria orgânica (DBO₅ e DQO), indicam uma contaminação com valores superiores a 1 mg/L para DBO₅ e DQO acima de 10 mg/L (FEITOSA & FILHO, 2000).

O IQA da água superficial na área de influência do aterro apresentou 33% **Ruim**, e provavelmente está associado diretamente a má eficiência do sistema de tratamento do efluente do aterro, destacando a grande quantidade de matéria orgânica e coliformes. A água superficial apresentou 33% considerada **Ótima**, não sofreram influência do aterro devido a topografia e a distância. O IQA apresentou 17% de água **Boa**. Outro 17%, apresentou IQA **Regular**, provavelmente devido a influência do aterro sanitário, principalmente devido a matéria orgânica e *coliformes E. Coli* no período de chuva.

As análises de água subterrânea confirmam a existência da contaminação, observadas nos locais indicados pelos resultados geofísicos, evidenciando a importância do uso de geofísica na detecção de alterações anômalas de aterro sanitário.

8 RECOMENDAÇÕES

Estudar a possibilidade de um nova área para a disposição final de resíduos sólidos urbano no município de Cuiabá.

Continuar o monitoramento da evolução da pluma de contaminação por meio de investigação direta (análises físico-químicas, exames bacteriológicos e metais da água subterrânea) e indireta (métodos geofísicos).

Monitoramento periódico das águas superficiais na área de influência do aterro.

Realizar tratamento prévio na água de abastecimento antes do consumo.

Estudar barreira reativa para minização do impacto da pluma de contaminação.

Adequação da impermeabilização de base e coletores de chorume do aterro.

Adequação do sistema de tratamento de lixiviado.

Pesquisar novas tecnologias para o tratamento do chorume.

Buscar diminuir a entrada de água, por meio de camadas impermeabilizantes na base e cobertura final, com o objetivo de minimizar a geração de efluentes líquidos e gasosos.

Estudar o balanço hídrico em escala piloto, com objetivo de minimizar a produção de lixiviado.

Adequação da drenagem de águas pluviais para diminuição de erosões nas Células do aterro removendo a camada de cobertura aumentando a produção de lixiviado.

O Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea apresentou pouco eficiente para o controle de aterro.

Acrescentar o poço de abastecimento do Garimpo do Mineiro no monitoramento da qualidade da água do aquífero freático como *Background*, pois o mesmo, apresentou um bom resultado referente a qualidade bacteriológica, físico-química e de metais.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898. **Preservação e técnica de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores,** Rio de Janeiro 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Classificação de resíduos sólidos,** Rio de Janeiro 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13895. **Construção de poços de monitoramento e amostragem,** Rio de Janeiro 1997.

APHA, AWWA, WPCFC. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Eds. L.S. CLERCERI, A.E. GREENBERG, R.R. TRUSSEL, 17th edition, Washington, USA, Ed. APHA. (1995).

BENSON, R.C.; YUHR, L. **Geophysical techniques for sensing buried wastes and waste migration**. U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada, 1982. 236p.

BILA, D. M. **Aplicação de Processos Combinados no Tratamento do Chorume**. Rio de Janeiro/RJ. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Química. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 109 f., 2000.

BOAVENTURA, G. R.; BISPO, R. S.; BRITO, V. E. B.; ARAÚJO, R. N. G. **Geoquímica de solo e água no aterro sanitário (lixão) do Distrito Federal**. Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, Niterói/RJ, 1995. Resumos expandidos - publicado em CDROM.

BOIAN, C. **Aplicação geofísica a estudos ambientais em sedimentos do grupo Bauru: aterro sanitário de São José do Rio Preto (SP)**. 1995. 173 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade de São Paulo, Rio Claro, 1995.

BUSELLI, G.; C. BARBER; G. B. DAVIS; R. B. SALAMA. **Detection of groundwater contamination near waste disposal sites with transient electromagnetic and electrical methods**. In: WARD, S.H. (ed.), Geotechnical and Environmental Geophysics. v. 2. Environmental and Groundwater. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 1990. p.27-39.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria MS n.º 518/2004** / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação - Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28p.

CALÇAS, D.A.N.Q.P.; HAMADA, J.; GIACHETI, H. **Atenuação natural de contaminantes do chorume de aterros sanitários em solos arenosos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001.

CASTILHOS JR., A. B. de. **Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil.** BIO - Rev. Bras. de San. e Meio Amb., p.57-60, 1988.

CAPOROSSI, Sara Suely Attílio. **Análise Comportamental do Chorume do Aterro Sanitário e do Sistema de Tratamento na Central de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Cuiabá/MT.** 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Acessado em 30 de novembro de 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

COELHO, M.G *et al.* **Contaminação das águas do aquífero freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia-MG/Brasil.** XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS/2002); Cancun 2002;

CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005. Disponível em <URL: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> >. Acesso em 15 de abril, 2006.

COSTA, B.S., *et al.* **Plano de gestão de resíduos sólidos de Mato Grosso.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. Anais. Joinville: ABES, 2003.

COSTA, W.D. **Contaminação da água subterrânea por resíduo sólido no município de Belo Horizonte – MG.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J.V. **Management of solid urban waste collection: structuring and application of a non-linear goal programming model.** *Gestão & Produção*, Aug. 2002, v. 9, n. 2. p.143-161.

DAMASCENO, S. **Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgoto sanitário por processo de lodo ativado e por um reator compartimentado anaeróbio.** São Carlos, 1996. 141p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DRURY, W.J. **Treatment of acid mine drainage with anaerobic solid - substrate reactors,** *Water Env. Research*, v. 71, n. 6, Sept./Oct. 1999.

EL-FADEL, M.; BOU-ZEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLI, B. **Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content.** *Waste Management*, v.22, pp. 269-282, 2002.

ELIS, V.R.; ZUQUETTE, L.V. **Utilização de caminhamento elétrico em áreas de disposição de resíduos – relações entre dimensões do empreendimento e qualidade dos resultados.** In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 6., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 1999.

ELLERT, N.; ROSS, S.; MENDES, J. M. B. M; MARTIN, E. **Mapeamento geofísico do lixão de São Carlos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6., 1990, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: CBAS, 1990. p. 82-88.

FEHR, M. **O fator geográfico da gestão de resíduos sólidos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. Anais... Joinville: ABES, 2003.

FEITOSA, F. A.C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrologia. Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000. 2ª edição.

FEMA-MT, **Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2003-2004. Cuiabá, MT. 2005.

FERNANDES, M.C.; GARCIA, F.O.; CATEN, B.T. **Relatório do campo de geofísica no aterro sanitário de Cuiabá**. Cuiabá. Relatório interno. ICET/UFMT, 2006a.

FERNANDES, F. *et al.* **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpo d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006b. 494 p.

FRANCO, H.A.; PIRES, A.C.B. **Estudo geofísico e geoquímico da contaminação de água por aterro sanitário**. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 4., 1995, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 1995. p. 925-928.

GASTALDINI, M. C. C. & TEIXEIRA E. C., **Avaliação da qualidade da água in: Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas/organizado por Paiva, J. B. C. e Paiva, E. M. C. D.** Porto Alegre: ABRH, 2001.

GALLAS, J.D.F., MALAGUTTI FILHO, W.; PRADO, R.L.; TAIOLI, F. **Lixão do Alvarenga – mapeamento da pluma de contaminação pelos métodos geoeletricos**. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN

GEOPHYSICAL SOCIETY, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 2003. 4p.

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, 2005. p.51-59.

GOMES, L. P. *et al.* **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpo d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

GOOGLE.Google **Earth System Online**. Disponível em: < www.earth.google.com >. Acesso em: 09/05/2007.

GREENHOUSE, J.; SLAINE, D.D. **The use of reconnaissance electromagnetic methods to map contaminant migration**. Ground Water Monitoring Review, v. 3, n. 2, 1983. p. 47-59.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas das populações residentes, em 01.07.2005, segundo os municípios**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 20 julho 2006.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Boletim da estação 2504600 – **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**. Delegacia Federal da Agricultura – DFA/MT, 9.º Distrito de Meteorologia, 2000.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO URBANO – IPDU. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá de Cuiabá – Volume III – Cuiabá, MT. 2007.**

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. ABES, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2005.

KELLY, W.E. Geoelectric sounding for delineating groundwater contamination. 1976. *Ground Water*, v. 14, n. 1, p. 6-10.

LAGO, A.L.; ELIS, V.R.; GIACHETI, H.L. 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. 2006.

LATORRACA, T. J. F.; FILHO, J. F. P.; GOMES, L. A.. Análise do desempenho do sistema de impermeabilização basal das células em um aterro sanitário, estudo por meio de dados de monitoramento das águas subterrâneas. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste, Cuiabá. Mato Grosso, 2007.

LAUREANO, A. T. Estudos geofísicos no aterro sanitário de Cuiabá-MT. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2007. 149p.

LEITE, W.C.A. Estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. São Carlos; 1991. [Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Hidráulica e Saneamento].

LEITE, L. E. H. B, MAHLER, C. F., FILHO, L. F. B., Avaliação do potencial de receitas derivadas do biogás de aterros. 23º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental. 2005. Campo Grande, Brasil.

LIMA, E. B. N. R., 2001, Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá, Tese de Doutorado, Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

LUZ, J.S., *et al.* **Projeto Cóxipo. Goiânia**, DNPM/CPRM. v. 1, 136p. 1980. (Relatório Final).

MARTINS, G.A. **Estatística geral e aplicada**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MELO, V.L.A.; JUCÁ, J.F.T. **Diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos a partir de estudos de referências**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 2001.

MENDES, J.M.B. Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas. 1987. 195 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

MIGLIORINI, R.B. **Hidrologia em Meio Urbano**. 1999. 146 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MONTEIRO, V.E.D., *et al.*, **Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11, n.3, p.-, jul./set. 2006.

MOREIRA, C.A.; DOURADO, J.C.; BRAGA, A.C.O. **Aplicação da técnica de caminhamento elétrico em área contaminada por derivados de petróleo**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 24, n. 3, p.383-392. 2006.

MOURA, H.P.; MALAGUTTI FILHO, W.; BRAGA, A.C.O. **Modelagem de pseudo-seções de resistividade e polarizabilidade aparentes – estudo em uma área de disposição de resíduos urbanos**. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 7., 2001, Salvador. Anais... Salvador: SBGf, 2001. p. 271-273.

NETTO, J. M. A.; BOTELHO, M. H. C. **Manual de saneamento de cidades e edificações**. São Paulo: Editora Pini, 1991.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. **Monitoramento do lixiviado de aterro sanitário**. XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental (AIDIS/2000); 2000; Porto Alegre, Brasil. Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitária y Ambiental/Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

OLIVEIRA, F.J.S.; JUCÁ, J.F.T. **Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 3, p. 211-217, jul./set. 2004.

OLIVEIRA, I. B.; Negrão, F.I. & Rocha, T. S. **Determinação do índice de qualidade da água subterrânea – IQAS, com base nos dados de poços tubulares do Estado da Bahia: área piloto: Recôncavo e Platô de Irecê**. XIII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas. 2004; Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. p.307.

OGA, S., editor **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu; 1996.

PACHECO *et al.* **Influência da atividade antrópica na qualidade das águas subterrâneas: o caso do aterro sanitário de Maracanaú - Ceará**. In: I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica Natal - RN - 2006.

PEÑIDO MONTEIRO, J.H., *et al.* ZVEIBIL, V.Z. (Coord.) **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

PORSANI, J.L. Ground Penetrating Radar (GPR): **Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e**

Descalvado, SP. Tese (Doutorado em Geociências) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999. 159p.

IPDU - INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO URBANO
PREFEITURA MUNICIPAL DE CUIABÁ.– **Perfil Socioeconômico de Cuiabá – Vol. III** – Cuiabá: IPDU/AS&M/Central de Texto, 2007. 486 p.

QASIM, S.R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment**, Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc., 1994. 339p.

REYNOLDS, J.M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. 1.ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1997. 795 p.

SANTOS, F.M. **Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação da águas subterrâneas no lixão da Cuiabá-MT**. 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005. 88p.

SEGURA-MUÑOZ, S.I.; TAKAYANAGHI, A.M.M.; LOPES, T.M.; TREVILATO, T.M.B.; HERING, S. **Estudo do efeito neurotóxico da exposição ocupacional ao mercúrio, ao chumbo e ao manganês utilizando como ferramenta metodológica a Revisão Sistemática de Literatura**. O mundo da Saúde, São Paulo, v. 27, n.4, out./dez.2003. p.48

SEMINFE. **Secretaria Municipal de Infra-estrutura – Prefeitura Municipal de Cuiabá** – Relatório Interno – Departamento de Serviços Urbanos, 2007.

SCHALCH, V. **Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano**. São Carlos; 1984. [Dissertação apresentada à Escola

de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Hidráulica e Saneamento].

SHIRAIWA, S., LISOVSKY SP, ELIS VR, PORSANI JL & BORGES WR. **Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil** – resultados preliminares. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 20, n. 3, p.181-186. 2002.

SILVA, C.H. **Caracterização estrutural de mineralizações auríferas do grupo cuiabá, baixada cuiabana (MT). Rio Claro.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 1999. 129p

SILVA, G.P., *et al.* **Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 36, n. 1, 2006. p. 45-52.

SILVA, J.E., *et al.* **Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental.** *Revista Brasileira de Geofísica*, v.20, n. 3, 2003. p.193-198.

SILVA, J.T.G. **Preliminary engineering geologic maps of Belo Horizonte, São Sebastião das Águas claras, Nova Lima e Santa Luzia Quadrangles, Minas Gerais, Brazil.** Master of Engineering. Colorado School of Mines. Golden, Colorado, EUA. 1990. 147 p.

SILVA, M.J., *et al.* **Investigações geofísicas na avaliação de risco geológico em áreas cársticas urbanas - exemplos da região metropolitana de Curitiba, PR, Brasil.** In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 7., 2001, Salvador. Anais... Salvador: SBGf, 2001. p. 259-262.

SILVA, N. A. **Caracterização de impactos gerados pela piscicultura na qualidade da água: estudo de caso na bacia do rio Cuiabá/MT.** 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007. Disponível em: <<http://www.pgfma.ufmt.br/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2008.

SILVA, S.R.C.M. **Chorume como poluente em uma área experimental no Aterro Sanitário de Cuiabá/MT.** 2001. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Saúde Coletiva, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2001.

SILVINO, A. N. O. **Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do rio Coxipó, no município de Cuiabá - MT.** Cuiabá, 2008. 165 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

SISINNO, C.L.S. **Estudo preliminar da contaminação ambiental em área de influência do aterro controlado do Morro do Céu (Niterói – RJ).** Rio de Janeiro; [Dissertação apresentada à Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação]. 1995.

SISINNO, C.L.S.; MOREIRA, J.C. **Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil.** Cad. Saúde Pública 1996; 12 : 515-523.

SMSU. **Secretaria Municipal de Serviços Urbanos.** Limpeza Urbana: Cuiabá Passando a Limpo, 2001.

SNIS, **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005.** Brasília: MCIDADES.SNIS, 2006.

SOARES, P.S.M.; YOKOYAMA, L.; FREIRE, D.D.C. **Transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos.** Série Tecnologia Ambiental. CETEM / MCT: 2005. 43p.

THOMAZ, E. **Contaminação atinge águas subterrâneas** – Assessoria de comunicação e imprensa – UNICAMP (Correio Popular - Cidades - 06/10/2005).

TORRES, P., BARBA, L.E., RIASCOS, J., VIDAL, J.C. **Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado**. Eng. Sanit. e Amb., v.2, 1997. p.55-62.

VIANA, F. S. **Aplicação do mecanismo de desenvolvimento limpo: queima de biogás em aterro sanitário, estudo de caso aterro sanitário de Cuiabá-MT**. Monografia (Graduação) – Departamento de Eng. Sanitária - Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008. 52 f.

VILELA, D.; SALOMÃO, F.X.T. **Descrição de quatro perfis de solo na área do aterro sanitário de Cuiabá**. Cuiabá, Relatório Interno, ICET/UFMT, 2006.

ZANTA, V. M.; MARINHO, M. J. M. R.; LANGE, L. C.; PESSIN, N. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpo d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

10 APÊNDICE

Apêndice 1. Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos.

Apêndice 2 - Localização, a coordenada e altitude dos poços de monitoramento.

| Poço | Localização | Coord. | Altitude |
|------|--|---|----------|
| RL 1 | Poço de Abastecimento - <i>Background</i> | 15° 30' 14,9" - S 56° 01' 48,5" - W | 250m |
| RL 2 | Poço de Monitoramento | 15° 30' 13,3" - S 56° 01' 38,8" - W | 259m |
| RL 3 | Poço de Monitoramento | 15° 30' 06" - S 56° 01' 38,3" - W | 252m |
| RL 4 | Poço de Monitoramento | 15° 29' 58" - S 56° 01' 25" - W | 251m |
| RL 5 | Poço de Monitoramento | 15° 29' 59,4" - S 56° 01' 42,56" - W | 241m |
| RL 6 | Poço de Monitoramento | 15° 30' 9,1" - S 56° 01' 48,7" - W | 244 m |
| RL 7 | Poço de Monitoramento | 15° 29' 59,2" - S 56° 01' 42,6" - W | 242 m |
| RL 8 | Poço de Monitoramento | 15° 29' 51,9" - S 56° 01' 31,8" - W | 238 m |
| DR 9 | Poço de Monitoramento – <i>Background</i> | 15° 30' 3,2" - S 56° 01' 01,2" - W | 216 m |

Apêndice 3 - Localização, a coordenada e altitude dos pontos de coletas das águas superficiais.

| Micro bacia | Coord. | Altitude |
|--------------------------|--|----------|
| Ribeirão do Lipa – RL 10 | 15° 30' 40,58" - S 56° 02' 08,45" - W | 226 |
| Ribeirão do Lipa – RL 11 | 15° 30' 30,31" - S 56° 02' 20,66" - W | 218 |
| Ribeirão do Lipa – RL 12 | 15° 30' 14,93" - S 56° 02' 13,89" - W | 215 |
| Ribeirão do Lipa – RL 13 | 15° 30' 01,54" - S 56° 02' 03,60" - W | 219 |
| Ribeirão do Lipa – RL 14 | 15° 29' 47,23" - S 56° 01' 36,15" - W | 231 |
| Ribeirão do Lipa – RL 15 | 15° 30' 00,42" - S 56° 01' 21,40" - W | 252 |

Apêndice 4 - Parâmetros, equações matemáticas das notas e os pesos para traçadas as curvas médias da variação da qualidade da água em função das suas respectivas concentrações.

| Parâmetros | Faixa | Equações matemáticas das Notas | Pesos |
|----------------------|------------------------------------|---|-------------|
| (i) | (ii) | | |
| Temperatura | $-5 \leq x \leq 5$ | $I_i = (0,018278765968x^4) + ((-2,692254207E-3)x^3) + (-2,2451338509x^2)$ | |
| Desvio (°C) | | $+ (-1,54324016138x) + (91,708915636)$ | |
| | $5 < x \leq 15$ | $I_i = (-0,018758383633x^3) + (0,81573998630x^2) + (-13,312797976x) + (8,7483548868E1)$ | 0,10 |
| | $x > 15$ | $I_i = 5$ | |
| Oxigênio | $0 \leq x \leq 140$ | $I_i = ((2,75440888836E-8)x^5) + ((-8,8414255005E-6)x^4) + ((8,0913178038E-4)x^3) + ((-1,5491736518E-2)x^2) + ((5,0317668331E-1)x)$ | 0,17 |
| Dissolvido | | $+ (2,9860132048x) + (2,9860132048)$ | |
| | $x > 140$ | $I_i = 50$ | |
| DBO ₅ | $0 \leq x \leq 30$ | $I_i = ((9,6705612340E1)*e^{-1,2459330506E-1x}) + (3,0123730555)$ | 0,10 |
| | $x > 30$ | $I_i = 2$ | |
| Coliformes | $1 \leq x \leq 10^5$ | $I_i = 1,6462871905E2*((x - (-4))^{-3,1464642727E-1})$ | |
| Fecais | $x > 10^5$ | $I_i = 2$ | 0,15 |
| (NMP/100m | $0 \leq x \leq 100$ | $I_i = 9,0892256998E+1*(e^{-4,5590646942E-2*x})$ | |
| Nitratos | | | |
| (mg/L) | $x > 100$ | $I_i = 1$ | 0,10 |
| Fosfatos | $0 \leq x \leq 10$ | $I_i = 1/((9,2315245670E-3) + (1,7176906575E-2)x)$ | |
| (mg/L) | | | 0,10 |
| pH | $\frac{x > 30}{2 \leq x \leq 7,3}$ | $I_i = ?$ $I_i = ((-1,471716290E-1)x^5) + (2,7864153968x^4) + ((-1,9241573303E1)x^3) + ((6,3503912668E1)x^2) + (-9,9817319350E1)x + 6,16533829183E1$ | |
| | $7,3 \leq x \leq 12$ | $I_i = ((4,4753472477E-1)x^5) + ((-2,2906621079E1)x^4) + ((4,6593095888E2)x^3) + ((-4,7000830350E3)x^2) + (2,3454759541E4)x + (-4,6614017892E4)$ | 0,12 |
| Sólidos | $0 \leq x \leq 500$ | $I_i = ((3,589743606E-12)x^5) + (-7,1445221476E-9)x^4 + (5,5134032532E-6)x^3 + (-2,0306235379E-3)x^2 + (2,1180011581E-1)x + (7,9977272746E1)$ | |
| Totais | | | |
| (mg/L) | | $I_i = 2$ | 0,8 |
| | $x > 500$ | | |
| Turbidez | $0 \leq x \leq 100$ | $I_i = ((-2,083333461E-8)) + (7,3936484113E-6) + (-1,0109994603E-3) + (6,9750147658E-3) + (-2,9960693801) + (9,9977272811E1)$ | 0,8 |
| (UNT) | | | |
| | $x > 100$ | | |
| Soma total dos pesos | | | 1,00 |