

VERA CHRISTINA VAZ LANZA

**AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CONTAMINAÇÃO POR LIXIVIADOS NO
DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE BUGRE,
MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L297a
2012

Lanza, Vera Christina Vaz, 1963-

Avaliação da ocorrência de contaminação por lixiviados no depósito de resíduos sólidos urbanos do município de Bugre, Minas Gerais / Vera Christina Vaz Lanza. – Viçosa, MG, 2012.

xiv, 138 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Roberto Francisco de Azevedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 100 - 106.

1. Aterro sanitário. 2. Solos - Poluição. 3. Solos - Lixiviação.
4. Gestão integrada de resíduos sólidos I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 628.5

VERA CHRISTINA VAZ LANZA

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CONTAMINAÇÃO POR LIXIVIADOS NO
DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE BUGRE,
MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 7 de dezembro de 2012



Prof. André Luciano de Carvalho



Prof.^a Izabel Christina d'Almeida D.
de Azevedo
(Coorientadora)


Prof. Roberto Francisco de Azevedo
Orientador

Dedico este trabalho ao meu pai, Roberto Cezar Lanza, que se ainda estivesse conosco, certamente teria muito orgulho desta etapa de minha vida. Dedico ainda aos grandes amores e motivadores de todas as minhas conquistas, meu marido Rogerio Braga de Assunção e meu filho Bernardo Lanza de Assunção.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que com toda a sua alegria, sempre me incentivou ao estudo, à aquisição de cultura e novos conhecimentos. Parte desta importante conquista de minha vida é devida a ela.

À minha família, especialmente à tia Lila e aos meus irmãos Roberto, Ricardo e Rodrigo, pela presença constante em minha vida.

Ao meu orientador Roberto, pelos inúmeros ensinamentos, paciência e, principalmente, pela confiança em mim depositada.

Ao professor Eduardo Marques pelos valiosos ensinamentos, pela simpatia e confiança.

Aos colegas da pós-graduação, especialmente à Aline, Ângela e Mariana, que com muita generosidade me ajudaram a superar momentos difíceis no retorno à vida acadêmica.

À FEAM, especialmente à Denise Bruschi, pela confiança e pelas inúmeras oportunidades de crescimento profissional, ao Francisco Fonseca, Gerente de Resíduos e à Patrícia Fernandes, Gerente de Qualidade do Solo e Reabilitação de Áreas Degradadas, pela disponibilização de dados do Programa Minas sem lixões e relatórios de áreas contaminadas.

À prefeitura de Bugre, por ter cedido equipamentos, pessoal e informações necessários ao desenvolvimento desta pesquisa, especialmente ao Engenheiro Robson Costa e ao Diretor de Meio Ambiente Lucas Lúcio da Costa.

Aos meus colegas de trabalho da Fundação Israel Pinheiro, especialmente à Magda Pires, pela compreensão e apoio em todos os momentos de dificuldade e aos analistas ambientais do escritório de Ipatinga.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ipatinga Daniel Martins, Marcelo Beloni e Lucas Guimarães pelo apoio no desenvolvimento dos ensaios.

Ao Apolo e à Barbara pelo apoio na elaboração dos projetos.

A todos os que me apoiaram e incentivaram ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Organização.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Resíduos Sólidos	5
2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos	6
2.1.1.1 Classificação de acordo com a ABNT	6
2.1.1.2 Classificação quanto à fonte geradora	7
2.1.1.3 Classificação quanto ao grau de degradabilidade	8
2.1.2 Características dos Resíduos Sólidos	9
2.1.2.1 Geração de Resíduos Sólidos	9
2.1.2.2 Características Físicas, Químicas e Biológicas	12
2.2 Situação da Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	14
2.3 Técnicas de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos	16
2.4 Recomendações das normas técnicas de aterros sanitários	18
2.4.1 Norma técnica para municípios de pequeno porte.....	21
2.4.1.1 Tipos de Aterros Sanitários de Pequeno Porte.....	24
2.4.2 Comparativo entre as diretrizes das normas técnicas brasileiras	26
2.5 Lixiviados de aterros sanitários.....	29
2.5.1 Definição de lixiviados	29
2.5.2 Geração de lixiviados.....	30
2.5.3 Balanço Hídrico em Aterros Sanitários	31
2.5.4 Composição dos lixiviados.....	32
2.6 Contaminação do solo por lixiviados.....	36

2.6.1 Valores Orientadores	37
2.7 Trabalhos equivalentes	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Localização e acesso	43
3.2 Relevo	45
3.3 Clima	46
3.4 Geologia	46
3.5 Descrição do Caso de Estudo	47
3.6 Ensaio de campo e laboratório	53
3.6.1 Composição gravimétrica	53
3.6.2 Levantamento da quantidade de resíduos	55
3.6.3 Caracterização geotécnica	55
3.6.3.1 Ensaio SPT	55
3.6.3.2 Ensaio de permeabilidade	57
3.6.3.3 Ensaio de caracterização do solo	57
3.6.4 Ensaio químicos do solo	59
3.6.5 Balanço Hídrico	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
4.1 Composição gravimétrica	68
4.2 Quantidade de resíduos	69
4.3 Caracterização geotécnica	70
4.3.1 Sondagem SPT	70
4.3.2 Ensaio de Permeabilidade	71
4.3.3 Caracterização granulométrica	72
4.4 Balanço Hídrico	73
4.5 Enquadramento do depósito de resíduos como Aterro Sanitário de Pequeno Porte	77
4.6 Condições para dispensa de impermeabilização	77
4.7 Ensaio químicos	79
4.7.1 Matéria Orgânica	81
4.7.2 Potencial Hidrogeniônico – pH	82
4.7.3 Nitrogênio Amoniacal	83
4.7.4 Coliformes Fecais e Coliformes Totais	85

4.7.5 Metais	86
4.7.5.1 Arsênio (As)	86
4.7.5.2 Cádmio (Cd)	86
4.7.5.3 Chumbo (Pb)	88
4.7.5.4 Cromo total (Cr)	89
4.7.5.5 Cobre (Cu)	90
4.7.5.6 Ferro (Fe) e Manganês (Mn).....	91
4.7.5.7 Mercúrio.....	93
4.7.5.8 Níquel (Ni)	93
4.7.5.9 Zinco (Zn)	94
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXO A – Relatórios dos ensaios de sondagem a percussão – SPT	107
ANEXO B – Relatório dos ensaios de infiltração.....	109
ANEXO C – Laudos laboratoriais dos ensaios químicos do solo.....	110
ANEXO D – Cadeias de custódia dos ensaios químicos do solo.....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da geração de resíduos de acordo com a renda familiar nas regiões administrativas de São Paulo.....	10
Figura 2 – Lixão.	16
Figura 3 – Aterro Controlado.....	17
Figura 4 – Aterro Sanitário.	18
Figura 5 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em valas.....	24
Figura 6 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em trincheira.	25
Figura 7 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em encosta.....	25
Figura 8 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em área.....	26
Figura 9 – Esquema da formação dos líquidos lixiviados	31
Figura 10 – Localização do município de Bugre – MG.	43
Figura 11 – Principais acessos ao município de Bugre.	44
Figura 12 – Relevo do município de Bugre.....	45
Figura 13 – Formações geológicas do município de Bugre – MG.	47
Figura 14 – Antigo lixão do município de Bugre.	48
Figura 15 – Imagem da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Bugre (MG) e de seu entorno.....	49
Figura 16 – Levantamento planialtimétrico e localização das valas utilizadas no depósito de resíduos sólidos do município de Bugre – MG.	51
Figura 17 – Disposição dos resíduos na primeira vala	52
construída no depósito de Bugre em 2009.....	52
Figura 18 – Rompimento das embalagens e mistura para homogeneização dos resíduos.	53
Figura 19 – Acondicionamento das amostras em tambores.	54
Figura 20 – Separação dos resíduos para pesagem.	54
Figura 21 – Pesagem dos resíduos.....	55
Figura 22 – Execução de sondagem SPT.	56
Figura 23 – Abertura da trincheira para coleta de amostra de solo para ensaios geotécnicos.	58
Figura 24 – Localização e perfis dos pontos de coleta de solo para ensaios químicos.....	61
Figura 25 – Abertura da trincheira para coleta de amostras de solo sob as valas de disposição de resíduos.	62
Figura 26 – Abertura de trincheira e remoção dos resíduos para coleta de amostras de solo sob a vala.	62

Figura 27 – Coleta de amostra de solo sob a vala de disposição de resíduos com utilização de cavadeira tipo boca de lobo.	63
Figura 28 – Coleta de amostra de solo sob a vala de disposição de resíduos com utilização de trado manual.	63
Figura 29 – Coleta de amostras de solo no ponto P1.	64
Figuras 30 e 31 – Coleta de amostras de solo no ponto P4.	64
Figura 32 – Amostras coletadas armazenadas em recipientes individuais.	65
Figura 33 – Amostras coletadas armazenadas em recipientes individuais e caixa térmica para preservação da temperatura.	65
Figura 34 – Composição gravimétrica média dos RSU do município de Bugre.	69
Figura 35 – Perfil geotécnico.	70
Figura 36 – Profundidade do freático em relação à base das valas de resíduos.	71
Figura 37 – Curva granulométrica do solo.	73
Figura 38 – Temperaturas médias mensais no município de Bugre – MG.	74
Figura 39 – Precipitações médias mensais no município de Bugre – MG.	75
Figura 40 – Balanço Hídrico da área do depósito de resíduos de Bugre – MG.	76
Figura 41 – Matéria Orgânica no solo em diferentes profundidades.	81
Figura 42 – Potencial Hidrogeniônico nos pontos de amostragem, em diferentes profundidades.	83
Figura 43 – Nitrogênio amoniacal no solo em diferentes profundidades.	84
Figura 44 – Perfis de concentração de cádmio de acordo com a profundidade.	87
Figura 45 – Perfis de concentração de chumbo de acordo com a profundidade.	88
Figura 46 – Perfis de concentração de cromo total de acordo com a profundidade.	89
Figura 47 – Perfis de concentração de cobre de acordo com a profundidade.	90
Figura 48 – Perfis de concentração de ferro total de acordo com a profundidade.	91
Figura 49 – Perfis de concentração de manganês de acordo com a profundidade.	92
Figura 50 – Perfis de concentração de níquel de acordo com a profundidade.	94
Figura 51 – Perfis de concentração de zinco de acordo com a profundidade.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de coeficiente per capita de produção de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana.....	12
Tabela 2 – Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil	13
Tabela 3 – Critérios para dispensa de impermeabilização complementar de ASPP	23
Tabela 4 – Características mais prováveis dos lixiviados de aterros brasileiros	35
Tabela 5 – Valores orientadores para solos no Estado de Minas Gerais	38
Tabela 6 – Pontos de coleta de amostras de solo para ensaios químicos	60
Tabela 7 – Composição gravimétrica dos RSU do município de Bugre – MG.....	68
Tabela 8 – Composição gravimétrica média dos RSU do município de Bugre.....	68
Tabela 9 – Quantidade média diária de resíduos sólidos de Bugre – MG.....	70
Tabela 10 – Resultados dos ensaios de permeabilidade <i>in situ</i>	72
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo.....	72
Tabela 12 – Temperaturas médias mensais no município de Bugre – MG.	74
Tabela 13 – Precipitações médias mensais no município de Bugre – MG.....	75
Tabela 14 – Fatores de análise da dispensa de impermeabilização complementar.....	78
Tabela 15 – Conjugação dos fatores para dispensa de impermeabilização complementar .	78
Tabela 16 – Resultados dos ensaios químicos do solo	80
Tabela 17 – Quantitativo das características das análises realizadas no solo	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos pela ABNT – NBR 10004.....	7
Quadro 2 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à degradabilidade	9
Quadro 3 – Comparativo das recomendações para escolha de área de aterros sanitários .	27
Quadro 4 – Comparativo das recomendações para projetos e operação de aterros sanitários	28
Quadro 5 – Alguns íons encontrados nos lixiviados e possíveis origens	34
Quadro 6 – Especificações dos ensaios de caracterização do solo	58
Quadro 7 – Métodos analíticos utilizados para análise de qualidade do solo.....	66
Quadro 8 – Critérios de definição de parâmetros para o Método de Balanço Hídrico Thornthwaite-Mather.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Al – Alumínio
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
As – Arsênio
ASPP – Aterro Sanitário de Pequeno Porte
B – Boro
Ba – Bário
BTEX – Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno e Xileno
Ca – Cálcio
Cd – Cádmiio
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH₄ - Metano
Cl⁻ – Cloretos
Co – Cobalto
CO₂ – Dióxido de Carbono
CO₃²⁻ – Carbonato
CONDER – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
COT – Carbono Orgânico Total
COV – Compostos Orgânicos Voláteis
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cr – Cromo
Cu – Cobre
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EPA – Environmental Protection Agency
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
Fe – Ferro

Hg – Mercúrio
HELP – Hydrologic Evaluation of Landfill Performance
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
K - Potássio
Li – Lítio
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
LQ – Limite de Quantificação
Mg – Magnésio
Mn – Manganês
MO – Matéria Orgânica
Na – Sódio
NH₃ – Amônia
NH₄⁺ – Amônio
Ni – Níquel
P – Fósforo
Pb – Chumbo
pH – Potencial Hidrogeniônico
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PRG – Preliminary Remediation Goal
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
S – Enxofre
S²⁻ – Sulfeto
SVOC – Compostos Orgânicos Semi-Voláteis
Se – Selênio
SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO₄²⁻ – Sulfato
SPT – Standard Penetration Test
VI – Valor de Investigação
VP – Valor de Prevenção
VRQ – Valor de Referência de Qualidade
Zn – Zinco

RESUMO

LANZA, Vera Christina Vaz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2012. **Avaliação da ocorrência de contaminação por lixiviados no depósito de resíduos sólidos urbanos do município de Bugre – MG.** Orientador: Roberto Francisco de Azevedo. Coorientadores: Izabel Christina d’Almeida Duarte de Azevedo e Eduardo Antônio Gomes Marques.

A norma técnica de aterros sanitários de pequeno porte, aprovada recentemente no Brasil, estabelece que, quando conjugados fatores como coeficiente de permeabilidade do solo local, profundidade do freático e fração orgânica dos resíduos aterrados, o excedente hídrico não superar valores pré-determinados, a construção do sistema de impermeabilização de base poderá ser dispensada. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a ocorrência de contaminação por lixiviados no depósito de resíduos sólidos urbanos do município de Bugre – MG, construído de acordo com as diretrizes estabelecidas pela supracitada norma técnica. Foram realizadas análises geotécnicas constituídas por sondagens à percussão, ensaios de infiltração, granulometria conjunta e limites de Atterberg. Realizaram-se, também, a caracterização gravimétrica dos resíduos e o balanço hídrico para determinação do excedente hídrico. Foram coletadas amostras de solo abaixo das valas de disposição de resíduos, em diferentes profundidades, para análise dos parâmetros pH, carbono orgânico total, nitrogênio amoniacal, coliformes fecais, coliformes totais, arsênio, cádmio, cobre, cromo total, chumbo, ferro total, manganês, mercúrio, níquel e zinco. Os resultados foram comparados aos valores orientadores de qualidade do solo estabelecidos na legislação vigente. Concluiu-se, de uma maneira geral, que a qualidade do solo da área de estudo foi alterada pela passagem dos lixiviados, uma vez que várias amostras apresentaram concentrações superiores aos valores encontrados para o solo que não teve contato com os resíduos e seus efluentes. No entanto, a alteração da qualidade do solo não caracterizou uma contaminação da área, visto que somente uma amostra detectou concentração de cádmio superior ao valor de investigação estabelecido na legislação, o que não se confirmou com o aumento da profundidade.

ABSTRACT

LANZA, Vera Christina Vaz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2012. **Evaluation of the occurrence of contamination by leachates from the city's landfill of solid waste in Bugre – MG, Brazil.** Advisor: Roberto Francisco de Azevedo. Co-advisors: Izabel Christina d'Almeida Duarte de Azevedo and Eduardo Antonio Gomes Marques.

The technical normative standards for small landfills, recently approved in Brazil, states that, when combined factors such as permeability coefficient of the local soil, water table depth and the organic fraction of waste landfilled, the surplus water not surpassing predetermined values, the construction of the waterproofing system base can be exempted. This research aimed to evaluate the occurrence of contamination by leachates in the solid waste deposit of the city of Bugre - MG, which has been recently built according to the guidelines established by the aforementioned technical standards. Geotechnical analyzes were performed consisting of percussion soundings, infiltration tests, combined granulometry and Atterberg limits. surveys consist of percussion, infiltration tests, grading joint and Atterberg limits. There were also a gravimetric characterization of waste and water balance for the determination of water surplus. Samples were collected from soil below the waste disposal trenches at different depths for analysis of pH, total organic carbon, ammonia nitrogen, fecal coliform, total coliform, arsenic, cadmium, copper, total chromium, lead, total iron, manganese, mercury, nickel and zinc. The results were compared to the guiding values for soil quality established by current laws and norms. It is concluded, in general, that the soil quality study area was altered by the passage of the leachates, since various samples had concentrations greater than those found for the soil which had no contact with the residues and their effluents. However, the change in soil quality has not characterized the contamination of the area, since only one sample detected cadmium concentration higher than the value of Investigation established by legislation, which was not confirmed with increasing depth.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O constante crescimento das populações e sua concentração em centros urbanos, a industrialização, a melhoria no poder aquisitivo, de uma forma geral, associados à disseminação da cultura de rápida obsolescência dos produtos vêm contribuindo para a acelerada geração de grandes volumes de resíduos, que exigem estruturas cada vez mais sofisticadas para o seu gerenciamento.

A adoção de tecnologias apropriadas para a destinação e tratamento dos resíduos sólidos urbanos é um grande desafio da sociedade moderna, isso porque demanda, na sua grande maioria, áreas extensas de terrenos próximos aos centros urbanos, mão de obra especializada e investimentos de capital para sua construção e manutenção.

Por outro lado, a adoção de soluções inadequadas como os lixões, faz com que se agravem efeitos indesejáveis como os riscos de contaminação do solo, do ar e da água, além da proliferação de vetores de doenças, uma vez que nesses locais os resíduos permanecem a céu aberto, sem a adoção de critérios técnicos para minimização dos impactos ambientais.

A maioria dos municípios brasileiros dispõe de uma coleta regular dentro das áreas urbanas, serviço esse que é de fácil controle da população, visto que sua não realização gera muitos transtornos à cidade e a seus moradores. Porém, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na maioria das vezes é colocada em segundo plano. De acordo com os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada em 2008 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 50,80% dos municípios brasileiros dispõem seus resíduos sólidos em lixões (IBGE, 2011).

Os municípios de pequeno porte, ou seja, municípios com população urbana de até 20 mil habitantes são responsáveis por 68,5% dos resíduos gerados no país e representam 80% do total de municípios brasileiros. Ainda de acordo com a PNSB, 52% desses municípios destinam seus resíduos sólidos para lixões (IBGE, 2011).

No atual estágio de desenvolvimento, os aterros sanitários podem ser considerados elementos de importância fundamental para o gerenciamento dos resíduos sólidos, quando implantados, operados e monitorados adequadamente. A tecnologia de projeto para esses aterros incorpora uma série de estruturas com o objetivo de assegurar o impacto ambiental mínimo e a proteção dos recursos naturais.

Durante muito tempo, as normas brasileiras que estabelecem critérios para projetos, construção e operação de aterros sanitários trataram de forma abrangente os aterros de resíduos, sem considerar que os municípios de pequena população podem apresentar contextos ambientais e econômicos diversificados em um país de dimensões continentais como o Brasil.

Em Minas Gerais, 724 municípios apresentam população urbana menor do que 20 mil habitantes, representando cerca de 85% dos municípios mineiros que, muitas vezes, enfrentam problemas de restrição orçamentária, o que dificulta ainda mais a adoção de tecnologias tradicionais e adequadas para tratamento dos seus resíduos sólidos (IBGE, 2010).

Diversas são as condições que favorecem este cenário para municípios com pequena população, destacando-se a escassez de recursos financeiros para a construção de aterros sanitários com as exigências das normas técnicas e legislação ambiental, a ausência de equipamentos para sua operação, além de carência em capacitação técnica e gerencial de seus funcionários.

Na tentativa de reverter este cenário nos municípios de pequeno porte, em 2010 foi aprovada a norma NBR 15849 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece as diretrizes para projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte.

A aplicação dessa norma tem sido objeto de discussão, principalmente em relação aos critérios sugeridos para a dispensa de impermeabilização complementar em aterros sanitários de pequeno porte, que conjugam fatores como a fração orgânica dos resíduos a serem dispostos no local, coeficiente de permeabilidade do solo, profundidade do freático e excedente hídrico.

Este trabalho caracteriza-se por uma investigação ambiental em um sítio de disposição de resíduos de um município de pequeno porte, iniciando pela caracterização da área, seguida da composição gravimétrica dos resíduos, da

descrição dos procedimentos adotados na operação do aterro, além da realização de análises geotécnicas e físico-químicas para verificar a ocorrência de contaminação do solo por líquidos lixiviados.

A relevância maior desta pesquisa está em avaliar se a dispensa da impermeabilização complementar nas condições sugeridas pela supracitada norma da ABNT, não compromete a qualidade do solo na base de um aterro sanitário de pequeno porte, apresentando riscos potenciais à saúde humana.

1.2 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar a ocorrência de contaminação por líquidos lixiviados no depósito de resíduos sólidos urbanos do município de Bugre – MG, com base em parâmetros físico-químicos que caracterizem alteração prejudicial do solo natural sob a base do aterro, que possa causar danos à saúde humana.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar o enquadramento do depósito de resíduos como aterro sanitário de pequeno porte, conforme estabelecido na NBR 15849 (ABNT, 2010);
- Avaliar se as condições estabelecidas na citada NBR para dispensa de impermeabilização da base do aterro sanitário foram obedecidas;
- Analisar a qualidade do solo sob a base do aterro por meio de análises físico-químicas e comparar os resultados com os valores limitadores do solo estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº 420/2009 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e pela Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) / Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) Nº 02/2010 que estabelece diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.

1.3 Organização

A dissertação encontra-se dividida em mais quatro capítulos, além deste de Introdução.

No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica onde são abordados temas que direta ou indiretamente auxiliam a compreensão do assunto principal da dissertação, incluindo-se alguns conceitos sobre a classificação e as características dos resíduos sólidos urbanos, as principais técnicas utilizadas no Brasil para disposição final dos resíduos, as prescrições técnicas das normas de aterros sanitários, as recomendações da norma brasileira de aterros sanitários de pequeno porte, as principais características dos lixiviados, além de alguns trabalhos relacionados com o tema desta pesquisa.

No Capítulo 3, Materiais e Métodos, descrevem-se a área de estudo, os materiais utilizados, os ensaios executados e as análises realizadas.

No Capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os resultados dos ensaios e das análises.

Por fim, no Capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões do trabalho, bem como as sugestões para continuação da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, descrevem-se os principais aspectos relativos aos resíduos sólidos, as principais técnicas utilizadas no Brasil para disposição final, as prescrições técnicas das normas de aterros sanitários, inclusive para municípios de pequeno porte, além das principais características dos lixiviados.

Por fim, são apresentados alguns trabalhos correlacionados com o tema desta dissertação.

2.1 Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são os restos das atividades humanas considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis (IPT/CEMPRE, 2002).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser definidos como:

(...) resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e 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 esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conta ainda com diversas outras normas que devem ser observadas, relacionadas à classificação, gerenciamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, assim como se exige a observação das Resoluções do CONAMA e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, dentre outras.

Os resíduos sólidos apresentam grande diversidade e se originam das mais variadas atividades humanas e ambientes urbanos.

Pode-se exemplificar como diferentes constituintes dos resíduos, julgados sem utilidade e descartados, restos de frutas, legumes e alimentos em geral, plásticos, metais diversos, vidros, papéis, materiais provenientes da limpeza de locais públicos, materiais cerâmicos, ossos, couro, trapos, terra, pedra, material séptico ou contaminado (provenientes de serviços de saúde), animais mortos e restos de construção civil, para citar os mais importantes.

2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Em função da variedade de constituintes com características diferenciadas que compõem os resíduos sólidos, são encontradas diversas classificações, de acordo com objetivos específicos.

As decisões técnicas e econômicas para o gerenciamento dos resíduos sólidos devem estar fundamentadas em sua classificação, que condiciona ou não a necessidade de adoção de medidas especiais.

2.1.1.1 Classificação de acordo com a ABNT

A ABNT, em sua norma NBR 10004 (2004), classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Os resíduos são divididos em: a) Resíduos Classe I – Perigosos; b) Resíduos Classe II – Não perigosos, subdivididos em Resíduos Classe II A – Não inertes e Resíduos Classe II B – Inertes, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos pela ABNT – NBR 10004

Classes	Características
CLASSE I RESÍDUOS PERIGOSOS	<p>Aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, apresentam periculosidade, ou inflamabilidade, ou corrosividade, ou reatividade, ou toxicidade, ou, ainda, patogenicidade, podendo representar:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;b) Risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. <p>Exemplos: resíduos de atividades industriais contendo solventes, metais pesados e outras substâncias nocivas.</p>
CLASSE II RESÍDUOS NÃO PERIGOSOS	<p>II A NÃO INERTES</p> <p>Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou resíduos classe II B – Inertes e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.</p> <p>Exemplos: resíduos domiciliares, comerciais e públicos constituídos de restos de alimentos, papel, plástico, madeira, metais e outros.</p> <p>II B INERTES</p> <p>Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007 (2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.</p> <p>Exemplos: resíduos de construção civil, cacos de vidro, entre outros.</p>

Fonte: NBR 10004 (ABNT, 2004).

2.1.1.2 Classificação quanto à fonte geradora

Segundo a Lei Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, têm-se a seguinte classificação quanto à origem:

a) resíduos domiciliares: aqueles provenientes de atividades domésticas em residências urbanas;

b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

c) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados em atividades comerciais, excetuados os de limpeza urbana, os de serviços

públicos de saneamento, os de serviços de saúde, os resíduos da construção civil e os resíduos de serviços de transporte;

d) resíduos dos serviços públicos de saneamento: os gerados nessas atividades, excetuados os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;

e) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

f) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

g) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

h) resíduos agrossilvopastoris: os originários das atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

i) resíduos de serviços de transportes: os gerados em portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

j) resíduos de mineração: os provenientes de atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Para Philippi Jr. (2005), a classificação quanto à origem é utilizada principalmente para definir os tipos de resíduos e os riscos a eles associados, bem como as responsabilidades dos geradores.

2.1.1.3 Classificação quanto ao grau de degradabilidade

Considerando a sua degradabilidade, os resíduos sólidos podem ser classificados (BIDONE, POVINELLI, 1999) em facilmente degradáveis, moderadamente degradáveis, dificilmente degradáveis e não degradáveis, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à degradabilidade

Classificação	Características
FACILMENTE DEGRADÁVEIS	Matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana. Exemplos: restos de comida, resíduos de podas e capinas, animais mortos, ente outros.
MODERADAMENTE DEGRADÁVEIS	A biodegradação ocorre em um período de duas a quatro semanas. Exemplos: papéis, papelão e outros materiais celulósicos.
DIFICILMENTE DEGRADÁVEIS	A biodegradação pode ser considerada nula ou desprezível. Exemplos: pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira.
NÃO DEGRADÁVEIS	Aqueles resíduos resistentes a biodegradação. Exemplos: vidros, metais, plásticos, pedras, terra, entre outros.

Fonte: Adaptado de Bidone e Povinelli (1999).

2.1.2 Características dos Resíduos Sólidos

As características quali-quantitativas dos resíduos sólidos podem variar em função de vários aspectos, tais como os sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que diferenciam as comunidades entre si (CASTILHOS JR. et al., 2003).

2.1.2.1 Geração de Resíduos Sólidos

A geração de resíduos sólidos é resultado, entre outros fatores, dos padrões de consumo, dos reflexos do modo de vida adotado em cada comunidade e das atividades econômicas ali realizadas. A quantidade de resíduos sólidos gerada por habitante é maior nas cidades maiores, assim como nas regiões e países mais desenvolvidos. Isso se deve, entre outros fatores, à maior circulação de mercadorias, ao maior consumo de embalagens descartáveis, à rápida obsolescência de objetos e aos avanços cada vez mais rápidos das novidades tecnológicas (PHILIPPI JR., 2005).

A fase inicial em que se estuda e analisa a quantidade e a composição dos

resíduos, assim como suas variações semanais, pode ser considerada uma das mais importantes etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos. Dada a heterogeneidade dos resíduos sólidos, em especial os domiciliares, esta etapa inicial é de grande importância para o desenvolvimento das etapas seguintes do gerenciamento, tais como coleta, transporte e destinação final (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

A quantificação da geração de resíduos sólidos é baseada em índices relacionados ao número de habitantes atendidos pelo sistema de limpeza urbana e ao volume de resíduos gerados. A quantidade de resíduos sólidos gerada por habitante em um período de tempo específico, geralmente um dia, é denominada produção *per capita* e é expressa em kg/habitante.dia (BIDONE, POVINELLI, 1999).

A produção *per capita* de resíduos sólidos é bastante variável, dependendo das condições locais, da população, da renda da comunidade, da época do ano e até de condições climáticas. A Figura 1 mostra a distribuição da geração de resíduos domiciliares de acordo com a renda familiar média de várias regiões da cidade de São Paulo. Observa-se que, apesar dos dados no gráfico apresentarem uma certa dispersão, pode-se considerar que com o aumento da renda na região, ocorre o aumento da geração de resíduos (PHILIPPI JR. et al., 2004).

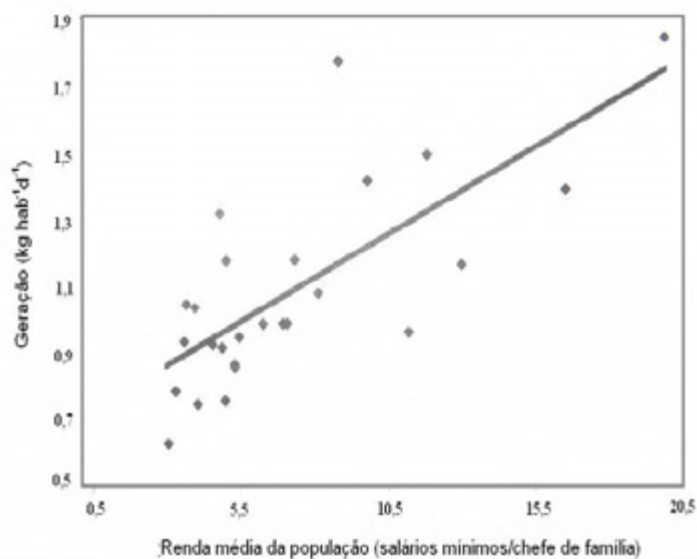


Figura 1 – Distribuição da geração de resíduos de acordo com a renda familiar nas regiões administrativas de São Paulo.

Fonte: Tiveron (2001) apud Philippi Jr. et al. (2004).

Estudos realizados por Baptista (2001) para caracterização física dos resíduos sólidos urbanos de Vitória (ES) também identificaram que a geração *per capita* sofre influência das características socioeconômicas da população, verificando-se uma diferença estatisticamente significativa nas diferentes classes sociais pesquisadas. Rocha (2005) observou comportamento semelhante no que concerne à geração *per capita* de resíduos sólidos em função da classe social, ou seja, quanto maior o poder econômico da população, maior a geração *per capita* de resíduos sólidos.

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) aponta que o Brasil produziu quase 62 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2011, o que significa uma média *per capita* de 0,382 kg/habitantexdia. Este volume é 1,8% superior ao registrado em 2010 e duas vezes superior ao índice de crescimento populacional urbano apurado no mesmo período (ABRELPE, 2011).

O tamanho da população é outro fator que pode apresentar relação com a taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos. Por meio de pesagens realizadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) em diversos municípios do Estado de São Paulo, foi possível concluir que se pode estimar a quantidade *per capita* de uma região em função da população do município. A Tabela 1 mostra os valores *per capita* da geração de resíduos sólidos baseada na população urbana.

Tabela 1 – Valores de coeficiente per capita de produção de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana

População (em milhares de habitantes)	Produção per capita de resíduos (kg/hab.xdia)
Até 100	0,4
100 a 200	0,5
200 a 500	0,6
Maior que 500	0,7

Fonte: CETESB (2001) apud Philippi Jr. et al. (2004).

É importante ressaltar que na pesquisa realizada pela CETESB foram considerados apenas os resíduos de origem domiciliar, ou seja, aqueles gerados nas residências e no pequeno comércio, não sendo contabilizados os resíduos gerados nas indústrias, na limpeza de vias públicas, em podas, na limpeza de córregos e outros resíduos que, frequentemente, são enviados para os aterros sob uma classificação única de resíduos sólidos.

A variação da geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos de acordo com o tamanho da cidade e sua população também é descrita por IBAM (2001), que recomenda considerar para uma cidade pequena, com população urbana até 30 mil habitantes, uma geração *per capita* de 0,5 kg/hab.xdia; para municípios entre 30 mil e 500 mil habitantes, uma geração de resíduos em torno de 0,5 à 0,8 kg/hab.xdia; para municípios entre 500 mil e 5 milhões de habitantes, uma geração de resíduos de 0,8 à 1,0 kg/hab.xdia; e por fim, para uma megalópole, população acima de 5 milhões, uma geração *per capita* acima de 1,0 kg/hab.xdia.

2.1.2.2 Características Físicas, Químicas e Biológicas

Dentro de um mesmo país, os resíduos podem apresentar, em sua composição, variações entre as regiões e cidades e, dentro de uma mesma cidade, variações com relação às áreas específicas de geração (comercial, industrial e residencial) e às classes sociais. Nos municípios de pequeno porte, essa variação não é tão expressiva, uma vez que a coleta é realizada simultaneamente em várias áreas, utilizando-se o mesmo veículo coletor (PEREIRA NETO, 2007).

A composição física (composição qualitativa) dos resíduos sólidos apresenta o percentual, geralmente em peso, das várias frações dos materiais constituintes dos

resíduos sólidos urbanos, normalmente distribuídos em matéria orgânica, papel, papelão, trapos, couro, plástico rígido, plástico filme, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro, borracha, madeira e outros. O conhecimento dessa composição é essencial para a definição das providências a serem tomadas com os resíduos, desde sua coleta, até seu destino final, de uma forma sanitária economicamente viável, considerando que cada comunidade gera resíduos diversos (BIDONE, POVINELLI, 1999).

Para definição dos componentes físicos dos resíduos sólidos de uma determinada região, realiza-se a composição gravimétrica, que expressa o percentual de cada componente presente nos resíduos em relação ao peso total de uma amostra estudada. A maioria dos métodos utilizados para determinar a composição gravimétrica dos resíduos baseia-se no quarteamento, que envolve a seleção, mistura e divisão de amostras dos resíduos, conforme detalhado na NBR 10007 (ABNT, 2004).

No Brasil, em geral, a matéria orgânica representa o maior percentual na composição dos resíduos sólidos urbanos (superior a 50%), seguido pelo papel e papelão, plásticos, metais e vidros (BARROS et al., 1995).

A composição média dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil

Tipo de resíduo	Percentual
Matéria Orgânica	64,00%
Papel e Papelão	13,50%
Plástico (rígido e maleável)	4,70%
Vidro	1,50%
Metais	1,50%
Diversos (couro, trapo, cerâmica, madeira, etc.)	14,80%

Fonte: Adaptado de Pereira Neto (2007).

Estudos gravimétricos realizados para subsidiar a elaboração do Plano Regional de Gestão Integrada da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais (MYR, 2009) identificaram que os resíduos sólidos urbanos na região apresentam, em média, 33% de recicláveis, 56% de matéria orgânica e 11% de rejeitos. Essa pesquisa,

realizada a partir da composição gravimétrica em 18 municípios, apontou ainda que os municípios com população urbana de até 100.000 habitantes apresentaram um percentual médio de matéria orgânica (46,15%) menor do que a média nacional apontada por Pereira Neto (2007).

Já a composição química dos resíduos sólidos, está relacionada, principalmente, aos componentes orgânicos englobando, principalmente, a quantificação de parâmetros como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio e enxofre, que compõem o elenco básico de macro e micronutrientes, a relação C/N, o pH e as concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis (BIDONE, POVINELLI, 1999).

Os aspectos microbiológicos dos resíduos sólidos também estão relacionados à fração orgânica que os compõem, que pode ser metabolizada por vários microrganismos decompositores como fungos, bactérias e actinomicetos, cujo desenvolvimento dependerá das condições ambientais existentes. Há também a possibilidade da presença de espécies patogênicas como vermes, bactérias, vírus e protozoários, que causam agravos à saúde humana (CASTILHOS JR. et al., 2003).

Para Bidone e Povinelli (1999), os processos de decomposição são, em essência, processos de nutrição e respiração dos microrganismos (aeróbia, em presença de oxigênio livre e anaeróbia, na ausência deste). A decomposição por processo aeróbio é muito mais rápida, resultando em subprodutos como gás carbônico, sais minerais de nitrogênio, fósforo, potássio e outros macro ou micronutrientes solúveis em água. Por sua vez, a decomposição anaeróbia é lenta, gerando subprodutos em estágios intermediários de degradação, como a amônia e ácidos orgânicos, que são nocivos e contaminantes, além dos gases como o gás sulfídrico, que confere mau cheiro, efeito estético indesejado e toxicidade.

2.2 Situação da Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos

A situação da disposição final dos resíduos sólidos no Brasil tem melhorado, mas a minoria dos municípios dispõe de técnicas adequadas. Na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada pelo IBGE em 2000, observou-se que os vazadouros a céu aberto constituíram o destino final dos resíduos sólidos em 72,3% dos municípios brasileiros. Já na PNSB realizada em 2008, observou-se que 50,8%

dos municípios brasileiros encaminharam seus resíduos sólidos para lixões (IBGE, 2008). A região Sudeste apresenta, segundo a pesquisa, um dos menores percentuais (18,7%) de uso desses vazadouros como forma de disposição final de resíduos. Paralelamente, registrou-se expansão na adoção dos aterros sanitários como uma das soluções adequadas para a gestão de resíduos sólidos urbanos que passou de 17,3% dos municípios brasileiros, em 2000, para 27,7%, em 2008.

No Estado de Minas Gerais, até 2002, cerca de 96% dos municípios depositavam seus resíduos sólidos em lixões (BRUSCHI, 2011). A partir de 2002, a situação começou a mudar com a implementação de uma política de eliminação dos lixões e convocação ao licenciamento ambiental de sistemas tecnicamente adequados de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, por meio da Deliberação Normativa Nº. 52/2001 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Em dezembro de 2011, o Programa Minas sem Lixões contabilizou 278 municípios, 32,6% do total do estado, que ainda utilizavam lixões para disposição de resíduos sólidos urbanos, redução significativa quando comparado ao percentual de 2002 (FEAM, 2011).

A predominância de formas inadequadas de destinação final pode ser explicada por vários fatores, tais como: falta de capacitação técnico-administrativa, orçamento insuficiente, pouca conscientização da população quanto aos problemas ambientais ou mesmo falta de estrutura organizacional das instituições públicas (CASTILHOS JR. et al., 2003). O maior desafio está em encontrar soluções para os municípios de pequeno porte, devido à menor disponibilidade de recursos financeiros, recursos humanos especializados e critérios técnicos, econômicos e sociais para tratar a questão dos resíduos sólidos urbanos.

Algumas alternativas mais simples de aterros sanitários vêm sendo propostas com o objetivo de reverter o cenário nos municípios de pequeno porte, tais como: Aterros Sanitários em Valas, pela CETESB (1997) em São Paulo, Aterros Sanitários Simplificados, pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER (2002) e Aterros Sustentáveis para Municípios de Pequeno Porte, pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB (CASTILHOS JR. et al., 2003), desenvolvido em nível nacional.

2.3 Técnicas de Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos

No Brasil, os locais utilizados para disposição final de resíduos sólidos urbanos mais comuns são os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários, sendo que somente o último caso é uma alternativa adequada para descarte final, uma vez que é fundamentado em técnicas de engenharia e normas específicas, permitindo o confinamento seguro dos resíduos, em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Os lixões são depósitos de resíduos sólidos a céu aberto, caracterizados pela simples descarga dos resíduos sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ambiental. Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública e ao meio ambiente, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, ratos, entre outros), geração de odores desagradáveis e, principalmente, poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelos lixiviados (FEAM, 2007).

Essa forma de disposição (Figura 2) é considerada, sob todos os aspectos, a pior alternativa de disposição de resíduos sólidos, não havendo qualquer controle dos resíduos que são encaminhados para o local (BIDONE e POVINELLI, 1999).



Figura 2 – Lixão.

Fonte: Fundação Israel Pinheiro, 2010.

O aterro controlado (Figura 3), embora seja normatizado pela ABNT por meio da NBR 8849 (1995), é uma técnica utilizada para confinar os resíduos sólidos urbanos sem poluir o ambiente externo, porém sem a implementação de elementos de proteção ambiental, não havendo impermeabilização de base, nem sistema de drenagem e tratamento dos lixiviados, podendo produzir poluição localizada. Os aterros controlados são considerados como mais uma das alternativas adotadas pelos municípios e, em Minas Gerais, são tolerados como forma paliativa de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios com população urbana inferior a 20.000 habitantes, e devem ser substituídos por solução técnica devidamente regularizada pelo COPAM. Cabe destacar que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, estabelece que em até 4 (quatro) anos após a data de sua publicação, todos os municípios brasileiros deverão ter implantado sistema ambientalmente adequado de disposição final de resíduos.



Figura 3 – Aterro Controlado.
Fonte: Fundação Israel Pinheiro, 2010.

Já o aterro sanitário, pode ser definido como uma forma de disposição de resíduos no solo, particularmente resíduos sólidos urbanos, que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais, permite o confinamento seguro,

garantindo o controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública, minimizando os impactos ambientais (IPT/CEMPRE, 2002).

Bidone e Povinelli (1999) definem aterro sanitário (Figura 4) como uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimo-os com material argiloso selecionado e compactado em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Esses critérios de engenharia mencionados materializam-se na impermeabilização prévia do solo e em projetos de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento das águas de chuva, de drenagem de fundo para coleta de lixiviado, de sistema de tratamento de lixiviado drenado, além de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica.



Figura 4 – Aterro Sanitário.

Fonte: Fundação Israel Pinheiro, 2010.

2.4 Recomendações das normas técnicas de aterros sanitários

A NBR 8419 (1992) e a NBR 13896 (1997) da ABNT estabelecem os critérios para escolha de área, elaboração de projetos, implantação e operação de aterros sanitários, descrevendo as estruturas e equipamentos obrigatórios que devem ser

implantados com o objetivo de proteger os recursos naturais de possíveis impactos ambientais.

A escolha de locais para implantação de aterros sanitários tem influência direta sobre os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes dessa implantação.

Para Boscov (2008), a seleção de uma área para disposição de resíduos deve ter como principais objetivos: garantir a segurança estrutural e ambiental do depósito em longo prazo; impedir a contaminação do ar, das águas superficiais e subterrâneas, do subsolo, fauna e flora locais; minimizar custos de transporte de resíduos, de desapropriação de terrenos e de desvalorização de propriedades no entorno; além de minimizar outros impactos sociais e econômicos.

Segundo a ABNT (1997), os aterros sanitários devem ser implantados em locais que possibilitem que o impacto ambiental de sua instalação seja minimizado, a aceitação da população seja maximizada, estejam de acordo com o zoneamento da região e possam ser utilizados por um longo espaço de tempo, recomendando-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. A ABNT recomenda ainda que o terreno esteja a uma distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais e de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água; tenha declividade máxima de 30% e que seu subsolo seja constituído de extenso e homogêneo depósito de solo argiloso, com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a 10^{-5} cm/s.

Além dessas condições, o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações em períodos de recorrência de 100 anos; entre o nível inferior do aterro e o mais alto nível do freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado; os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme a legislação local de uso de solo (ABNT, 1997).

Para a CETESB (1997) apud Boscov (2008), as seguintes características são desejáveis para o local de implantação de um aterro sanitário: condições topográficas adequadas; áreas de grandes dimensões; solo local predominantemente argiloso, homogêneo e impermeável, sem matacões, pedras e rochas aflorantes; área não sujeita a inundações; nível freático sem flutuações excessivas e situado o mais distante possível da superfície do terreno (distância mínima de 3,0 m para solos argilosos e distâncias maiores para solos arenosos);

distância mínima de 200 m de qualquer corpo d'água, 500 m de residências isoladas e 2 km de áreas urbanas; direção dos ventos predominantes que não provoque o transporte de poeira e odores desagradáveis em direção aos núcleos habitacionais; e proximidade dos centros geradores de resíduos.

Embora consistindo numa técnica simples, os aterros sanitários exigem cuidados especiais, e procedimentos específicos devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento (FEAM, 2007).

Em relação às estruturas de proteção ambiental, os projetos de aterros sanitários devem contemplar, de acordo com a ABNT (1992): sistema de drenagem das águas superficiais que tendam a escoar para a área do aterro sanitário, bem como das águas que se precipitarem diretamente sobre essa área; sistema de drenagem e remoção dos lixiviados que percolam através dos resíduos dispostos; sistema de tratamento dos líquidos lixiviados; impermeabilização inferior da base e/ou superior do aterro sanitário; sistema para drenagem de gases, integrado ao sistema de drenagem de lixiviados; sistema de monitoramento das águas superficiais e das águas subterrâneas, constituído por, no mínimo, 4 poços de monitoramento, sendo 1 a montante e 3 a jusante da área do aterro sanitário; sistema de monitoramento geotécnico, de gases e efluentes; compactação dos resíduos e recobrimento diário com uma camada de material inerte.

A impermeabilização do aterro sanitário é definida pela NBR 13896 (1997) como a deposição de camadas de materiais artificiais ou naturais, que impeça ou reduza significativamente a infiltração no solo de líquidos que percolam através da massa de resíduos. Essa norma recomenda que o local de implantação do aterro sanitário tenha um extenso e homogêneo depósito natural de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.

Cabe destacar que há muitos fatores que dificultam a instalação de aterros sanitários: os custos de implantação e operação são relativamente altos, principalmente pela exigência de construção de barreiras impermeabilizantes pelos órgãos de controle ambiental. Não existem instrumentos econômicos suficientemente consolidados, tais como a cobrança de taxas ou tarifas que viabilizem os recursos necessários para implantá-los e operá-los adequadamente. Acrescenta-se a esses fatores, a necessidade de técnicos especializados e de

equipamentos exclusivos e específicos para sua operação, que oneram ainda mais os seus custos.

Apesar da disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ser considerada uma forma adequada e mundialmente aceita, há uma tendência mundial em reduzir o volume de resíduos aterrados, devido à escassez cada vez maior de áreas para implantação de aterros sanitários, além do descontentamento da população vizinha ao aterro, e ao risco de contaminação do meio ambiente.

2.4.1 Norma técnica para municípios de pequeno porte

Embora o aterro sanitário ainda seja a técnica mais recomendada no Brasil, a maior parte dos municípios de pequeno porte não possui condições técnicas e financeiras para utilizá-lo. Outro aspecto a ser considerado é que nesses municípios a geração de resíduos é pequena, influenciada pelo menor padrão de consumo, pela menor geração *per capita* e pelo número de habitantes.

Até 2010, as normas brasileiras trataram de forma abrangente os aterros de resíduos, sem considerar que os municípios de pequena população apresentam características ambientais e econômicas diferentes, nas diversas regiões do país.

A Resolução do CONAMA Nº. 404, de 11 de novembro de 2008, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de aterros sanitários para municípios de pequeno porte, ressalta a dificuldade de acesso destes municípios às tecnologias adequadas de disposição final, porém não contempla detalhes construtivos ou operacionais que permitam sua flexibilidade, pois este nível de aprofundamento extrapola o seu papel.

Considerando as dificuldades relatadas para os municípios de pequeno porte, a norma NBR 15849 da ABNT foi aprovada em 2010, estabelecendo diretrizes para projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte.

De acordo com a supracitada norma, são considerados aterros sanitários de pequeno porte (ASPP) aqueles concebidos para disposição no solo de até 20 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos Classe IIA. Esta norma considerou o conceito básico de que, no aterramento de resíduos, o maior potencial de impactos ambientais é decorrente da junção de quesitos como grande presença de resíduos

orgânicos, baixa impermeabilidade do solo de base, elevado excedente hídrico e pequena profundidade do freático, introduzindo parâmetros para que, diante da diversidade brasileira, estes aspectos possam ser considerados no projeto de engenharia. Com isso, a concepção do sistema poderá ser simplificada, considerando-se os condicionantes físicos locais, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT, 2010).

No caso dos ASPP, a escolha da área deve ser considerada parte significativa do caminho para um bom projeto. A minimização da geração de resíduos, o manejo diferenciado de cada componente dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com suas características, e a redução dos componentes orgânicos também devem ser considerados no projeto do ASPP (ABNT, 2010).

Ainda segundo a ABNT (2010), os ASPP devem ser implantados em locais que possibilitem a minimização do impacto ambiental e sanitário de sua instalação, operação e encerramento, em consonância com a legislação ambiental; a aceitação da população; a minimização dos custos envolvidos; o atendimento à legislação de uso e ocupação do solo e demais normas pertinentes; além de uma vida útil superior a 15 anos.

Para esses aterros de municípios de pequeno porte, a ABNT recomenda ainda que sejam observados os seguintes fatores na avaliação da área a ser utilizada: características das camadas de subsolo na base do aterro, recomendando-se a utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos ou argilo-siltosos); distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água; proximidade do freático em relação à base do aterro ou em seu entorno imediato; ocorrência de inundações, recomendando-se que as áreas com essa característica sejam evitadas; características topográficas que permitam soluções para o preenchimento do aterro sanitário, recomendando-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%; distância mínima de 500 m do limite da área útil do aterro sanitário a núcleos populacionais vizinhos.

Em relação aos elementos de proteção ambiental, a NBR 15849 (ABNT, 2010) recomenda que os aterros sanitários de pequeno porte contemplem os seguintes elementos de proteção ambiental: sistemas de manejo de águas pluviais compatíveis com a macrodrenagem local e que impeçam o acesso ao maciço do

aterro de águas precipitadas no entorno, além do carreamento de material sólido e líquidos percolados para fora da área do aterro; soluções para drenagem e tratamento dos lixiviados, sempre que houver impermeabilização complementar e nos casos em que a permeabilidade da camada de solo entre a base do aterro e o freático possibilitar o acúmulo de líquidos ou comprometer a estabilidade do maciço; sistema de drenagem dos gases quando a fração orgânica dos resíduos for significativa (maior do que 30%) e quando a altura final do maciço do aterro for maior do que 3 m; sistema de monitoramento de águas subterrâneas realizado a partir de amostras coletadas em um poço de monitoramento a montante e outros três a jusante do empreendimento. Esses poços poderão ser suprimidos, ou sua implementação poderá ser realizada sob outros critérios, desde que as condições locais permitirem e que devidamente justificado pelo projetista e autorizado pelo órgão de controle ambiental; sistema de impermeabilização complementar executado por meio de compactação com controle tecnológico de solo local ou importado, ou com aplicação de geossintético impermeabilizante, sempre que, quando conjugados os fatores fração orgânica dos resíduos, profundidade do freático e coeficiente de permeabilidade, o excedente hídrico superar os valores estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios para dispensa de impermeabilização complementar de ASPP

Limites máximos do excedente hídrico (mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar		Fração orgânica dos resíduos ≤ 30 %				Fração orgânica dos resíduos > 30 %			
		Profundidade do freático - n (m)				Profundidade do freático - n (m)			
		1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n ≤ 9	n ≥ 9	1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n ≤ 9	n ≥ 9
Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	$1 \times 10^{-6} < k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
	$1 \times 10^{-5} < k \leq 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

Fonte: Adaptado de ABNT (2010).

O excedente hídrico é a quantidade de água (em mm/ano) que percola através da camada de cobertura do aterro sanitário, atingindo a massa de resíduos e posteriormente chegando até a base do aterro. Segundo a ABNT (2010), para

consulta à Tabela 3, deve ser considerado o excedente hídrico definido pelo método do balanço hídrico.

2.4.1.1 Tipos de Aterros Sanitários de Pequeno Porte

Um dos problemas encontrados pelos municípios de pequeno porte, além dos escassos recursos financeiros para a construção de aterros sanitários é a disponibilidade de equipamentos para a sua operação, uma vez que os tratores de esteira, recomendados para compactação dos resíduos nos aterros, têm custo de aquisição e manutenção muito elevado (CETESB, 2005).

Considerando esse fator, a ABNT (2010) recomenda que os ASPP contemplem, preferencialmente, a técnica de operação em valas, de forma a oportunizar sua operação manual. Quando as condições de relevo ou a profundidade do freático forem fatores limitantes para a utilização do aterro em valas, a ABNT (2010) sugere outras concepções de operação, em trincheiras, em encosta ou em área, recomendando a adoção de critérios de proteção ambiental.

O ASPP em valas (Figura 5) é definido como uma instalação para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada (ABNT, 2010).



Figura 5 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em valas.
Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011.

Para a ABNT (2010) os ASPP em trincheiras se diferenciam dos aterros em valas, uma vez que as escavações não têm limitação de profundidade e largura, caracterizando-se pelo confinamento em apenas três lados, em que a operação necessariamente deve ser realizada mecanicamente (Figura 6).

Outra modalidade considerada pela ABNT (2010) é o ASPP em encosta, que caracteriza-se pela utilização de taludes preexistentes, usualmente implantado em áreas de ondulações ou depressões naturais e encostas de morros (Figura 7).



Figura 6 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em trincheira.
Fonte: Fundação Israel Pinheiro, 2011.

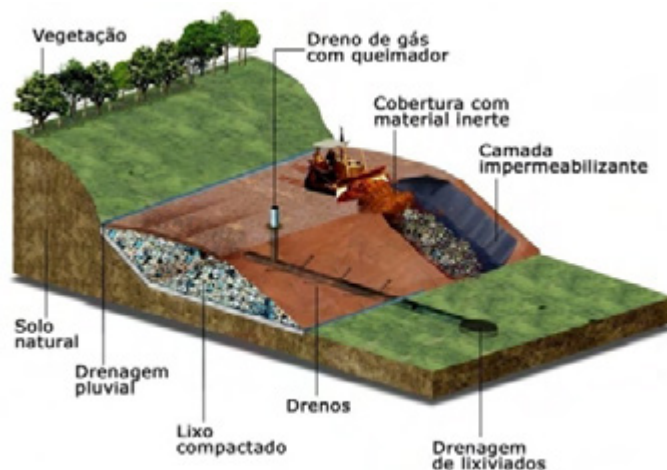


Figura 7 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em encosta.
Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011.

Já o ASPP em área, é definido pela ABNT (2010) como uma instalação construída para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, caracterizada pela disposição em áreas planas, acima da cota natural do terreno (Figura 8).



Figura 8 – Aterro Sanitário de Pequeno Porte em área.

Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011.

Embora a Figura 8 apresente o sistema de tratamento de lixiviados, é importante salientar que essa estrutura pode ser dispensada em um ASPP.

2.4.2 Comparativo entre as diretrizes das normas técnicas brasileiras

Apresenta-se, a seguir, um comparativo entre as prescrições das normas da ABNT de aterros sanitários (NBR 8419/1992 e NBR 13896/1997) e de aterros sanitários de pequeno porte (NBR 15849/2010).

Em relação aos critérios de escolha de área, observa-se que não foram realizadas alterações significativas na norma brasileira de ASPP, quando comparada às prescrições das normas de aterros sanitários.

O Quadro 3 apresenta os critérios recomendados pelas normas técnicas vigentes para escolha de área para implantação de aterros sanitários e ASPP.

Quadro 3 – Comparativo das recomendações para escolha de área de aterros sanitários

Critérios para escolha de área	NBR ABNT 15849/2010	NBR ABNT 13896/1997 e 8419/1992
Distância de curso d'água (m)	>200	> 200
Distância de núcleo populacional (m)	> 500	> 500
Declividade da área do empreendimento (%)	Entre 1 e 30%	Entre 1 e 30%
Vida útil	> 15 anos	> 10 anos
Permeabilidade do solo (cm/s)	Pouco permeáveis	$< 5 \times 10^{-5}$
Vias de acessos	Boas condições	Boas condições
Proximidade do freático em relação à base do aterro ou em seu entorno (m)	De acordo com tabela da NBR 15.849/2010	> 1,5
Áreas sujeitas a inundações	Não devem ser utilizadas	Não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos

Fonte: ABNT (1992, 1997, 2010).

As alterações mais significativas propostas pela norma brasileira de ASPP referem-se à recomendação de operação manual com a opção de construção do aterro em valas; a possibilidade de supressão da impermeabilização complementar da base quando os critérios apresentados na Tabela 3 forem atendidos; a supressão dos drenos de gases, quando a altura do aterro for menor do que 3 m ou a fração orgânica dos resíduos for menor do que 30%; além da possibilidade de supressão ou redução do número de poços de monitoramento, quando justificado pelo projetista.

A comparação dos critérios de projeto de aterros sanitários estabelecidos nas normas técnicas brasileiras vigentes encontra-se no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparativo das recomendações para projetos e operação de aterros sanitários

Critérios para projetos e operação	NBR ABNT 15849/2010			NBR ABNT 13896/1997 e 8419/1992
	Vala	Trincheira	Encosta	
Separação entre as bordas superiores da vala (m)	> 1	> 1	Não especificado	Não especificado
Profundidade de escavação (m)	até 3	Em função da estabilidade do talude e do nível do freático	Não especificado	Não especificado
Largura (m)	até 5	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Drenagem superficial	Drenos escavados e/ou drenos revestidos	Drenos escavados ou ressaltos resultantes do próprio relevo	Drenos escavados ou ressaltos resultantes do próprio relevo e do maciço de resíduos	Exigido, mas não especificado.
Drenagem de fundo	Materiais que garantam a drenagem, evitando a colmatação	Material rochoso ou materiais alternativos	Material rochoso ou materiais alternativos	Não especificado
Exigência de impermeabilização complementar	De acordo com a Tabela 3 desta dissertação	De acordo com a Tabela 3 desta dissertação	De acordo com a Tabela 3 desta dissertação	Ser instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo ou o líquido percolado não entre em contato com o solo natural
Drenagem de gases	De acordo com tabela da NBR 15.849/2010	De acordo com tabela da NBR 15.849/2010	De acordo com tabela da NBR 15.849/2010	Exigido, mas não especificado
Espaçamento máximo dos drenos de gases (m)	Não especificado	< 30	Não especificado	Não especificado
Cobertura com solo ou outro material apropriado.	Diária	Diária	Diária	Diária
Drenagem de lixiviado	Declividade longitudinal e transversal > 2%	Declividade longitudinal e transversal > 2%	Se o aterro for construído com mais de uma plataforma deve ser instalada drenagem intermediária	Instalada acima da impermeabilização e dimensionada para evitar a formação de uma lâmina de líquido percolado superior a 30 cm sobre a impermeabilização
Poços de monitoramento de águas subterrâneas	1 a montante e 3 a jusante do aterro sanitário.	1 a montante e 3 a jusante do aterro sanitário.	1 a montante e 3 a jusante do aterro sanitário	1 a montante e 3 a jusante do aterro sanitário

Fonte: ABNT (1992, 1997, 2010).

2.5 Lixiviados de aterros sanitários

Apesar dos aterros sanitários serem recomendados como uma solução segura para a disposição de resíduos sólidos urbanos, este tipo de tratamento gera lixiviados contaminados, uma vez que os resíduos não são inativos.

Segundo Castilhos Jr. et al.(2003), no interior de um aterro sanitário, a mistura de uma grande variedade química, sob a influência de agentes naturais como chuva e microrganismos, é objeto de evoluções complexas, constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Além da dissolução dos elementos minerais e do carreamento pela água de percolação das finas partículas e do material solúvel, o principal responsável pela degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas.

A transformação de sólidos orgânicos biodegradáveis em líquidos e gases durante os processos de decomposição da matéria orgânica ocorre tanto por processos aeróbios, quanto por processos anaeróbios, dependendo da disponibilidade ou não de oxigênio (TCHOBANOUGLOUS et al., 1993).

2.5.1 Definição de lixiviados

Dentre os efluentes gerados no processo de digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos destacam-se os líquidos lixiviados, também conhecidos por chorume, chumeiro, sumeiro e percolado (IPT/CEMPRE, 2002), quer seja pelo seu elevado potencial poluidor, pela sua significativa geração ou pela sua dinâmica de alteração com o tempo.

Para Reichert (2000), os lixiviados são definidos como os líquidos provenientes da umidade natural dos resíduos sólidos, da água de constituição dos diferentes materiais que sobram durante o processo de decomposição, e do líquido proveniente da decomposição da matéria orgânica por ação de exo-enzimas, produzidas por bactérias e outros microrganismos. Pode-se acrescentar também que os lixiviados são compostos pela umidade derivada da precipitação pluviométrica que adentra aos amontoados de resíduos dispostos no solo (CASTILHOS JR, et al., 2003).

Os lixiviados caracterizam-se como um líquido escuro, malcheiroso e de elevado potencial poluidor, de composição bastante heterogênea, constituído de ácidos orgânicos, de substâncias solubilizadas e carregadas por meio das águas de chuva, que incidem sobre a massa de resíduos e, ainda, de substâncias formadas a partir de reações químicas que ocorrem entre os constituintes dos resíduos, tendo composição e quantidades variáveis (IPT/CEMPRE, 2002; CINTRA et al., 2002; FEAM, 2007).

2.5.2 Geração de lixiviados

A geração dos lixiviados se dá quando o teor de umidade dos resíduos excede sua capacidade de campo, que é definida como a máxima umidade que é retida em um meio poroso sem produzir percolação (EL-FADEL et al., 2002).

Qasim & Chiang (1994) afirmam que a geração dos lixiviados pode ser influenciada por uma série de fatores, dos quais se podem ressaltar:

- Fatores climatológicos e correlatos: regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual, escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração e temperatura;
- Fatores relativos aos resíduos: composição, densidade e umidade natural;
- Fatores relativos ao tipo de operação: características de permeabilidade, idade e profundidade do aterro sanitário.

Segundo El-Fadel et al. (1997), as condições específicas de cada aterro sanitário, sua superfície e o tipo de solo da base também influenciam na formação dos líquidos lixiviados.

A vazão e as características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados estão intrinsecamente relacionadas e dependem, basicamente, das condições climatológicas e hidrogeológicas da região de um aterro sanitário, bem como das características dos resíduos sólidos urbanos e das condições de operação do aterro (FEAM, 2007).

A Figura 9 apresenta um esquema geral da formação dos líquidos lixiviados em aterros sanitários.



Figura 9 – Esquema da formação dos líquidos lixiviados
Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2007.

A estimativa da geração de líquidos lixiviados é, portanto, influenciada por fatores não controláveis como o regime pluviométrico a que está submetida a região onde se localiza o aterro sanitário e a velocidade de degradação dos resíduos pela ação dos microrganismos.

2.5.3 Balanço Hídrico em Aterros Sanitários

Diversos métodos para estimar o volume de lixiviados gerados em aterros sanitários vêm sendo desenvolvidos e aprimorados. Castilhos Jr. et al. (2003) citam que os métodos mais empregados são o Método Suiço, o Método do Balanço Hídrico e o Método Computacional HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance).

O balanço hídrico é a forma de representar os fenômenos físicos da precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração e infiltração sobre um maciço de resíduos para se estimar as vazões de lixiviados geradas (BENVENUTO, 2004).

Um dos modelos mais conhecidos para avaliação do balanço hídrico é o proposto por Thornthwaite, em 1948, posteriormente modificado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como “Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather”.

O modelo permite determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo, e de se ter a medida da chuva total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período (PEREIRA, 2005).

As equações de Thornthwaite para cálculo do balanço hídrico são recomendadas pela NBR 15849 (ABNT, 2010) para determinação do excedente hídrico em aterros sanitários de pequeno porte, utilizando-se séries anuais de precipitações médias e de temperaturas, além do coeficiente de escoamento superficial.

2.5.4 Composição dos lixiviados

Estudos realizados por Beck (2005) concluíram que as características físico-químicas dos lixiviados evoluem com o tempo, ou seja, sua carga ambiental modifica-se de maneira bastante sensível, pois os líquidos resultantes das atividades da dissolução de matéria orgânica pelas enzimas microbianas entram em contato com a água da chuva ou outras infiltrações, percolando pelo interior da massa de resíduos, lixiviando diversos compostos. Os lixiviados são constituídos basicamente por água rica em sais, metais tóxicos e matéria orgânica, podendo a concentração dessa última chegar a níveis de até cem vezes o valor da concentração de matéria orgânica em esgotos domésticos.

De forma geral, o processo de decomposição dos resíduos em aterros dá-se em três fases: aeróbia, acetogênica e metanogênica. Durante essas fases, a suscetibilidade ao carreamento ou arraste de substâncias químicas pelos lixiviados se modifica muito (IPT/CEMPRE, 2002).

Na primeira fase, quando os resíduos estão expostos ao ar livre, há uma grande liberação de calor e os líquidos produzidos nesta fase apresentam elevadas concentrações de sais de alta solubilidade. Os microrganismos aeróbios, ou seja, aqueles que utilizam oxigênio na decomposição de matéria orgânica dão início à decomposição dos resíduos. Esta fase é relativamente curta, durando em média um

mês, uma vez que a quantidade limitada de oxigênio presente no meio é consumida rapidamente (IPT/CEMPRE, 2002; BECK, 2005).

Nesta fase, a caracterização dos lixiviados é conhecida por apresentar pH ácido, elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), alto valor de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e diversos compostos potencialmente tóxicos (SERAFIM, 2003).

Na segunda fase de decomposição, com a redução da quantidade de oxigênio, começam a predominar microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam o oxigênio no metabolismo. Esses microrganismos, conhecidos como bactérias acetogênicas, convertem o material orgânico particulado em dissolvido a partir do processo de hidrólise. Em seguida dá-se o processo fermentativo. Durante esta segunda fase, são produzidos compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis, como o ácido acético, e também amônia. Estes ácidos se misturam com a água percolada pela massa de resíduos, fazendo com que o pH caia consideravelmente, para valores que podem variar de 4 a 6. Nesta fase, em geral a DBO é alta, com valores superiores a 10 g/L (IPT/CEMPRE, 2002; CASTILHOS JR. et al. 2006).

Na terceira e última fase, os compostos orgânicos formados na fase acetogênica são consumidos por microrganismos estritamente anaeróbios, denominados arqueias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH_4) e ao dióxido de carbono (CO_2). Com o consumo dos ácidos voláteis, o valor do pH volta a subir, favorecendo o aparecimento desses organismos que se desenvolvem preferencialmente em meios com pH próximo ao neutro (7,0). Nesta última fase, a DBO tende a diminuir. Estando o pH próximo do neutro, reduz-se a solubilidade de compostos inorgânicos, diminuindo a condutividade elétrica do chorume. Nessa condição, a divisão do valor da DBO pelo valor de DQO resulta em valores mais baixos, o que significa menor capacidade de biodegradação dos lixiviados (CASTILHOS JR. et al, 2006; IPT/CEMPRE, 2002; TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Para Meira (2003), embora esta divisão em fases facilite bastante o entendimento do processo de estabilização dos resíduos e seus impactos sobre a composição dos lixiviados, na prática, durante a vida útil de um aterro sanitário, essas fases podem ocorrer concomitantemente, uma vez que sempre há aterramento de resíduos sólidos novos, causando uma grande variabilidade na idade do material disposto.

Segundo Segato & Silva (2000), a carga contaminante dos lixiviados é composta de diversas substâncias, oriundas de fontes variadas: substâncias orgânicas medidas pela DQO e pela DBO, ou pelo carbono orgânico total (COT); Nitrogênio em forma de nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos e amônia; Halogênios inorgânicos, íons carbonatos, cloretos, sulfatos, sódio, potássio, cálcio; além de metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre, entre outros.

O Quadro 5 apresenta alguns íons encontrados nos líquidos lixiviados e possíveis origens.

Quadro 5 – Alguns íons encontrados nos lixiviados e possíveis origens

Íons	Origem
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Material orgânico.
Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Sn ²⁺	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas.
Hg ²⁺ , Mn ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes.
Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis).
Al ³⁺	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral.
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X.
As ³⁺ , Sb ³⁺ , Cr ^{x+}	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos.

Fonte: IPT/CEMPRE (2002).

Na literatura são apresentados inúmeros exemplos de composição de lixiviados de aterros sanitários. Christensen et al. (2001) apud Moraes (2005), propõem a classificação dos poluentes presentes nos lixiviados em categorias:

Matéria Orgânica Dissolvida - DQO ou Carbono Orgânico Total (COT), incluindo CH₄, ácidos graxos voláteis e muitos compostos recalcitrantes, como compostos húmicos e fúlvicos.

Macro-componentes Inorgânicos - Cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), amônio (NH₄⁺), ferro (Fe), manganês (Mn), cloretos (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), sulfeto (S²⁻) e carbonato (CO₃²⁻). Metais potencialmente tóxicos como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn).

Compostos Orgânicos Xenobióticos – Incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, alcoóis, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias caracteristicamente tóxicas.

Compostos encontrados em menor concentração – Boro (B), arsênio (As), selênio (Se), bário (Ba), lítio (Li), mercúrio (Hg) e cobalto (Co).

Os pesquisadores Souto e Povinelli (2007) realizaram estudos com o objetivo de estabelecer faixas de variação dos parâmetros físico-químicos de líquidos lixiviados gerados em aterros brasileiros, apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características mais prováveis dos lixiviados de aterros brasileiros

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP (%)
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78
Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	750 – 11.400	750 – 7.100	69
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	95 – 3.100	95 – 2.100	81
Condutividade (mS/cm)	2.950 – 25.000	2.950 – 17.660	77
DBO (mg/L)	< 20 – 30.000	< 20 – 8.600	75
DQO (mg/L)	190 – 80.000	190 – 22.300	83
Óleos e graxas (mg/L)	10 – 480	10 – 170	63
Fenóis (mg/L de C ₆ H ₅ OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58
NTK (mg/L)	80 – 3.100	não há	-
N-amoniaco (mg/L)	0,4 – 3.000	0,4 – 1.800	72
N-orgânico (mg/L)	5 – 1.200	400 – 1.200	80
N-nitrito (mg/L)	0 – 50	0 – 15	69
N-nitrato (mg/L)	0 – 11	0 – 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 – 40	0,1 – 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 – 35	0 – 10	78
Sulfato (mg/L)	0 – 5.400	0 – 1.800	77
Cloreto (mg/L)	500 – 5.200	500 – 3.000	72
Sólidos totais (mg/L)	3.200 – 21.000	3.200 – 14.400	79
Sólidos totais voláteis (mg/L)	630 – 20.000	630 – 5.000	60
Sólidos totais fixos (mg/L)	2.100 – 14.500	2.100 – 8.300	74
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 – 2.800	5 – 700	68
Sólidos Suspensos voláteis (mg/L)	5 – 530	5 – 200	62
Ferro (mg/L)	0,01	0,01	67
Manganês (mg/L)	0,04 – 2,6	0,04 – 2,0	79
Cobre (mg/L)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61
Níquel (mg/L)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71
Cromo (mg/L)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89
Cádmio (mg/L)	0 – 0,26	0 – 0,065	67
Chumbo (mg/L)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64
Zinco (mg/L)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70

FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Souto e Povinelli (2007).

Ferreira e Ritter (2011) destacam que, em várias fontes de caracterização de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos no Brasil (e também em outros países), a presença de metais pesados, sempre referida nos textos sobre lixiviados, ocorre em baixas concentrações, em geral abaixo dos padrões de lançamentos de efluentes, não sendo motivo de preocupações na poluição por lixiviados, exceto quando os aterros recebem resíduos industriais.

2.6 Contaminação do solo por lixiviados

As áreas utilizadas para disposição final de resíduos sólidos não podem ser consideradas como o ponto final para algumas substâncias contidas nos resíduos ali dispostos, pois, quando a água, principalmente das chuvas, percola através desses resíduos, várias substâncias orgânicas e inorgânicas são carregadas pelo chorume, que pode conter altas concentrações de metais pesados, sólidos suspensos e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras. Por apresentar substâncias altamente solúveis, esses líquidos podem escorrer e alcançar as coleções hídricas superficiais ou até mesmo infiltrar-se no solo e atingir as águas subterrâneas, comprometendo sua qualidade e potenciais usos (CELERE et al., 2007; SISINO, 1996).

Os processos de contaminação no solo ocorrem de modo lento e, geralmente, sem conseqüências imediatas trágicas, porém, em longo prazo, podem ter efeitos sérios (BOSCOV, 2008).

Uma área contaminada pode ser definida como área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de substâncias químicas, comprovadas por estudos, que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger (FEAM, 2008).

Por conseguinte, contaminação é a presença de substâncias químicas ou biológicas no ar, no solo ou na água, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse serviço ambiental para os usos atual e/ou futuro, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico (FIEMG, 2011).

2.6.1 Valores Orientadores

O emprego de listas com valores orientadores tem sido prática usual nos países com tradição na questão do monitoramento da qualidade de solos e águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi pioneira nessa questão, publicando, em 2001, uma lista preliminar de valores orientadores para proteção da qualidade de solos e das águas subterrâneas, a qual já foi revisada em 2005, com atualizações e substituições de novos valores orientadores, sendo aprovada e publicada para o seu cumprimento por meio da Decisão de Diretoria N.º 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005 (Valores Orientadores para Solo e Água Subterrâneas no Estado de São Paulo).

Em 2009 foi aprovada a Resolução do CONAMA N.º. 420 que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, estabelecendo, ainda, diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas em decorrência de atividades antrópicas.

No Estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º. 02, aprovada em 2010, instituiu o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, estabelecendo as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Para tanto, são definidos os valores orientadores que são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea.

Esses valores orientadores são definidos pela supracitada DN da seguinte forma:

Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos.

Valor de Prevenção (VP): é a concentração de determinada substância no solo, acima da qual podem ocorrer alterações da qualidade do solo quanto as suas funções principais.

Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado (agrícola, residencial ou industrial).

A Tabela 5 apresenta alguns valores orientadores estabelecidos para os solos do Estado de Minas Gerais:

Tabela 5 – Valores orientadores para solos no Estado de Minas Gerais

Substância	Solo (mg.kg ⁻¹ de peso seco)				
	VRQ	VP	VI		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Arsênio	8	15	35	55	150
Cádmio	<0,4	1,3	3	8	20
Chumbo	19,5	72	180	300	900
Cobre	49	60	200	400	600
Cromo	75	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	-
Mercúrio	0,05	0,5	12	36	70
Níquel	21,5	30	70	100	130
Nitrato (como N)	-	-	-	-	-
Zinco	46,5	300	450	1000	2000

VRQ – Valor de Referência de Qualidade

VP – Valor de Prevenção

VI – Valor de Investigação

Fonte: COPAM (2011) e CONAMA (2009)

2.7 Trabalhos equivalentes

Schueler (2005) analisou a contaminação por metais no solo, provocada pelos lixiviados que escoam sobre a superfície do aterro de Paracambi – RJ. Foram desenvolvidas duas campanhas de amostragem de solo, sendo uma no mês de fevereiro (período com chuvas intensas) e outra no mês de agosto (balanço hídrico negativo, na região). Para a coleta das amostras de solo foram utilizados trados manuais com amostradores tipo cunha, de 2". As amostras foram coletadas em seis cavas posicionadas na área mais baixa do aterro, para onde é drenado todo o fluxo

escoado superficialmente. Em cada cava foram coletadas de três a seis amostras em profundidades diferentes até 1,00 m, com intervalo de 20 cm entre elas. Para utilização como valores de referência, foram analisadas também amostras de solo coletadas em local em que não ocorreu a disposição de resíduos. Foram medidas, nas amostras de solo, as concentrações de ferro, manganês, cádmio, cromo, cobre, chumbo, zinco e níquel, com os objetivos de verificar os efeitos de contaminação no solo, pelo contato com os lixiviados e verificar a diferença na concentração das substâncias químicas no solo, em diferentes profundidades. Os ensaios foram feitos pelo laboratório da Embrapa Solos, por meio do espectrofotômetro de plasma. O estudo concluiu que, a maior ou menor presença de água, representada pelo período em que foram feitas as amostragens, parece não ter interferido na concentração de contaminantes no solo. Verificou-se a ocorrência de contaminação do solo no entorno do aterro, amostrado até a profundidade de 1,00m. Como o nível freático mais alto medido durante o ano ocorreu a uma profundidade de 1,52 m, entendeu-se que a água subterrânea contaminada por lixiviado não foi a maior responsável pela contaminação do solo amostrado. Em relação ao cádmio, cobre, chumbo, e zinco, as amostras coletadas como referência apresentam valores mais baixos do que a maioria das amostras de solo coletadas a jusante do aterro, o que indica a ocorrência de contaminação do solo da área de estudo, pelo lixiviado do aterro de resíduos. Com exceção do chumbo, todos os metais ocorreram no solo, em concentrações mais altas do que o valor de alerta estabelecido pela CETESB (2005) para os solos de São Paulo.

FEAM (2009) analisou a qualidade ambiental de 03 (três) áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos nos municípios de Extrema, Itapeva e Camanducaia, localizados na região sul do Estado de Minas Gerais. A pesquisa teve como objetivo principal avaliar a qualidade do solo, das águas subterrâneas e superficiais nas áreas selecionadas. O município de Extrema dispõe os RSU gerados em um aterro sanitário, a administração municipal de Itapeva utiliza um aterro controlado para dispor os resíduos gerados no município, enquanto Camanducaia utiliza um lixão. Para as investigações das características do solo, foram realizadas sondagens de reconhecimento visando à identificação da litologia da área e investigação da presença potencial de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) *in situ* no solo, assim como a coleta de amostras de solo superficial e do

subsolo para análises químicas dos parâmetros de interesse. Em todas as áreas foram coletadas amostras de solo a montante da área de disposição de resíduos para utilização como *background*, ou seja, os valores de referência do solo. Nos locais com evidência da presença de resíduos foram coletadas amostras na primeira camada de solo imediatamente abaixo da camada de resíduos para determinação dos metais (alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo total, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, prata, selênio, vanádio, zinco), pesticidas (carbamatos totais, organoclorados e organofosforados), coliformes, compostos orgânicos voláteis (VOC) e compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC). Para os compostos não contemplados na listagem da CETESB (2005), foram utilizados como padrões de referência os valores alvos de remediação preliminares (PRGs – *Preliminary Remediation Goal*), estabelecidos pela EPA (*Environmental Protection Agency*) para algumas regiões norte americanas (Região 9, por exemplo, abrangendo os Estados da Califórnia, Arizona, Nevada e Havaí). Desta forma, o trabalho adotou como padrões de referência para o solo, os Valores de Investigação (VI) – Cenário Residencial e Cenário Industrial estipulados pela CETESB e os PRG's - Region 9 da EPA. Os estudos indicaram que o solo das três áreas de disposição de resíduos analisadas apresentaram concentrações de metais acima dos padrões de referência utilizados (CETESB e EPA), sendo que a maior parte das amostras apresentou concentrações de metais acima do valor de *background* obtido para as três áreas, podendo-se concluir que o solo das áreas estão contaminados pela disposição de RSU. Em relação aos coliformes totais e fecais, no lixão de Camanducaia a maior parte das amostras apresentou concentrações acima dos valores de *background*, em Itapeva somente duas amostras apresentaram valores superiores aos de *background*, enquanto que em Extrema não foram observadas concentrações de coliformes fecais e totais. Quanto aos parâmetros pesticidas, VOC e SVOC, não foram identificadas concentrações acima dos valores de referência em nenhuma das áreas estudadas.

Ritter e Ferreira (2011) avaliaram a contaminação do subsolo da área ocupada pelo depósito de resíduos de Anta no município de Sapucaia – RJ. A disposição de resíduos no local foi iniciada em 1986, quando a Cerâmica Porto Velho liberou a área na qual extraía argila para a fabricação de artefatos cerâmicos. Os resíduos passaram a ser depositados em crateras com 1,5 a 3,0 m de profundidade. A área

foi ocupada sem critérios de Engenharia, sendo os resíduos lançados sobre o solo local, e mantido descoberto ao longo dos anos. Para avaliação da qualidade do subsolo foram executados furos de sondagens a percussão e retiradas amostras de solo sob pontos distribuídos na área do lixão do Anta. Para se verificar o grau de contaminação das amostras do subsolo foram realizados ensaios de laboratório. As referências para avaliação do grau de contaminação foram obtidas nos valores orientadores da legislação da CETESB (2005). As análises químicas, nas amostras de solo, compreenderam os parâmetros pH, condutividade, alcalinidade, concentração de cloreto, sódio, nitrogênio amoniacal, zinco, cromo, cádmio, chumbo, mercúrio, óleos e graxas, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno. O estudo concluiu que as concentrações de cloreto, sódio e amônio no solo foram baixas, o mesmo ocorrendo com a determinação de concentração para cloreto e amônio no lixiviado; as concentrações de óleos e graxas e dos metais traço cromo, chumbo e zinco foram baixas, enquanto as de cádmio, mercúrio e BTEX ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento, concluindo-se que não houve migração de lixiviados para a fundação do lixão do Anta. Destacou-se nesse estudo, a presença relativamente superficial da rocha e a importância das características de solos argilosos como fator de proteção de eventuais contaminações por resíduos dispostos em aterros e até mesmo em lixões, como no caso do lixão do Anta, que possivelmente contribuiu para a minimização da migração do lixiviado.

Brito et al. (2006) realizaram estudo com objetivo de avaliar o teor de metais traço no solo e nas águas superficiais de curso d'água na região do local de deposição final de lixo urbano na cidade de Patos de Minas (MG). Para análise da qualidade do solo foram coletadas amostras em camadas superficiais, a 0,20 m de profundidade, em quatro locais distintos na área de disposição final de resíduos. Foram verificadas, em espectrofotômetro de absorção atômica, as concentrações dos metais cobre, chumbo, cromo e zinco em quatro amostras de solo retiradas a 20 cm de profundidade. Em todas as amostras foram encontradas concentrações acima da faixa normal indicada pela literatura, concluindo-se que o solo da área encontra-se contaminado.

Medeiros et al (2008) realizaram pesquisa com o objetivo de avaliar a qualidade dos recursos naturais solo e água na área do lixão do município de Engenheiro Coelho (SP). A metodologia contemplou a retirada de amostras de solo na camada

superficial, na profundidade de 0 a 0,20 m, em três locais diferentes: no próprio lixão, a 200 m e a 500 m de sua divisa. Em cada local foi obtida uma amostra composta a partir do solo coletado em dez pontos diferentes. Foram realizadas duas campanhas de amostragem, sendo a primeira em maio de 2007 e a segunda em maio de 2008. As análises químicas foram realizadas por meio de um espectrofotômetro de absorção atômica e de um peagâmetro digital. Os seguintes parâmetros químicos do solo foram determinados segundo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997): teor de matéria orgânica, pH, fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (MG), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Dentre os elementos químicos analisados no ano de 2007, foram observados baixos teores de fósforo, potássio, boro, cobre e zinco. No ano de 2008, os resultados de análise do solo no interior do lixão foram próximos daqueles medidos em 2007. Os valores encontrados para os elementos cobre e zinco foram bem inferiores àqueles recomendados pela CETESB (2005). Avaliando-se os metais, observou-se que o único elemento cujo teor pode ser considerado elevado foi o ferro, o qual chegou a atingir uma concentração de 88 mg.Kg^{-1} a duzentos metros da área do lixão, no ano de 2007. Em relação ao elemento ferro, os estudos observaram que, além de não existir um limite orientador estabelecido para esse elemento, outro fator a ser destacado refere-se ao fato de que os solos da região do município de Engenheiro Coelho apresentam, normalmente, concentrações elevadas de ferro. A partir da análise dos resultados químicos apresentados, a pesquisa concluiu que não foram verificados indícios de contaminação química do solo, provavelmente em decorrência do tipo de resíduos dispostos no lixão, predominantemente de origem doméstica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e acesso

O município de Bugre está localizado no sudeste brasileiro, na macrorregião do rio Doce de Minas Gerais e integra o Colar Metropolitano do Vale do Aço. Com área de 162 km², apresenta população total de 3.990 habitantes, sendo que 1.528 constituem a população urbana e 2.462 vivem na área rural (IBGE, 2010). Limita-se com os municípios de Iapu, Belo Oriente, Ipaba e Caratinga e suas coordenadas geográficas são 19° 24' 25" de latitude S e 42° 15' 54" de longitude W (Figura 10).

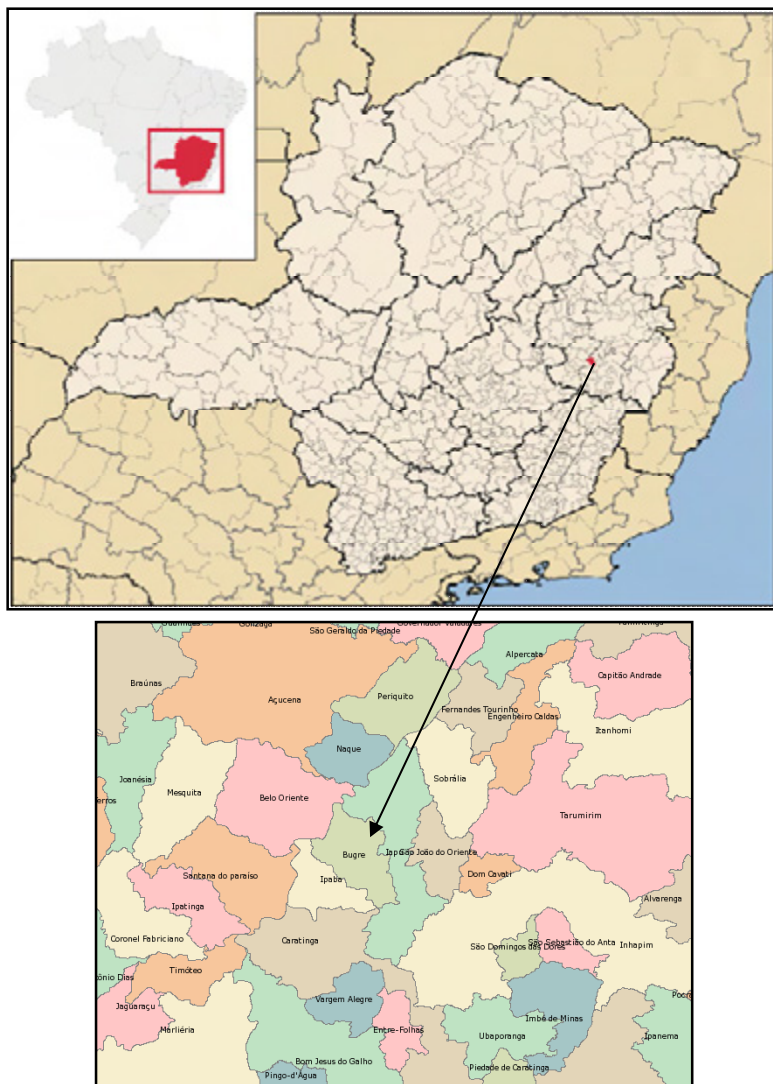


Figura 10 – Localização do município de Bugre – MG.
Fonte: Instituto de Geociências Aplicadas – IGA (2012).

O município teve a sua emancipação promulgada pela Lei Estadual nº. 12030 de 21/12/95 e foi instalado em 01/01/97, tendo se desmembrado do município de Iapu.

O principal acesso ao município de Bugre é pela rodovia federal BR-458, a partir de Ipatinga ou Inhapim, conforme Figura 11. Partindo de Belo Horizonte, o acesso ao município se dá pelas rodovias federais BR-381 ou BR-116, num percurso de aproximadamente 250 Km.

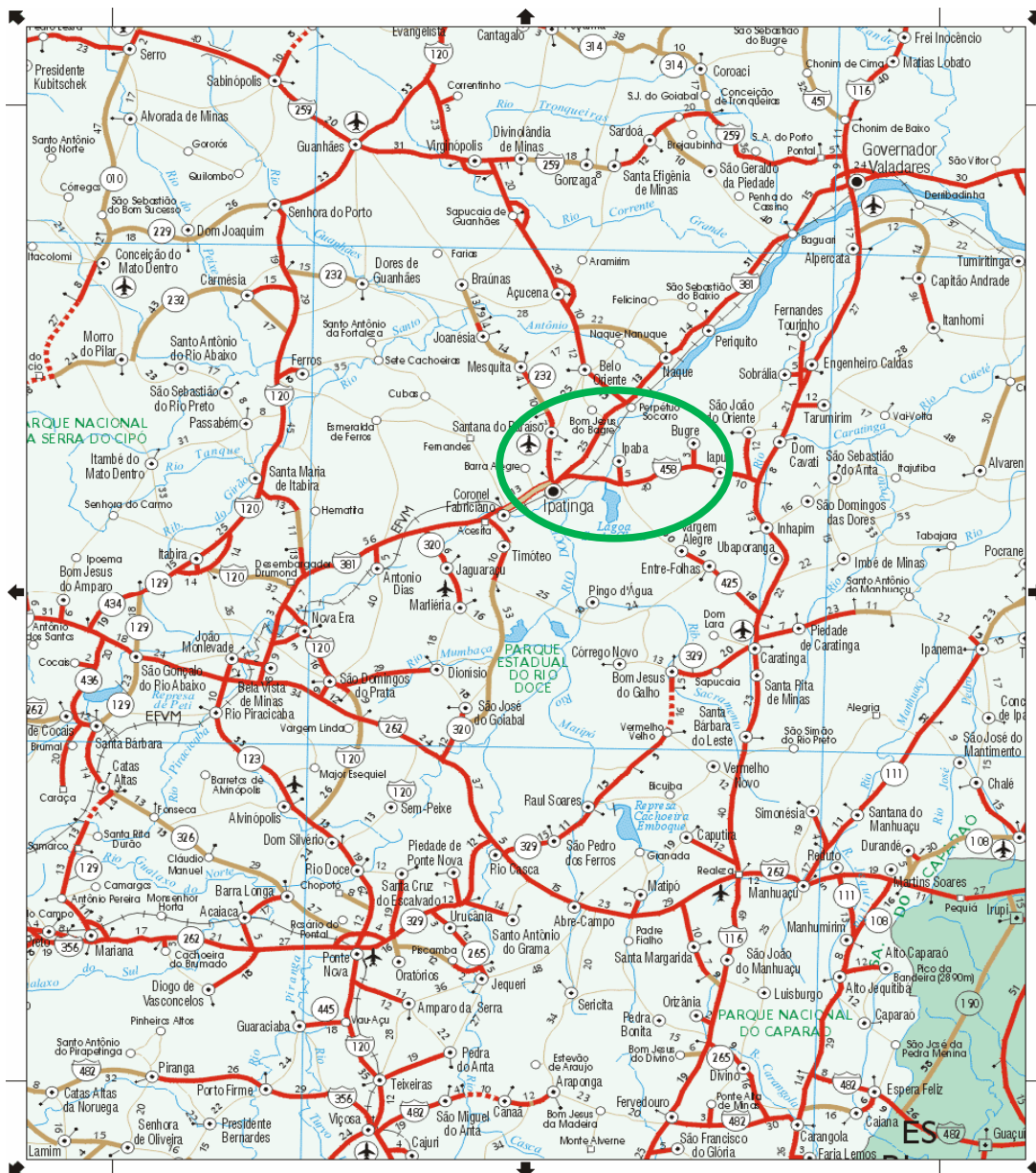


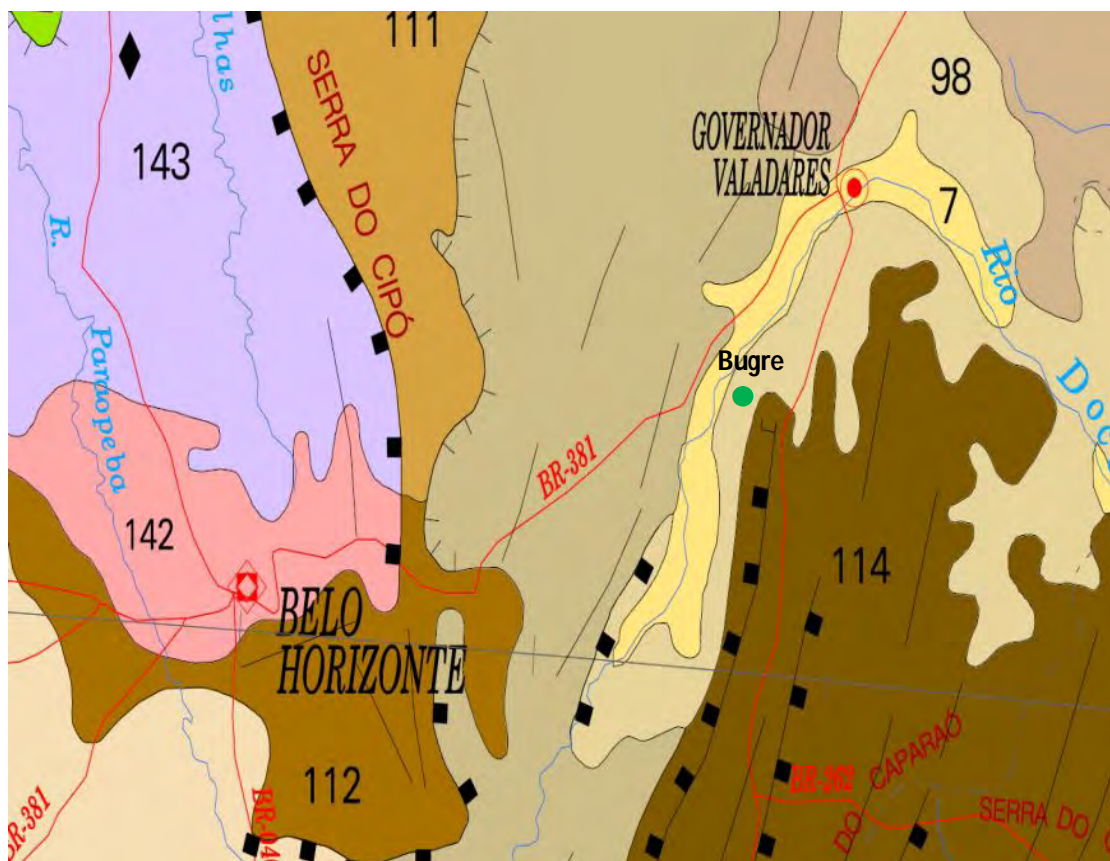
Figura 11 – Principais acessos ao município de Bugre.

Fonte: Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (2012).

3.2 Relevo

O relevo do município de Bugre caracteriza-se pela presença de formações montanhosas componentes da Mata Atlântica, compreendendo topografia com morros irregulares com elevação variável e altitude média de 410 metros.

Por estar localizado na bacia hidrográfica do rio Doce, o relevo nesta área é conhecido como Depressão do Rio Doce (Figura 12) e caracteriza-se pela presença de mares de morros, termo este definido pela apresentação dos morros com cumes arredondados.



Legenda:

- | | | | |
|----|-----------------------|---|--------------------|
| 98 | Depressão do Rio Doce | 7 | Planícies Fluviais |
|----|-----------------------|---|--------------------|

Figura 12 – Relevo do município de Bugre.

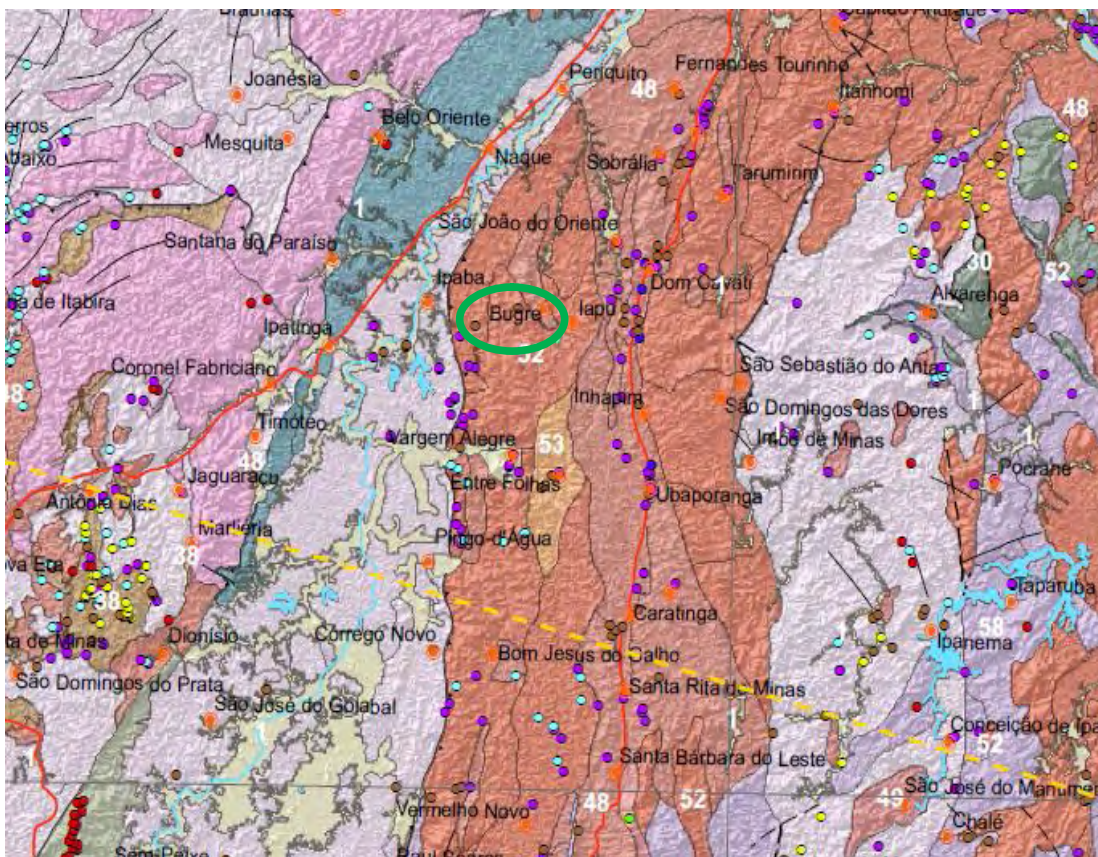
Fonte: Mapa de relevos do Brasil – IBGE (2012).

3.3 Clima

O clima predominante, segundo a classificação climática de Köppen, é o tropical com estação seca (Aw). Em 2011, a temperatura máxima (26,1°C) ocorreu no mês de fevereiro e, a mínima (19,3 °C), no mês de julho. A precipitação pluviométrica média mensal em 2011 foi de 103,7 mm, sendo a máxima no mês de dezembro (358,9 mm) e a mínima no mês de julho (0,3 mm), conforme registro da Estação Climatológica Fábrica da Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, distante cerca de 19 km do município de Bugre, localizada nas coordenadas geográficas 19° 17' 53" de latitude S e 42° 23' 26" de longitude W.

3.4 Geologia

O município de Bugre está situado em área de ocorrência de rochas graníticas subalcalinas, mais especificamente por rochas do Complexo Granitóides Intensamente Deformados, denominados ortognaisses. Estes granitóides se alteram deixando blocos e matacões em meio ao solo, em menor quantidade que os granitóides não deformados. São rochas de alto grau de coesão, alta resistência ao corte e penetração, elevada resistência à compressão, baixa porosidade primária e boa resistência ao intemperismo físico-químico (CPRM, 2012).



Legenda:

52 Séries Graníticas Subalcalinas: Cálcio-alcálinas (Baixo, Médio e Alto-K) e Toleíticas.

Figura 13 – Formações geológicas do município de Bugre – MG.

Fonte: CPRM (2012).

Os solos derivados dessas rochas são normalmente ácidos, liberando poucos nutrientes. As rochas alteram-se para solos argilo-siltico-arenosos susceptíveis à erosão laminar se forem constantemente cultivados por maquinários pesados e pisoteados pelo gado.

3.5 Descrição do Caso de Estudo

Durante muitos anos, os resíduos sólidos urbanos do município de Bugre foram encaminhados para uma área conhecida como Córrego do Bugre, distante aproximadamente 1,5 Km do centro urbano nas coordenadas geográficas 19° 25' 40,4" de latitude S e 42° 15' 15,9" de longitude W. No local, situado a

menos de 100m de um conjunto habitacional em construção, os resíduos eram dispostos sobre o solo, sem critérios técnicos, permanecendo a céu aberto, configurando a situação de um lixão (Figura 14).



Figura 14 – Antigo lixão do município de Bugre.

Fonte: Fundação Israel Pinheiro (2009).

Em outubro de 2009, atendendo às determinações da Deliberação Normativa Nº. 118 do COPAM, a prefeitura de Bugre selecionou uma nova área para disposição dos resíduos, situada a 1,8 km do centro do município nas coordenadas geográficas 19° 25' 56" de latitude S e 42° 15' 1,4" de longitude W (Figura 15). O terreno tem área de 0,5 hectares e é de propriedade da prefeitura, havendo possibilidade de negociação de área contígua para expansão, caso necessário.



Figura 15 – Imagem da área do depósito de resíduos sólidos urbanos de Bugre (MG) e de seu entorno.

Fonte: Adaptado de *Google Earth* – Acesso em 02-09-2012.

A área localiza-se a mais de 100 metros de rodovias federais e estaduais, sendo a ocupação urbana mais próxima constituída por propriedade rural isolada. Não há núcleos populacionais em um raio de 1 km da área. O corpo d'água mais próximo é uma nascente, distante cerca de 250 metros do depósito, pertencente à sub-bacia do córrego do Bugre.

O acesso ao depósito é feito por via de terra, que apesar da declividade acentuada, apresenta boas condições de manutenção garantindo o acesso ao depósito em todas as épocas do ano. O terreno apresenta declividade superior a 1% e inferior a 30% e a vegetação predominante no entorno é composta por gramíneas.

A coleta dos resíduos, sob responsabilidade da prefeitura, é realizada três vezes por semana com utilização de um caminhão carroceria de propriedade da prefeitura. Eventualmente, a prefeitura utiliza também uma carreta acoplada a um trator agrícola para a coleta de resíduos ou um segundo caminhão disponibilizado para o serviço de limpeza urbana. O acondicionamento dos resíduos domiciliares geralmente é realizado pela população em sacos plásticos, tambores metálicos ou, com menor frequência, em caixas de papelão.

O município coleta uma média diária de aproximadamente 1,3 toneladas de resíduos de origem domiciliar, comercial e pública, provenientes da área urbana e de cerca de 50% da zona rural. Os resíduos provenientes das unidades de serviços de saúde são coletados separadamente e encaminhados para tratamento e disposição final em empresa terceirizada situada em outro município.

O isolamento da área é composto por cerca de arame farpado e mourão de madeira, complementado com tela metálica. A área possui sistema de drenagem pluvial constituído por canaletas de concreto para desvio das águas de chuva da massa de resíduos aterrados.

Os resíduos são dispostos em valas com dimensões aproximadas de 5,0 x 15,0 x 3,0m (largura x comprimento x profundidade), atendendo às recomendações da NBR 15849 (ABNT, 2010). Os resíduos dispostos não são compactados, recebendo uma cobertura de solo após o seu lançamento na vala. As valas encerradas recebem uma camada de terra para recobrimento final com espessura média de 0,8m, não havendo cobertura vegetal.

A Figura 16 apresenta o levantamento planialtimétrico do terreno com a localização das valas utilizadas no período de 2009 a 2012.

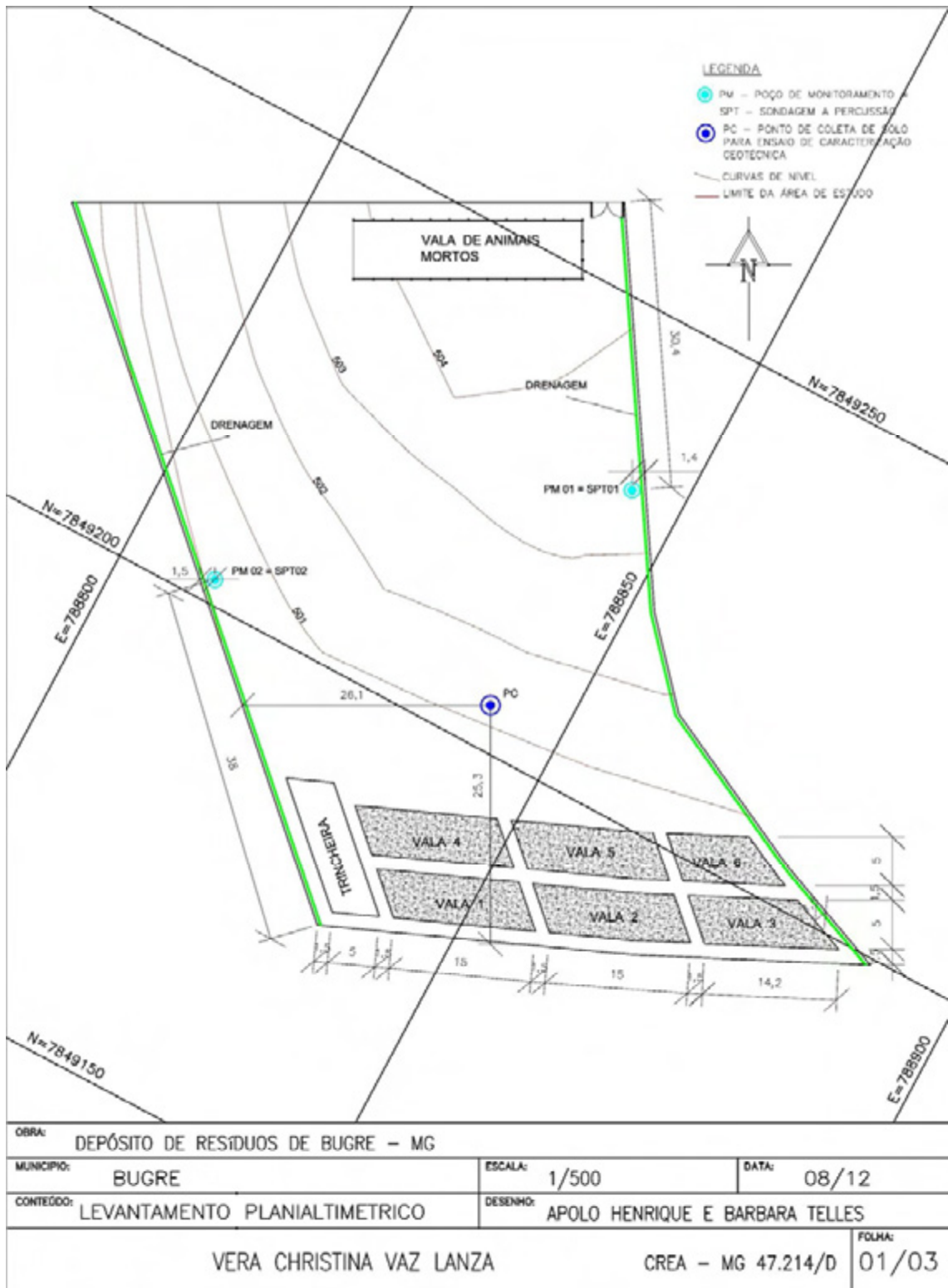


Figura 16 – Levantamento planialtimétrico e localização das valas utilizadas no depósito de resíduos sólidos do município de Bugre – MG.

A primeira vala para disposição de resíduos domiciliares foi aberta em outubro/2009, conforme Figura 17.



Figura 17 – Disposição dos resíduos na primeira vala construída no depósito de Bugre em 2009.

Fonte: Prefeitura Municipal de Bugre.

A partir do início da operação do depósito de resíduos sólidos, a prefeitura procedeu à abertura progressiva de novas valas, conforme sequência apresentada na Figura 16 (Valas 1 a 6).

Para melhor aproveitamento do terreno, em 2012 foi escavada uma trincheira no espaço existente entre as valas 1 e 4 e a cerca de divisa do terreno (Figura 16). Essa trincheira está sendo preenchida com resíduos e, após o seu esgotamento, serão escavadas novas valas.

Os animais mortos recebidos no depósito são dispostos em vala separada e cobertos com uma camada de solo (Figura 16).

3.6 Ensaios de campo e laboratório

3.6.1 Composição gravimétrica

A composição gravimétrica dos RSU do município de Bugre foi determinada em três ensaios realizados nos dias 17/10/2011, 08/02/2012 e 27/04/2012 utilizando-se, para separação das amostras, todos os resíduos provenientes da coleta do dia.

Os ensaios de caracterização utilizaram o método do quarteamento previsto na NBR 10007 (ABNT, 2004) e a metodologia descrita por Pessin (2001).

Os resíduos foram descarregados sobre uma lona plástica de 5,0 x 10,0 m previamente preparada, realizando-se, a seguir, o rompimento dos sacos, caixas e outras embalagens utilizadas para acondicionamento, com o objetivo de homogeneizar os resíduos e obter uma amostra representativa (Figura 18).



Figura 18 – Rompimento das embalagens e mistura para homogeneização dos resíduos.

Após a homogeneização dos resíduos, foram coletadas amostras em cinco pontos da pilha de resíduos, sendo uma no topo e quatro nas laterais, preenchendo oito tambores com os resíduos coletados (Figura 19).



Figura 19 – Acondicionamento das amostras em tambores.

As amostras acondicionadas nos tambores foram descarregadas sobre outra lona plástica para nova mistura e homogeneização. Em seguida, foi realizado o quarteamento da amostra, descartando-se duas partes localizadas em posições diametralmente opostas.

Definindo-se a amostra final, procedeu-se à separação dos resíduos em plástico, papel/papelão, vidro, metal, matéria orgânica e outros (borracha, couro, panos, madeira, fraldas descartáveis) e sua disposição nos tambores para pesagem em balança mecânica e estabelecimento das porcentagens em peso (Figuras 20 e 21).



Figura 20 – Separação dos resíduos para pesagem.



Figura 21 – Pesagem dos resíduos.

3.6.2 Levantamento da quantidade de resíduos

Como o município de Bugre não dispõe de balança do tipo rodoviária para pesagem dos resíduos, o levantamento da quantidade de resíduos encaminhada para o depósito foi realizado juntamente com a composição gravimétrica, pesando-se em balança mecânica todos os resíduos provenientes da coleta nos três ensaios realizados nos dias 17/10/2011, 08/02/2012 e 27/04/2012.

3.6.3 Caracterização geotécnica

A caracterização geotécnica da área de estudo foi feita com base em sondagens a percussão do tipo *Standard Penetration Test - SPT*; ensaios para a determinação da permeabilidade *in situ* associados à sondagem; além de ensaios de caracterização física do solo.

3.6.3.1 Ensaio SPT

Os ensaios de sondagem foram realizados pela empresa Projesol Engenharia Ltda, contratada pela Prefeitura Municipal de Bugre.

Foram executados dois furos de sondagem SPT na área de estudo no mês de

junho/2011 (Figura 22), de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 6484 (ABNT, 2001).

A cada metro de perfuração foram colhidas amostras do solo pela cravação do amostrador-padrão. Essas amostras “deformadas” foram armazenadas em sacos plásticos e, posteriormente, utilizadas para caracterização do horizonte de solo em que se encontrava o amostrador naquele instante.

As sondagens tiveram como objetivos, além da caracterização do solo, a localização do nível freático.



Figura 22 – Execução de sondagem SPT.

Os furos de sondagem foram locados nas extremidades da área para posterior implantação de poços de monitoramento nos locais, conforme situação apresentada na Figura 16.

Os resultados das sondagens SPT serão apresentados no Capítulo 4.

3.6.3.2 Ensaio de permeabilidade

Para determinação da permeabilidade *in situ* foi utilizado o método de ensaio de infiltração associado à sondagem SPT, seguindo as diretrizes da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE em seu Boletim Nº. 4: 1996 – “Ensaio de Permeabilidade em Solos”.

Os ensaios foram realizados de metro em metro nos dois furos de sondagem SPT até a profundidade de 6,0 m no furo SP1 e até 5,0 m no furo SP2. Cada ensaio teve duração de 20 minutos, exceto nos primeiros 2,0 m do furo SP2, que tiveram duração de 5 minutos.

Os resultados dos ensaios serão apresentados no Capítulo 4.

3.6.3.3 Ensaio de caracterização do solo

A obtenção dos parâmetros do solo na área de estudo foi realizada a partir da retirada de uma amostra deformada, de acordo com as prescrições da NBR 9604 (ABNT, 1996) que dispõe sobre a “abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas”.

A amostra foi coletada a uma profundidade de 3,0 m do nível do terreno, em uma trincheira aberta com o auxílio de uma retroescavadeira (Figura 23).

A localização da trincheira está apresentada na Figura 16 (PC).

Para caracterização do material foram determinados o teor de umidade, os limites de Atterberg, o peso específico dos sólidos e o ensaio de granulometria conjunta, que permitiram a classificação do solo local.



Figura 23 – Abertura da trincheira para coleta de amostra de solo para ensaios geotécnicos.

Os ensaios seguiram as especificações descritas pela ABNT, de acordo com o que é apresentado no Quadro 6 e foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

Quadro 6 – Especificações dos ensaios de caracterização do solo

ENSAIO	NORMA
Peso Específico dos Sólidos (γ_s)	ABNT NBR 6508/1984
Análise Granulométrica	ABNT NBR 7181/1984
Limite de Liquidez (LL)	ABNT NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade (LP)	ABNT NBR 7180/1984

Os parâmetros obtidos nos ensaios de caracterização e a curva granulométrica do solo serão apresentados no Capítulo 4.

3.6.4 Ensaio químicos do solo

Com o objetivo de verificar a qualidade do solo da área de estudo foram coletadas 12 amostras de solo para análises laboratoriais dos parâmetros químicos de interesse e posterior comparação aos valores orientadores contemplados nesta dissertação.

A coleta das amostras foi realizada no dia 24/08/2012 em 5 pontos distintos, em profundidades diferentes. O ponto P1 está situado em parte do terreno onde não houve a disposição de resíduos, para utilização como *background*, apresentando a composição química do solo sem o contato com os resíduos e seus efluentes. No ponto P1 foram coletadas 3 amostras de solo e, para fins de comparação, foram utilizadas apenas a média dos resultados encontrados para cada parâmetro analisado. Os pontos P2, P3 e P4 estão situados sob a base do depósito de resíduos e o ponto P5 imediatamente a jusante da área de disposição de resíduos.

A localização dos pontos P2, P3 e P4 foi escolhida em função do tempo de disposição de resíduos, estando o ponto P4 localizado sob a 1ª vala, construída em outubro/2009, ou seja, no local onde a disposição de resíduos foi realizada há aproximadamente 3 anos; o ponto P3 foi situado sob uma vala utilizada em meados de 2010, ou seja, onde a disposição ocorreu há cerca de 2 anos, e o ponto P2 sob uma vala em que a disposição de resíduos ocorreu mais recentemente, entre 6 meses e 1 ano. Já a localização do ponto P5 teve como objetivo avaliar uma possível percolação de lixiviados na camada superficial do aterro.

A Tabela 6 apresenta os pontos de coleta e as profundidades em que as amostras foram coletadas.

Tabela 6 – Pontos de coleta de amostras de solo para ensaios químicos

Ponto de coleta	Local	Profundidade	Identificação do laboratório
P1	Terreno natural – solo em que não houve a disposição de resíduos - <i>Background</i>	3,0m	21261 CS001
		3,8m	21261 CS002
		4,2m	21261 CS003
P2	Solo sob vala de disposição de resíduos utilizada há cerca de 6 meses e 1 ano	0m	21261 CS004
		0,4m	21261 CS005
		0,8m	21261 CS006
P3	Solo sob vala de disposição de resíduos utilizada há cerca de 2 anos	0m	21261 CS007
		0,8m	21261 CS008
P4	Solo sob vala de disposição de resíduos utilizada há cerca de 3 anos	0m	21261 CS009
		0,8m	21261 CS010
		1,2m	21261 CS011
P5	Solo a jusante da área de disposição de resíduos	0,2m	21261 CS012

A localização dos pontos de coleta e o perfil com as profundidades das amostras estão apresentados na Figura 24.

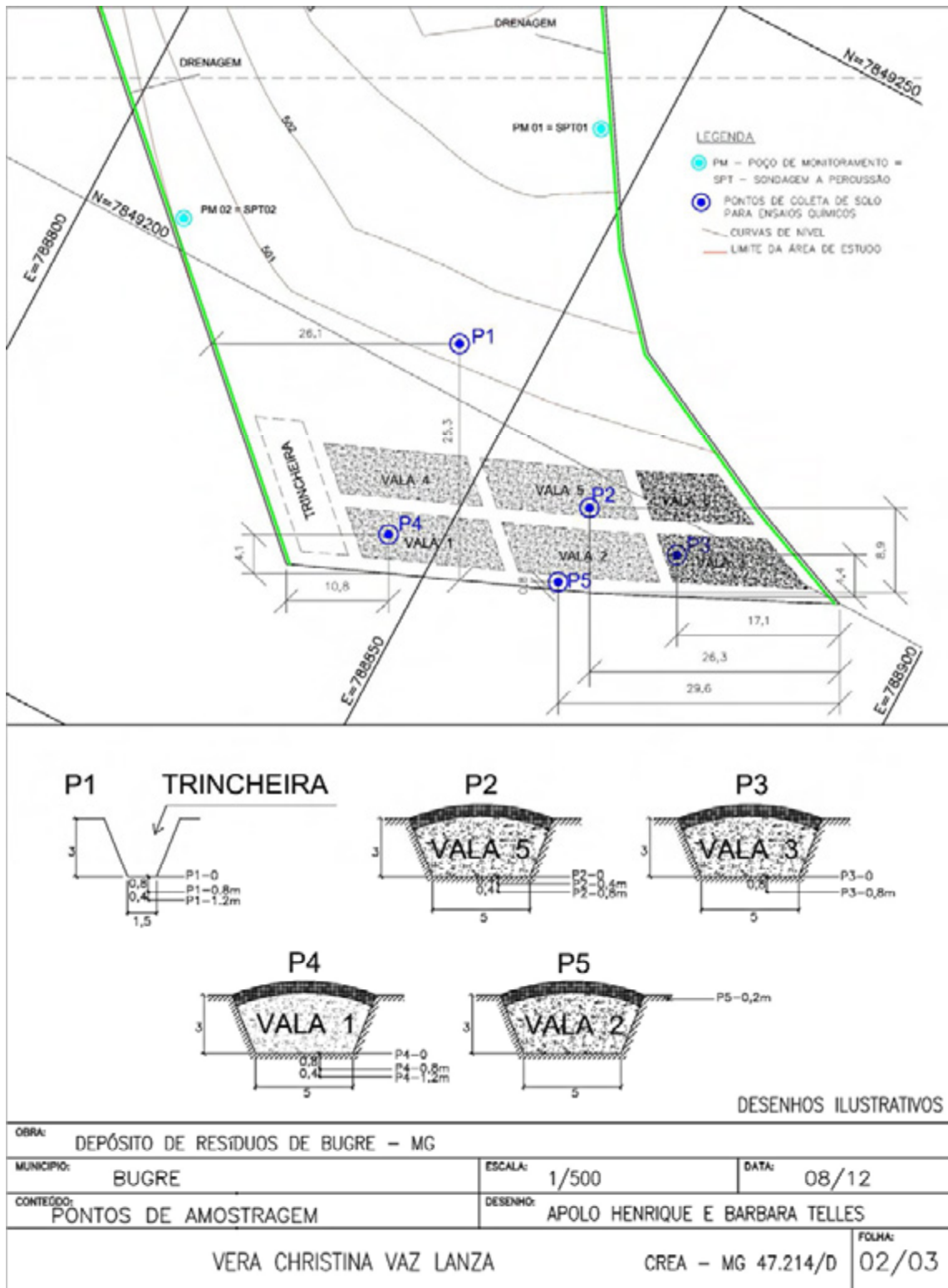


Figura 24 – Localização e perfis dos pontos de coleta de solo para ensaios químicos.

Para viabilizar a coleta das amostras sob a base do depósito de resíduos foi utilizada uma retroescavadeira, que procedeu à remoção dos resíduos aterrados nos pontos previamente definidos até o terreno natural abaixo da vala, executando uma trincheira que permitiu o acesso do coletor das amostras, conforme Figuras 25 e 26.



Figura 25 – Abertura da trincheira para coleta de amostras de solo sob as valas de disposição de resíduos.



Figura 26 – Abertura de trincheira e remoção dos resíduos para coleta de amostras de solo sob a vala.

Após a remoção dos resíduos, a amostragem de solo seguiu as normas estipuladas pelos Procedimentos 6300 – Amostragem de Solo e 6310 – Preservação de Amostras de Solo estabelecidos pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB/GTZ, 2005).

Para a coleta das amostras em diferentes profundidades foram utilizados uma cavadeira tipo boca de lobo (Figura 27) e um trado manual tipo concha de 6” (Figura 28).



Figura 27 – Coleta de amostra de solo sob a vala de disposição de resíduos com utilização de cavadeira tipo boca de lobo.



Figura 28 – Coleta de amostra de solo sob a vala de disposição de resíduos com utilização de trado manual.

As Figuras 29, 30 e 31 ilustram as coletas de amostras de solos.



Figura 29 – Coleta de amostras de solo no ponto P1.



Figuras 30 e 31 – Coleta de amostras de solo no ponto P4.

A perfuração foi interrompida na profundidade de 1,20m no ponto P1 e de 0,80m nos pontos P2 e P3 devido à impenetrabilidade do substrato, considerando a metodologia de sondagem utilizada (trado manual).

Todas as amostras foram devidamente acondicionadas em recipientes individuais e estéreis, apropriados para as respectivas análises (Figura 32). Em seguida as amostras foram identificadas em cadeias de custódia (COC – *Chain of Custody*) e armazenadas em caixa térmica para preservação da temperatura (Figura 33).



Figura 32 – Amostras coletadas armazenadas em recipientes individuais.



Figura 33 – Amostras coletadas armazenadas em recipientes individuais e caixa térmica para preservação da temperatura.

As amostras foram encaminhadas para o laboratório Analytical Solutions, cadastrado na FEAM, em cumprimento à Deliberação Normativa COPAM N°. 120 de 2008 e acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), de acordo com os critérios da NBR ISSO IEC 17025:2005.

Todas as amostras foram submetidas às análises dos parâmetros, pH, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico total, coliformes fecais, coliformes totais e os metais

arsênio, chumbo, cobre, cromo total, cádmio, ferro total, manganês, níquel, zinco e mercúrio, utilizando-se os métodos analíticos apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Métodos analíticos utilizados para análise de qualidade do solo.

PARÂMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Carbono Orgânico Total (COT)	EMBRAPA, 1999.
pH (Potencial de Hidrogenação)	SMEWW 21º, 2005, Method 4500-H+B.
Nitrogênio Amoniacal	USEPA 9056 A Fev 2007/ USEPA 300.1. 1999.
Coliformes Fecais e Coliformes Totais	SM 9221B (1999) / SM 9221C (1999) / SM 9221E (1999).
Mercúrio	EPA 7470 A. 1994 – água.
Arsênio	USEPA 7061-A. 1992; USEPA 7062. 1994; USEPA 6010-C. 2007; USEPA 7741-A. 1994; USEPA 7742.1994; USEPA 7061-A. 1992; USEPA 7062. 1994.
Chumbo	
Cobre	
Cromo Total	
Cádmio	
Ferro Total	
Manganês	
Níquel	
Zinco	

A definição destes parâmetros, com a inclusão de alguns elementos que não constam na lista de valores orientadores (CONAMA, 2009; COPAM/CERH, 2010), como o nitrogênio amoniacal, se deu em função da sua associação aos compostos comumente encontrados nos lixiviados, que podem indicar a migração destes para o solo.

3.6.5 Balanço Hídrico

Para determinação do excedente hídrico foi utilizado o Método do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather, recomendado pela NBR 15849 (ABNT, 2010).

A sequência de cálculo do Balanço Hídrico proposta por Thornthwaite e Mather descrita por Koerner & Daniel (1997) encontra-se sintetizada no Quadro 8, que apresenta os principais critérios para determinação dos parâmetros utilizados no modelo.

Quadro 8 – Critérios de definição de parâmetros para o Método de Balanço Hídrico Thornthwaite-Mather

PARÂMETRO	CRITÉRIO
Temperatura Média Mensal (°C)	Dados coletados em estação meteorológica
Índice Mensal de Calor (H _m)	$H_m = (0,2T)^{1,514}$ para $T > 0^\circ\text{C}$ $H_m = 0$ para $T \leq 0^\circ\text{C}$
Índice Anual de Calor (H _a)	Obtido a partir da soma dos índices mensais de calor (H _m)
Evapotranspiração Potencial Diária (UPET), mm	UPET = 0 (para $T \leq 0^\circ\text{C}$) UPET = $0,53 (10 T/\text{Ha})^a$ (para $0^\circ\text{C} < T < 27^\circ\text{C}$) UPET = $-0,015T^2 + 1,093T - 14,208$ (para $T \geq 27^\circ\text{C}$) $a = (6,75 \times 10^{-7})H_a^3 - (7,71 \times 10^{-7})H_a^2 + 0,01792H_a + 0,49239$
Insolação Mensal (N)	Dados tabelados em função da latitude e mês do ano
Evapotranspiração Potencial (PET), mm	PET = UPET x N
Precipitação (P), mm	Dados coletados em estação meteorológica
Coefficiente de Escoamento Superficial (C)	Dados tabelados de acordo com o tipo de solo e declividade do terreno
Escoamento Superficial (R)	$R = P \times C$
Infiltração (IN), mm	$IN = P - R$
IN – PET, mm	IN - PET
Perda Acumulada de Água (WL), mm	IN – PET ≥ 0 entrar com valor de WL do mês anterior IN – PET = negativo soma-se o valor de WL do mês anterior com o valor do mês em análise
Água Acumulada na Zona de Raízes (WS), mm	IN – PET = negativo $\rightarrow WS = (WS_{\max})^{10b(IN - PET)}$ sendo $b = 0,455/WS_{\max}$ IN – PET $> 0 \rightarrow WS = IN - PET$
Varição na Quantidade Acumulada de Água (CWS), mm	Entrar com valor do último mês anterior ao período a ser estudado
Evapotranspiração real (AET)	IN – PET $\geq 0 \rightarrow AET = PET$ IN – PET $< 0 \rightarrow AET = PET + [(IN - PET) - CWS]$
Percolação (PERC), mm	IN – PET ≤ 0 (PET $>$ IN) $\rightarrow PERC = 0$ IN – PET $> 0 \rightarrow PERC = (IN - PET) - CWS$
Verificação dos Cálculos, mm	$CK = PERC + AET + CWS + R$
Taxa de Percolação, m/s	$FLUX = (PERC \times 0,001)/t$

Fonte: Catapreta (2008) apud Koerner & Daniel (1997).

Esses cálculos foram sistematizados em uma planilha eletrônica e os resultados serão apresentados no Capítulo 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Composição gravimétrica

Os resultados obtidos nos três ensaios de composição gravimétrica encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição gravimétrica dos RSU do município de Bugre – MG

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA								
17/10/2011			08/02/2012			27/04/2012		
Material	Peso (kg)	(%)	Material	Peso (kg)	(%)	Material	Peso (kg)	(%)
Matéria Orgânica	18,4	37,8	Matéria Orgânica	19,8	37,2	Matéria Orgânica	31,0	42,7
Plástico	10,3	21,1	Plástico	12,5	23,5	Plástico	17,5	24,1
Papel/Papelão	7,2	14,8	Papel/Papelão	7,6	14,3	Papel/Papelão	9,5	13,1
Vidro	2,0	4,1	Vidro	1,2	2,3	Vidro	0,1	0,1
Metal	3,7	7,6	Metal	2,3	4,3	Metal	0,5	0,7
Outros	7,1	14,6	Outros	9,8	18,4	Outros	14,0	19,3
TOTAL	48,7	100	TOTAL	53,2	100	TOTAL	72,6	100

A Tabela 8 apresenta a composição gravimétrica média dos RSU do município de Bugre e a média nacional descrita por Pereira Neto (2007).

Tabela 8 – Composição gravimétrica média dos RSU do município de Bugre

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA MÉDIA			
Material	Peso Médio (kg)	Porcentagem Média (%)	Porcentagem Média Nacional(%)
Matéria Orgânica	23,0	39,6	64,0
Plástico	13,4	23,1	4,7
Papel/Papelão	8,1	13,9	13,5
Vidro	1,1	1,9	1,5
Metal	2,2	3,8	1,5
Outros	10,3	17,7	14,8
TOTAL	58,1	100,0	100,0

A Figura 34 ilustra a composição dos RSU do município de Bugre.

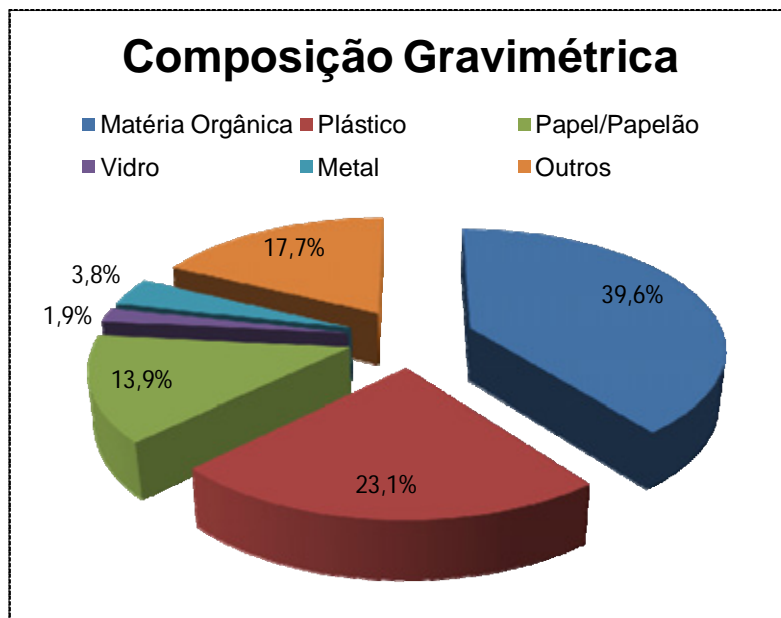


Figura 34 – Composição gravimétrica média dos RSU do município de Bugre.

Os resultados encontrados para a composição física média dos resíduos de Bugre diferem significativamente da composição física média dos RSU do Brasil apresentada na Tabela 2 desta dissertação, principalmente em relação aos percentuais de matéria orgânica e plástico.

No entanto, o percentual de matéria orgânica menor do que a média nacional aproxima-se daquele encontrado nos estudos gravimétricos realizados para elaboração do Plano Regional de Gestão Integrada da bacia do rio São Francisco em Minas Gerais (MYR, 2009) para municípios com população urbana de até 100.000 habitantes, de 46,15%.

4.2 Quantidade de resíduos

Realizando-se a pesagem dos resíduos provenientes da coleta, juntamente com a composição gravimétrica, obteve-se uma média diária de 1,32 toneladas/dia, conforme Tabela 9.

A geração *per capita* foi estimada em 478 g/habitantexdia, considerando que o serviço de limpeza urbana atende a 100% da população da área urbana (1.528 habitantes) e a 50% da zona rural (1231 habitantes).

Tabela 9 – Quantidade média diária de resíduos sólidos de Bugre – MG.

QUANTIDADE MÉDIA DE RESÍDUOS		
17/10/2011	08/02/2012	27/04/2012
1,46 toneladas	1,22 toneladas	1,28 toneladas
Média: 1,32 toneladas/dia		

4.3 Caracterização geotécnica

4.3.1 Sondagem SPT

Foram executados dois furos de sondagem SPT na área de estudo, até a profundidade de 12,45 metros. A Figura 24 apresenta a localização dos furos de sondagem e das valas de RSU. As sondagens mostraram que existem três camadas principais de solo. A primeira é composta de argila siltosa com detritos vegetais, cor marrom escura, com espessura aproximada de 2,0 metros. Abaixo desta, está uma camada intermediária composta de argila siltosa, variando entre média a rija, com espessura que varia entre 2,8 e 5,6 metros. A terceira camada é constituída por silte argiloso, rijo, cor vermelha escura com espessura entre 3,4 e 5,7 metros.

A Figura 35 apresenta o perfil geotécnico estimado a partir dos resultados da sondagem.

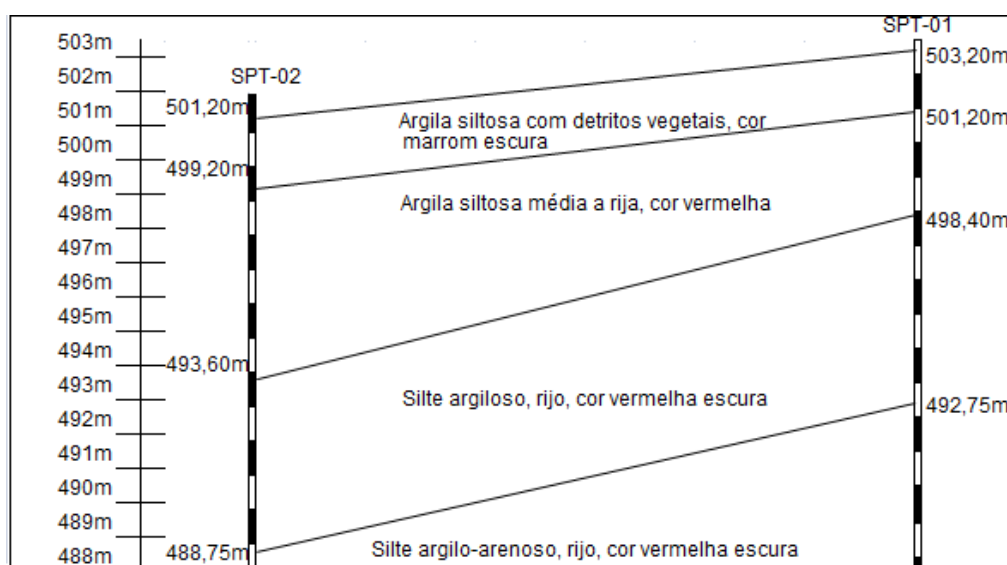


Figura 35 – Perfil geotécnico.

O nível freático não foi encontrado em nenhum dos dois furos executados.

A Figura 36 apresenta a distância entre a base das valas e os níveis atingidos nos furos de sondagem, utilizada no fator profundidade do freático da Tabela 14.

Pode-se observar que o fundo das valas encontra-se na camada de argila siltosa média a rija de cor vermelha.

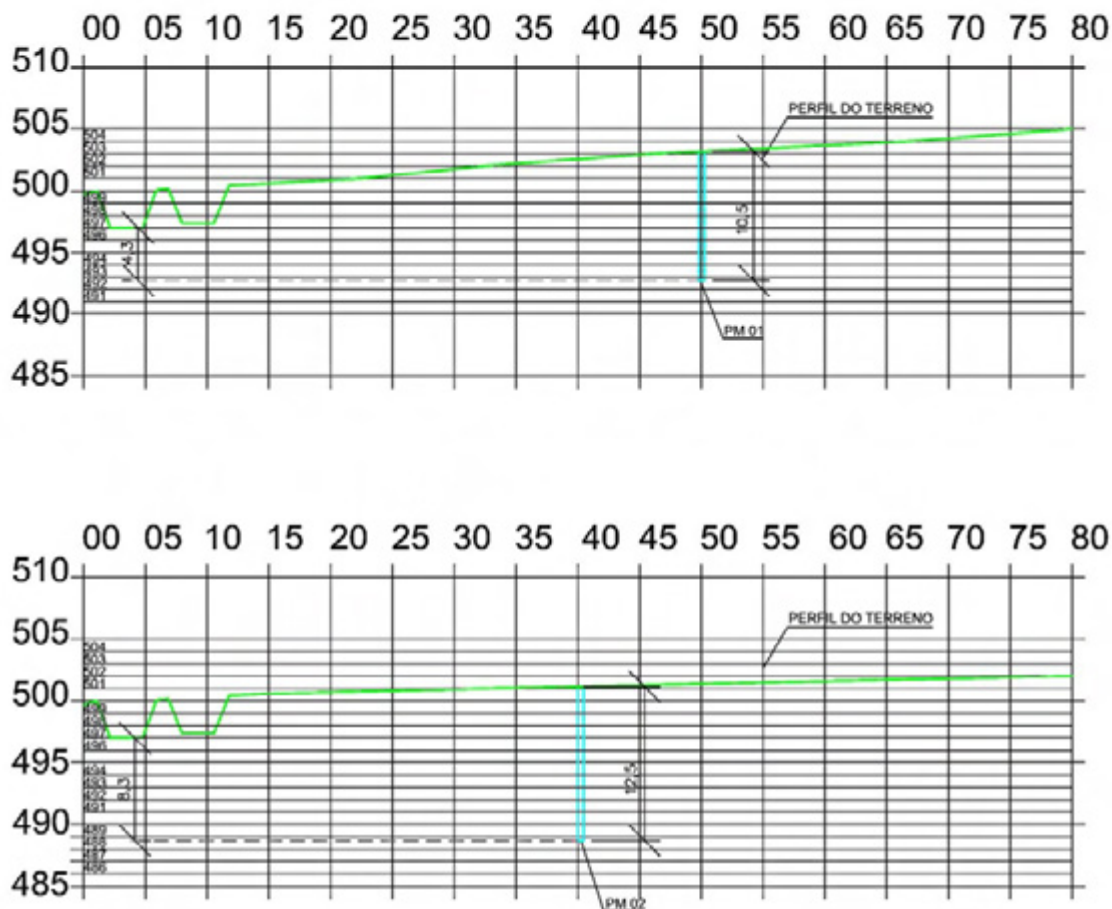


Figura 36 – Profundidade do freático em relação à base das valas de resíduos.

Os resultados dos ensaios de sondagem SPT encontram-se no Anexo A.

4.3.2 Ensaio de Permeabilidade

Os resultados dos ensaios de permeabilidade *in situ* realizados nos dois furos de sondagem SPT encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de permeabilidade *in situ*

ENSAIO DE PERMEABILIDADE			
SPT-01		SPT-02	
Profundidade (m)	Coefficiente de permeabilidade k (cm/s)	Profundidade (m)	Coefficiente de permeabilidade k (cm/s)
0,00 – 1,00	1,71 X 10 ⁻⁴ cm/s	0,00 – 1,00	1,11 x 10 ⁻³ cm/s
1,00 – 2,00	1,00 X 10 ⁻⁵ cm/s	1,00 – 2,00	8,89 x 10 ⁻⁴ cm/s
2,00 – 3,00	1,97 X 10 ⁻⁵ cm/s	2,00 – 3,00	5,10 x 10 ⁻⁵ cm/s
3,00 – 4,00	1,04 X 10⁻⁵ cm/s	3,00 – 4,00	4,44 x 10⁻⁶ cm/s
4,00 – 5,00	8,88 X 10 ⁻⁶ cm/s	4,00 – 5,00	2,07 x 10 ⁻⁶ cm/s
5,00 – 6,00	2,67 X 10 ⁻⁶ cm/s	5,00 – 6,00	Não realizado

Considerando que as valas de disposição de resíduos da área de estudo têm profundidade de cerca de 3,0 m, utilizaram-se neste trabalho os valores dos coeficientes de permeabilidade obtidos a partir dessa profundidade, destacados em negrito na Tabela 10.

4.3.3 Caracterização granulométrica

A Tabela 11 apresenta os parâmetros obtidos nos ensaios de granulometria conjunta, teor de umidade e limites de Atterberg realizados na amostra de solo coletada na trincheira representada pelo ponto PC na Figura 16.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo

Parâmetro	Resultado
Peso Específico dos Sólidos (γ_s)	2,739 g/cm ³
Teor de Umidade	1,93%
Limite de Liquidez (LL)	67%
Limite de Plasticidade (LP)	35%
Índice de Plasticidade (IP)	32%

Os solos foram classificados de acordo com a ASTM D 2487-85 e a Carta de Plasticidade de Casagrande como sendo “Argila de Alta Plasticidade (CH)”, apresentando-se como um solo bem graduado, conforme curva granulométrica da Figura 37.

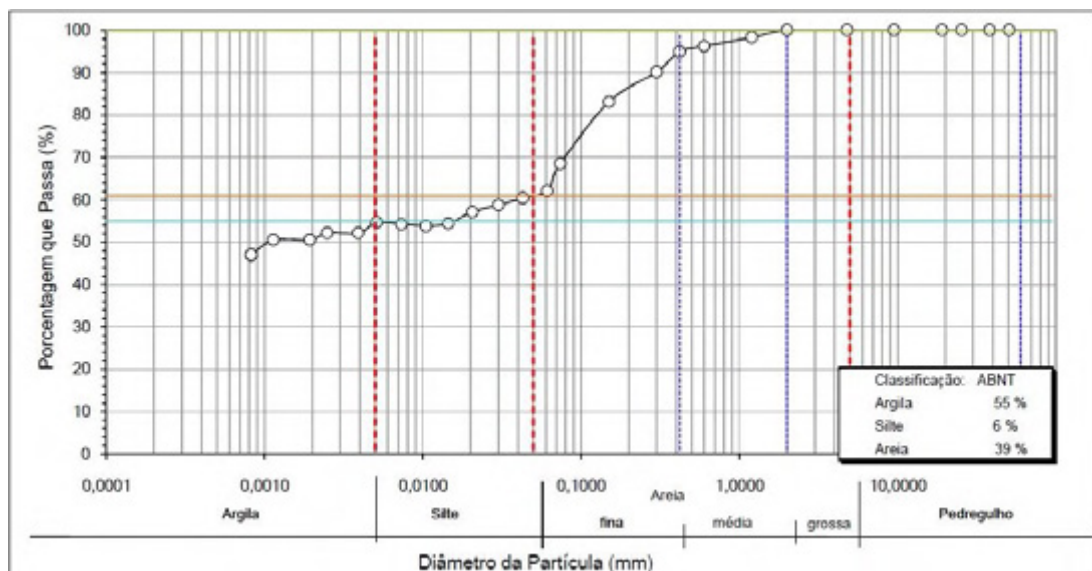


Figura 37 – Curva granulométrica do solo.

4.4 Balanço Hídrico

Para elaboração do balanço hídrico foram utilizados dados pluviométricos da Estação Climatológica Fábrica da CENIBRA, localizada no município de Belo Oriente, distante cerca de 19 km da área de estudo.

Segundo dados da Estação Climatológica, em 2011 a temperatura média anual foi de 22,4°C, enquanto a precipitação média anual foi igual a 1.244,40 mm. A Tabela 12 apresenta os valores das médias mensais de temperatura do município de Bugre, enquanto a Figura 38 ilustra estas médias.

Tabela 12– Temperaturas médias mensais no município de Bugre – MG.

Mês	Temperatura (°C)
Janeiro	25,0
Fevereiro	26,1
Março	24,3
Abril	23,6
Maio	20,5
Junho	19,4
Julho	19,3
Agosto	21,8
Setembro	21,8
Outubro	22,3
Novembro	22,0
Dezembro	23,0

Fonte: Estação Climatológica Fábrica da CENIBRA (2011).

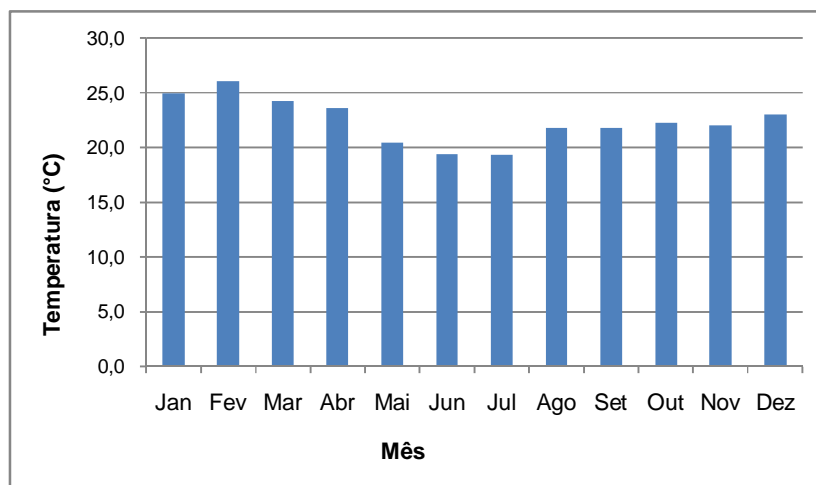


Figura 38 – Temperaturas médias mensais no município de Bugre – MG.

Fonte: Estação Climatológica Fábrica da CENIBRA (2011).

A Tabela 13 apresenta os valores das médias mensais de precipitação pluviométrica do município de Bugre, enquanto a Figura 39 ilustra estas médias.

Tabela 13 – Precipitações médias mensais no município de Bugre – MG.

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	136,1
Fevereiro	54,4
Março	127,5
Abril	28,7
Mai	73,6
Junho	10,7
Julho	0,3
Agosto	4,3
Setembro	5,1
Outubro	179,6
Novembro	265,2
Dezembro	358,9

Fonte: Estação Climatológica Fábrica da CENIBRA (2011).

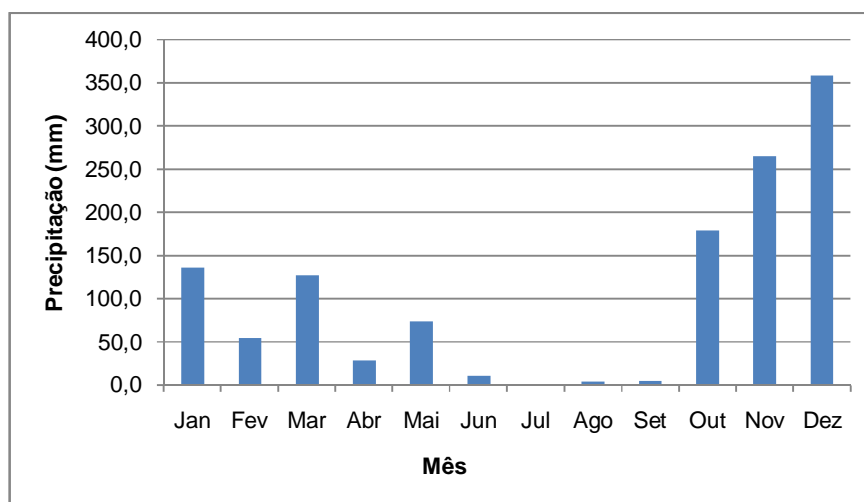


Figura 39 – Precipitações médias mensais no município de Bugre – MG.

Fonte: Estação Climatológica Fábrica da CENIBRA (2011).

Os dados foram lançados em planilha eletrônica, de acordo com a sequência de cálculo do Balanço Hídrico proposta por Thornthwaite e Mather descrita por Koerner e Daniel (1997) e o resultado está apresentado na Figura 40.

De acordo com o resultado do balanço hídrico, o excedente hídrico encontrado foi igual a 157,74 mm/ano.

BALANÇO HÍDRICO - DEPÓSITO DE RESÍDUOS DE BUGRE - MG

Coeficiente de Escoamento Superficial (C) = 0,18 Capacidade de Campo = 0,25 Espessura da Camada (mm) = 1000	Perc = P - ET - ES - CWS												
	WSmax= 250 mm												
Parâmetros	Mês												TOTAL /
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag	Set	Out	Nov	Dez	
Média Mensal de Temperatura (°C)	25,00	26,10	24,30	23,60	20,50	19,40	19,30	21,80	21,80	22,30	22,00	23,00	22,43
Precipitação (P) em mm	136,10	54,40	127,50	28,70	73,60	10,70	0,30	4,30	5,10	179,60	265,20	358,90	1244,40
Média Mensal de Luz Solar (N)	34,20	30,00	31,50	29,10	28,80	27,60	28,50	29,70	30,00	32,40	32,70	34,20	30,73
Cálculos													
Índice Mensal de Calor (Hm)	11,44	12,21	10,95	10,48	8,47	7,79	7,73	9,29	9,29	9,62	9,42	10,08	116,77
Parâmetro de Evapotranspiração Máxima (ETp)	132,02	129,57	112,92	96,66	66,26	54,99	56,02	80,21	81,02	92,83	90,44	106,22	
Escoamento Superficial (ES) em mm	24,50	9,79	22,95	5,17	13,25	1,93	0,05	0,77	0,92	32,33	47,74	64,60	223,99
Infiltração (IN = P - ES - ETp) em mm	-20,42	-84,97	-8,37	-73,12	-5,90	-46,21	-55,77	-76,68	-76,84	54,44	127,02	188,08	
Perda de Água Acumulada (WL) em mm	-20,42	-105,39	-113,76	-186,88	-192,78	-239,00	-294,77	-371,46	-448,29	-448,29	-448,29	-448,29	
Água Armazenada (WS) em mm	250,00	160,74	155,20	114,24	111,45	91,83	72,69	52,71	38,20	92,64	219,66	250,00	
Varição Quantidade Água Armazenada (CWS) em mm	0,00	-89,26	-5,54	-40,96	-2,79	-19,62	-19,14	-19,98	-14,51	54,44	127,02	30,34	
Evapotranspiração (ET) em mm	111,60	129,57	110,09	64,50	63,14	28,40	19,39	23,50	18,69	92,83	90,44	106,22	1020,41
Excedente hídrico (PERC) em mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	157,74	157,74
- Coeficiente de Escoamento Superficial (C): Valor considerado em função do tipo de solo e declividade do terreno (Koerner e Daniel, 1997) - Capacidade de campo adotada em função do tipo de solo.													

Figura 40 – Balanço Hídrico da área do depósito de resíduos de Bugre – MG.

4.5 Enquadramento do depósito de resíduos como Aterro Sanitário de Pequeno Porte

Verificou-se que o depósito de resíduos sólidos de Bugre pode ser enquadrado como aterro sanitário de pequeno porte em função da quantidade de resíduos gerada diariamente, considerando que, na pesagem realizada juntamente com a composição gravimétrica, obteve-se uma média diária de 1,32 toneladas de resíduos, sendo, portanto, menor do que a quantidade máxima de 20 toneladas/dia prevista na NBR 15849/2010 (ABNT, 2010).

Quanto à área utilizada para o depósito de resíduos, os fatores recomendados na supracitada norma da ABNT também foram atendidos, visto que o subsolo na base do aterro apresenta características favoráveis, sendo pouco permeável; o local está distante aproximadamente 250 metros do curso d'água mais próximo; o nível freático não foi encontrado nos ensaios de sondagem realizados até a profundidade de 12,45m; a área não está sujeita à ocorrência de inundações; o terreno apresenta características topográficas favoráveis, com declividade superior a 1% e inferior a 30%; e o depósito está situado a uma distância maior do que 500 m de núcleos populacionais vizinhos.

4.6 Condições para dispensa de impermeabilização

Os fatores utilizados para a análise da dispensa de impermeabilização complementar previstos na NBR 15849/2010 da ABNT foram a fração orgânica dos resíduos, a profundidade do freático, o coeficiente de permeabilidade e o excedente hídrico. Os resultados obtidos e os métodos utilizados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Fatores de análise da dispensa de impermeabilização complementar.

FATORES DE ANÁLISE DE IMPERMEABILIZAÇÃO		
Fator	Método	Resultado
Fração orgânica dos resíduos	Composição gravimétrica	39,6% (>30%)
Profundidade do freático	Sondagem SPT	4,3 (3 < n < 6)
Coeficiente de permeabilidade	Ensaio de infiltração associado à sondagem SPT	$1 \times 10^{-6} < k < 1 \times 10^{-5}$ cm/s
Excedente hídrico	Balanço Hídrico	157,74 mm/ano

Esses resultados foram conjugados na tabela de critérios para a dispensa de impermeabilização complementar apresentada pela NBR 15849/2010 da ABNT.

A Tabela 15 apresenta a conjugação dos fatores obtidos para avaliação da dispensa de impermeabilização complementar.

Tabela 15 – Conjugação dos fatores para dispensa de impermeabilização complementar

Limites máximos do excedente hídrico (mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar		Fração orgânica dos resíduos ≤ 30 %				Fração orgânica dos resíduos > 30 %			
		Profundidade do freático (m)				Profundidade do freático (m)			
		1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n ≤ 9	n ≥ 9	1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n ≤ 9	n ≥ 9
Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	$K \leq 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	$1 \times 10^{-6} < k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
	$1 \times 10^{-5} < k \leq 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

Como o excedente hídrico obtido foi menor do que 300 mm/ano considerou-se que os critérios para dispensa da impermeabilização complementar foram atendidos no Aterro Sanitário de Pequeno Porte de Bugre - MG.

4.7 Ensaios químicos

A partir dos resultados analíticos dos ensaios químicos, foi realizada a comparação dos parâmetros obtidos em cada amostra com os padrões de referência do solo local correspondente à média das amostras coletadas no ponto P1 (*background*), com o objetivo de avaliar a alteração do solo abaixo das valas de disposição de resíduos pela possível migração de lixiviado.

Com o objetivo de avaliar a ocorrência de contaminação do solo por lixiviado, os resultados das amostras foram comparados com os valores de referência adotados nesta dissertação, representados pelos Valores de Investigação (VI) – Cenário Residencial e Cenário Industrial estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº. 420/2009 e pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº. 02/2010, acima dos quais existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando o cenário de exposição padronizado.

Os compostos não contemplados nas listagens do CONAMA e do COPAM/CERH, foram comparados aos resultados dos valores de *background* da área e, em alguns casos, a valores referenciados na literatura.

Os resultados das análises dos nove pontos de coleta, além dos valores de referência, encontram-se sintetizados na Tabela 16.

As cadeias de custódia (COC) são apresentadas no Anexo B, enquanto que os laudos laboratoriais são apresentados no Anexo C.


Tabela 16 – Resultados dos ensaios químicos do solo

RESULTADOS ANALÍTICOS EM SOLOS DO DEPÓSITO DE RESÍDUOS DE BUGRE – MG

Compostos	Unid.	PONTO 2			PONTO 3		PONTO 4			PONTO 5	Ponto 1 Background	VI – Valor de Investigação**	
		0	0,4m	0,8m	0	0,8m	0	0,8m	1,2m	0,2m		Cenário Residencial	Cenário Industrial
Carbono Orgânico Total	%	0,79	1,17	1,46	1,30	1,49	1,66	1,75	1,00	1,92	0,96	-	-
Matéria Orgânica* (MO)	%	1,36	2,02	2,52	2,24	2,57	2,86	3,02	1,72	3,31	1,65	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/Kg	178,67	324,31	269,25	437,59	324,16	188,29	194,54	176,73	8,12	134,89	-	-
pH	N.A.	5,3	6,1	3,6	6,3	8,0	8,9	8,1	8,4	5,8	4,6	-	-
Coliformes Fecais	UFC/g	1,0x10 ³	<10	1,2x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	<10	1,7x10 ³	>3,0x10 ³	<10	<10	-	-
Coliformes Totais	UFC/g	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	3,0x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	>3,0x10 ³	1,0x10 ³	-	-
Arsênio	mg/Kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	55	150
Cádmio	mg/Kg	1,660	1,933	1,800	1,274	1,517	12,545	2,129	3,043	1,790	1,911	8	20
Chumbo	mg/Kg	N.D.	N.D.	N.D.	1,244	N.D.	29,085	7,444	18,578	N.D.	1,334	300	900
Cobre	mg/Kg	3,374	4,758	4,589	3,146	6,329	119,107	17,868	42,130	5,350	6,309	400	600
Cromo Total	mg/Kg	78,167	105,284	92,948	78,096	93,408	83,798	84,949	88,404	85,013	101,247	300	400
Ferro Total	mg/Kg	51551,49	59187,41	59229,03	50935,48	55954,11	45439,92	55755,73	53872,51	56283,81	58780,04	-	-
Manganês	mg/Kg	26,476	30,141	225,079	31,604	203,483	1003,204	109,821	100,447	33,898	34,252	-	-
Mercurio	mg/Kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	36	70
Níquel	mg/Kg	0,774	0,747	0,516	N.D.	0,522	9,533	2,536	1,824	1,077	2,192	100	130
Zinco	mg/Kg	11,897	13,089	15,212	11,799	22,945	412,096	97,335	443,766	17,781	15,878	1000	2000

* Valores obtidos multiplicando-se os resultados de Carbono Orgânico Total (COT) por 1,724, de acordo com a metodologia estabelecida por Embrapa (1997).

** Valores limitadores estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 420/2009 e pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH Nº 02/2010.

 Valores acima do background – P1.

 Valores acima do Valor de Investigação – Cenário Residencial

4.7.1 Matéria Orgânica

Os teores de Matéria Orgânica (MO) no solo para avaliação da possível migração dos lixiviados foram analisados a partir dos resultados obtidos para o Carbono Orgânico Total (COT), de acordo com a metodologia estabelecida por Embrapa (1997).

A presença de MO em solos que sofrem influência de lixiviados, em concentrações mais elevadas do que os teores da composição química natural dos solos, ou seja, nas áreas não afetadas, é indicativo de que a pluma de contaminação dos lixiviados já tenha migrado e afetado o solo até determinada profundidade (LEITE et al, 2004). A Figura 41 apresenta os teores de MO encontrados no solo do depósito de resíduos de Bugre em diferentes profundidades.

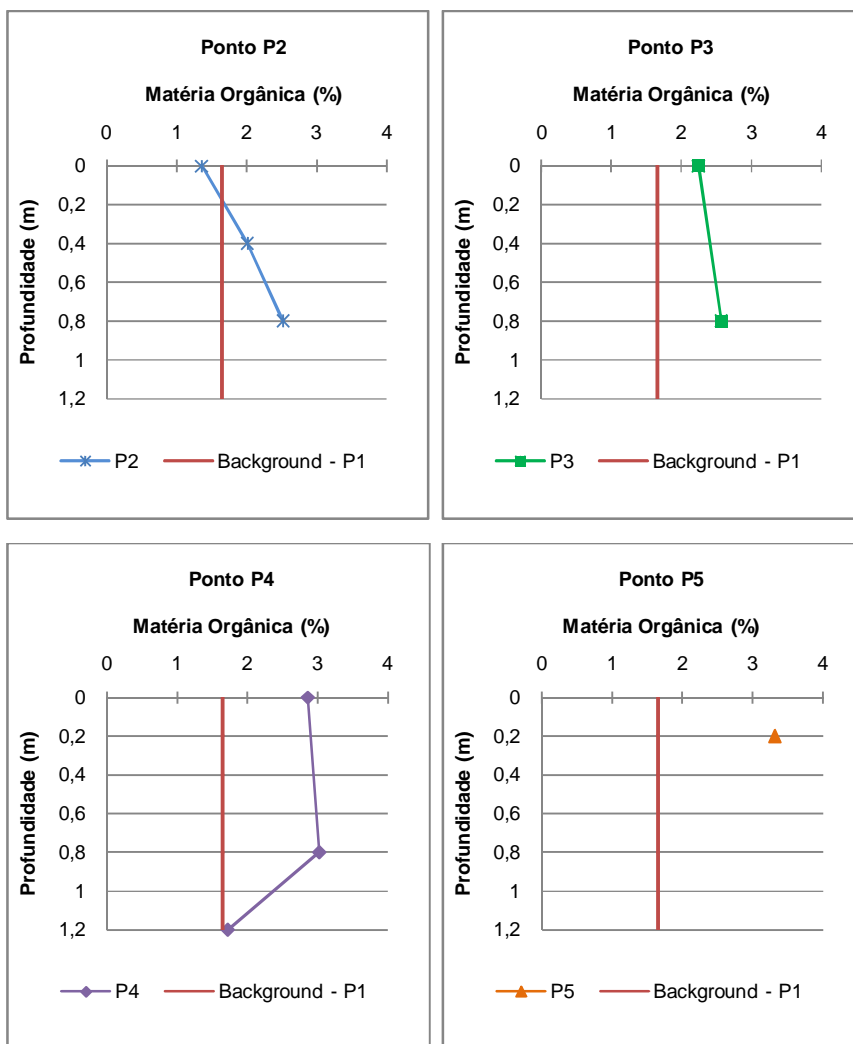


Figura 41 – Matéria Orgânica no solo em diferentes profundidades.

Observa-se que as amostras de solo coletadas nos pontos P2, P3, P4 e P5, com exceção de uma amostra coletada no ponto P2, apresentaram percentuais de MO maiores do que o valor obtido no ponto P1 utilizado como *background*, o que indica uma possível migração dos lixiviados. O ponto P4, localizado a 0,8m abaixo da vala em que a disposição de resíduos ocorreu há cerca de 3 anos e o ponto P5, situado a jusante da área de disposição em uma profundidade de 0,2m apresentaram os maiores teores de Matéria Orgânica, 3,02 % e 3,31%, respectivamente.

Segundo Mello (1998) apud Nascimento (2008), valores de MO abaixo de 1,6% indicam um baixo teor de material orgânico. Os valores entre 1,6% e 3,0% indicam um teor médio e acima de 3,0% considera-se um alto teor de material orgânico no solo.

4.7.2 Potencial Hidrogeniônico – pH

Segundo Raij et al. (1991), a faixa de variação do pH dos solos é ampla, entre 3 e 10.

O solo não afetado pela disposição de resíduos apresenta uma reação ácida, uma vez que a média do pH das três amostras coletadas no ponto P1 (*background*) está na faixa de 4,6.

Já os valores do pH dos solos coletados abaixo das áreas de disposição de resíduos, apresentaram-se bastante alterados, principalmente nos pontos P3 e P4, com valores entre 6,3 e 8,9. O ponto P2, em que a disposição dos resíduos ocorreu mais recentemente, apresentou valores mais próximos do valor obtido no *background*, com pH variando entre 3,6 e 6,1. Já no ponto P5, em que a amostra foi coletada mais superficialmente, o pH também apresentou-se ácido (pH=5,8).

A alteração do pH das amostras (Figura 42) pode ser explicada pela passagem do lixiviado no solo, observando-se a tendência do solo possuir valores semelhantes à faixa de valores de pH de lixiviados apresentada na Tabela 4 desta dissertação, entre 5,7 a 8,6.

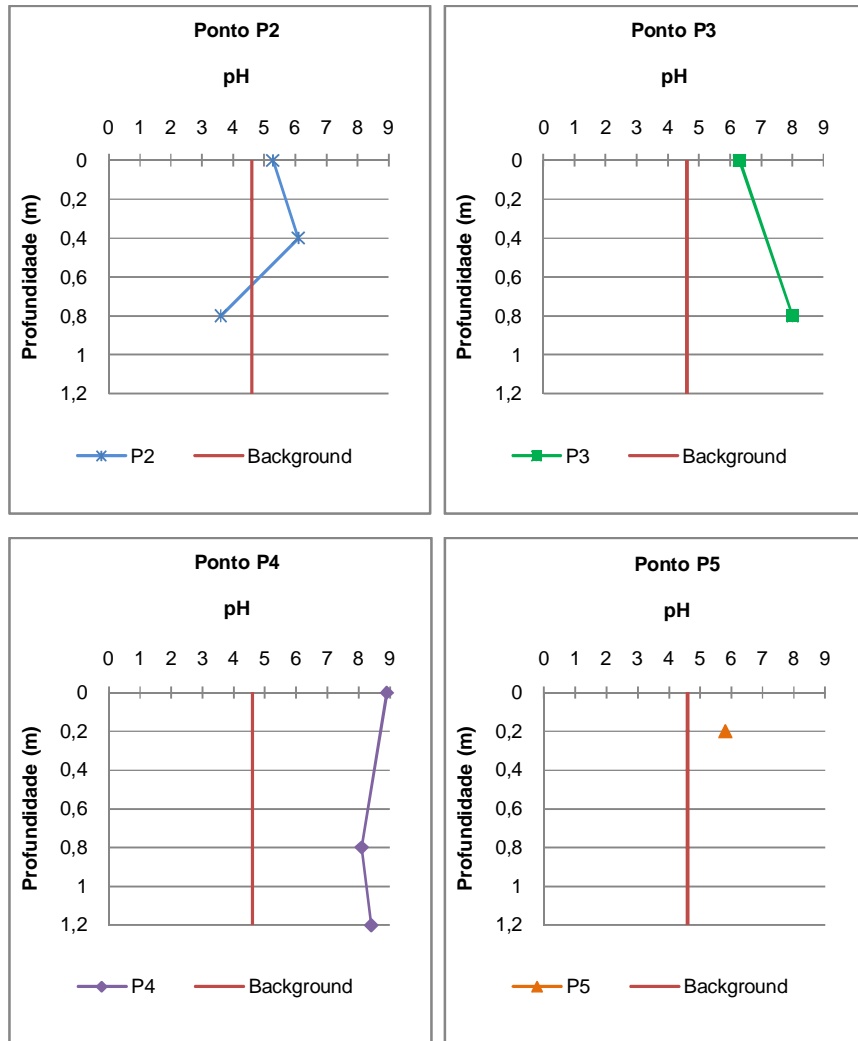


Figura 42 – Potencial Hidrogeniônico nos pontos de amostragem, em diferentes profundidades.

4.7.3 Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio presente no lixiviado encontra-se basicamente na forma orgânica e amoniacal, variando conforme a idade e as características do efluente. Em longo prazo, o nitrogênio orgânico vai sendo convertido em nitrogênio amoniacal, o qual se torna o componente mais significativo do lixiviado, podendo ser um dos responsáveis pelo seu forte odor, devido à liberação da amônia livre, mais conhecida como gás amoníaco, especialmente quando o pH do lixiviado estiver elevado (MARINGONDA, 2008).

O nitrogênio amoniacal é formado pelo íon amônio (NH_4^+) e a amônia livre (NH_3) e, em geral, migra rapidamente apresentando valores elevados de concentração em lixiviados, costumando ser indicador de contaminação (RITTER, FERREIRA, 2011).

Nas análises realizadas no solo do depósito de resíduos de Bugre foram encontradas concentrações de nitrogênio amoniacal da ordem de 135mg/Kg como valor de referência (*background* obtido no ponto P1).

A Figura 43 apresenta o perfil de concentração do nitrogênio amoniacal nos pontos P2, P3 e P4 e sua comparação com os valores obtidos para *background*, visto que não há padrão de referência para este composto estabelecido pelo CONAMA e pelo COPAM/CERH.

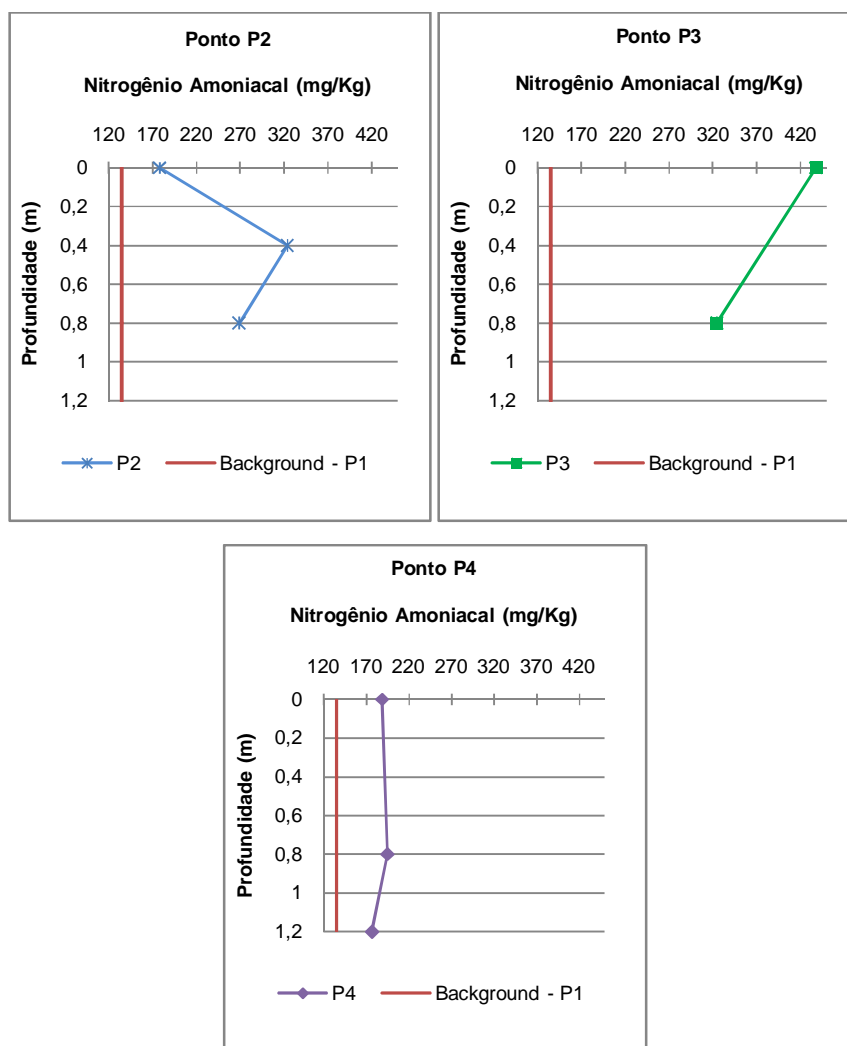


Figura 43 – Nitrogênio amoniacal no solo em diferentes profundidades.

Todas as amostras coletadas abaixo das valas de disposição de resíduos nos pontos P2, P3 e P4 apresentaram valores mais elevados do que aquele obtido no *background*. Como esse composto, em geral, não ocorre naturalmente em solos, sua presença indica uma migração do lixiviado para o solo.

Observa-se que os pontos P2 e P3, onde a disposição de resíduos ocorreu mais recentemente, apresentaram valores mais elevados do que o ponto P4, em que a disposição de resíduos ocorreu há mais de 3 anos.

Cabe destacar que os valores obtidos para o nitrogênio amoniacal são equivalentes à concentração deste composto em lixiviados de aterros sanitários mais antigos, com idade acima de 5 anos, que apresentam valores entre 300 e 500 mg/L (entre 5 e 10 anos) e 50 a 200 mg/L para aterros entre 10 e 15 anos (El-Fadel et al. (2002).

A análise realizada no ponto P5, localizado a jusante da área do depósito apresentou uma concentração muito baixa de nitrogênio amoniacal (8,12 mg/kg).

4.7.4 Coliformes Fecais e Coliformes Totais

Embora não haja valores de referência para coliformes em solo, sua detecção está associada com a possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças.

A amostra obtida para *background* no ponto P1 apresentou concentração de coliformes fecais <10 UFC/g e de coliformes totais de $1,0 \times 10^3$ UFC/g.

Os resultados das análises de coliformes fecais indicam que todas as amostras apresentaram concentrações iguais ou superiores aos valores de *background*.

Quanto aos coliformes totais, os valores de *background* foram superados em todas as amostras coletadas nos pontos P2, P3, P4 e P5 que apresentaram concentrações superiores a $3,0 \times 10^3$ UFC/g.

Esses valores são indicativos da migração de lixiviado para o solo e encontram-se sintetizados na Tabela 16.

4.7.5 Metais

As análises de metais no solo foram realizadas nas 12 amostras coletadas nos 5 pontos.

No ponto P1 foram coletadas três amostras de solo e, para fins de utilização como *background*, foi utilizada a média dos resultados encontrados para cada parâmetro analisado. Para o elemento chumbo, somente em uma das três amostras foi detectada concentração acima do Limite de Quantificação (LQ) do método analítico utilizado. Neste caso, optou-se pela utilização da concentração encontrada e não da média.

Com exceção do cádmio e do cromo total, os valores das concentrações de metais obtidos na amostra de referência (*background*) apresentaram-se bem inferior aos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) utilizados pelo COPAM/CERH como valores orientadores para solos no Estado de Minas Gerais.

Os parâmetros cádmio e cromo total apresentaram valores bem maiores que os VRQ nas amostras de *background*. Considerando o histórico de utilização da área de estudo, não há uma explicação com base em atividades antropogênicas para tal fato, uma vez que não há informações sobre possíveis fontes de cádmio e cromo total na região.

4.7.5.1 Arsênio (As)

Nas doze amostras analisadas não foram detectadas concentrações de arsênio acima do LQ do método analítico utilizado de 2,00mg/kg.

4.7.5.2 Cádmio (Cd)

Quanto ao cádmio, a média dos resultados das três amostras coletadas na área em que não houve disposição de resíduos (ponto P1) apresentou teores de 1,911mg/kg, enquanto o valor de referência de qualidade para solos no Estado de Minas Gerais é menor do que 0,4mg/kg.

A Figura 44 apresenta os perfis das concentrações encontradas para o cádmio nos cinco pontos amostrados.

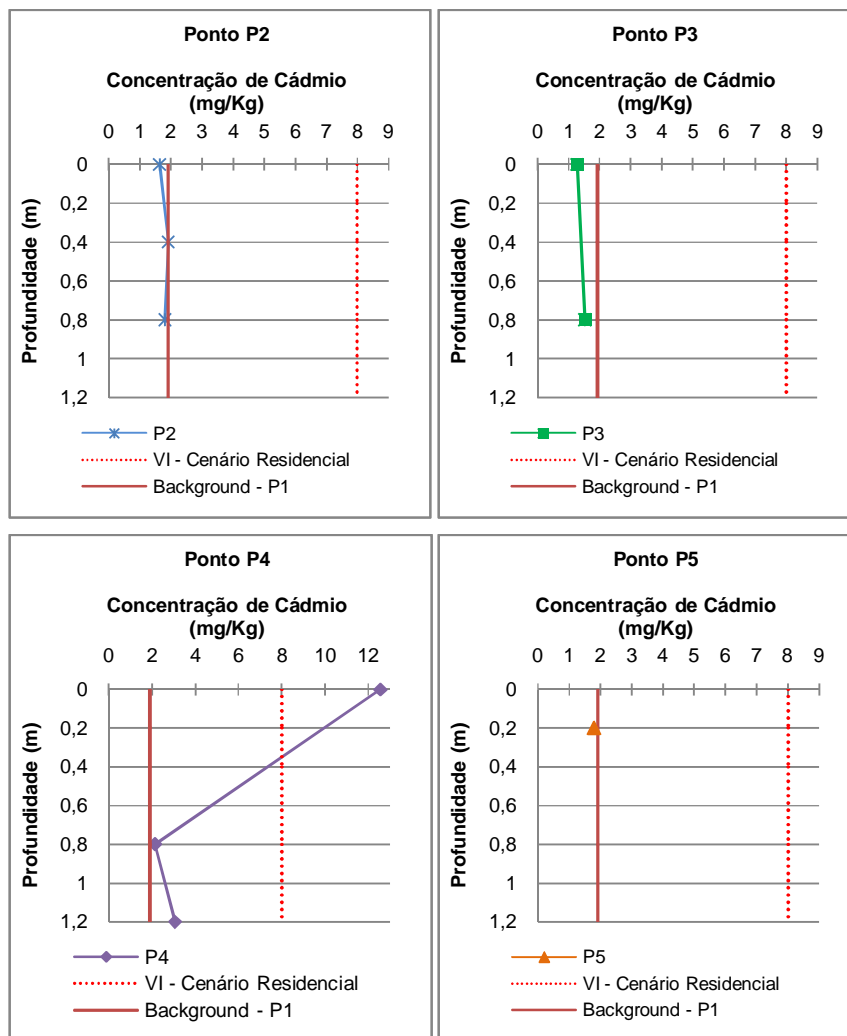


Figura 44 – Perfis de concentração de cádmio de acordo com a profundidade.

Observa-se que os valores encontrados nos pontos P2, P3 e P5 para o cádmio foram inferiores aos valores de *background*, mas superiores ao VRQ estabelecido para este elemento ($< 0,4\text{mg/kg}$). Já o ponto P4, situado imediatamente abaixo da vala de disposição de resíduos mais antiga do depósito, apresentou uma concentração muito elevada de cádmio, superando, inclusive, o Valor de Investigação – VI para o Cenário Residencial.

No entanto, observa-se no ponto P4 um decréscimo da concentração de cádmio com a profundidade, visto que as análises das amostras coletadas a 0,8m e 1,2m detectaram concentrações de 2,129mg/kg e 3,043mg/kg, respectivamente, bem inferiores àquela detectada na profundidade 0 (12,545mg/kg) e ao VI para o Cenário Residencial (8 mg/kg).

É importante destacar que, ao analisar a média das concentrações de cádmio nas três profundidades de coleta no ponto P4 (5,91mg/kg), observa-se que o VI para o Cenário Residencial não foi atingido.

4.7.5.3 Chumbo (Pb)

Nos pontos P2 e P5 não foram detectadas concentrações de chumbo acima do Limite de Quantificação (LQ) de 0,50mg/kg.

No ponto P3 (Figura 45) foi detectada uma concentração muito pequena de chumbo (1,244mg/kg) na amostra coletada imediatamente abaixo da vala de disposição de resíduos, enquanto na amostra coletada a uma profundidade de 0,8m, não foi atingido o LQ.

O ponto P4 apresentou as maiores concentrações de chumbo, obtendo-se 29,085mg/kg na amostra coletada na camada imediatamente inferior à vala de disposição, enquanto que na profundidade 0,8m obteve-se o valor de 7,444mg/kg e a 1,2m o valor foi de 18,578mg/kg.

Esses valores, embora tenham superado o valor de *background*, foram inferiores ao VI – Cenário Residencial, concluindo-se que, apesar do solo ter sofrido alteração de qualidade em relação ao elemento chumbo, não se pode considerar que houve contaminação por este elemento.

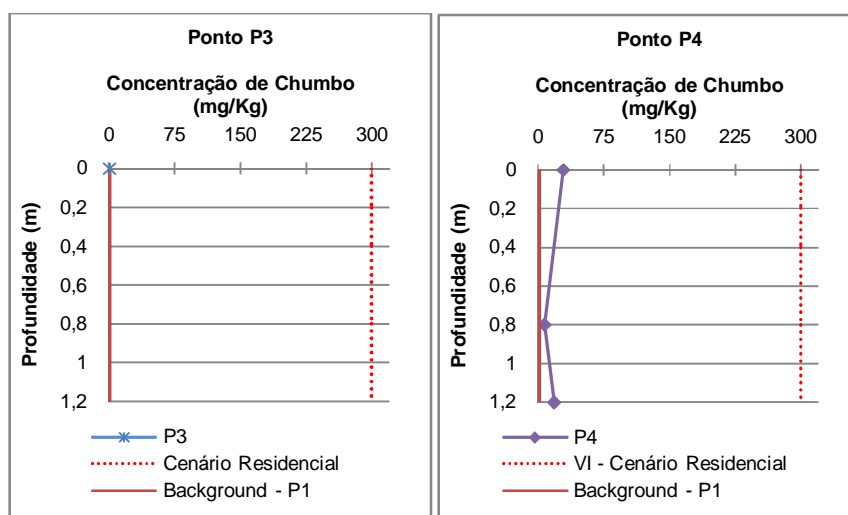


Figura 45 – Perfis de concentração de chumbo de acordo com a profundidade.

4.7.5.4 Cromo total (Cr)

Em relação ao cromo total, as três amostras coletadas para *background* apresentaram uma média de 101,22mg/kg, superior ao VRQ que deve ser menor do que 75 mg/kg.

Apesar disso, todas as amostras apresentaram concentrações de cromo total bem inferiores ao Valor de Investigação (VI), conforme perfis de concentração apresentados na Figura 46.

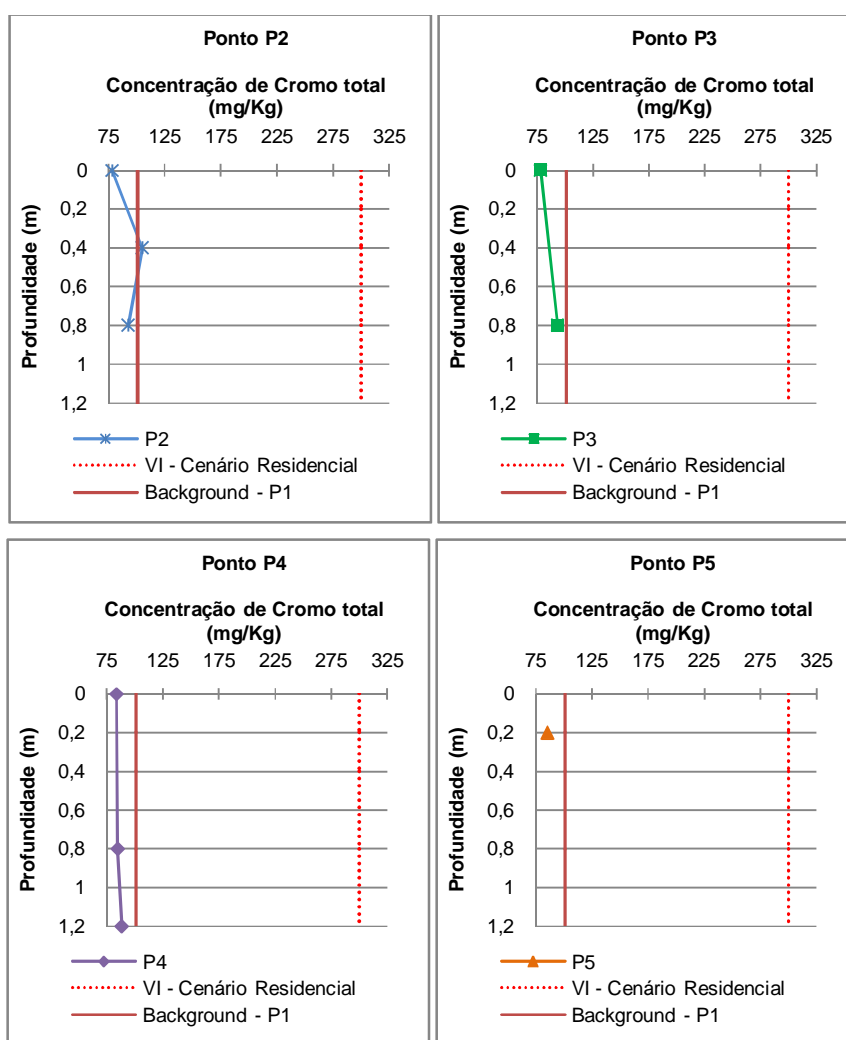


Figura 46 – Perfis de concentração de cromo total de acordo com a profundidade.

4.7.5.5 Cobre (Cu)

A Figura 47 apresenta os perfis de concentração do cobre de acordo com a profundidade.

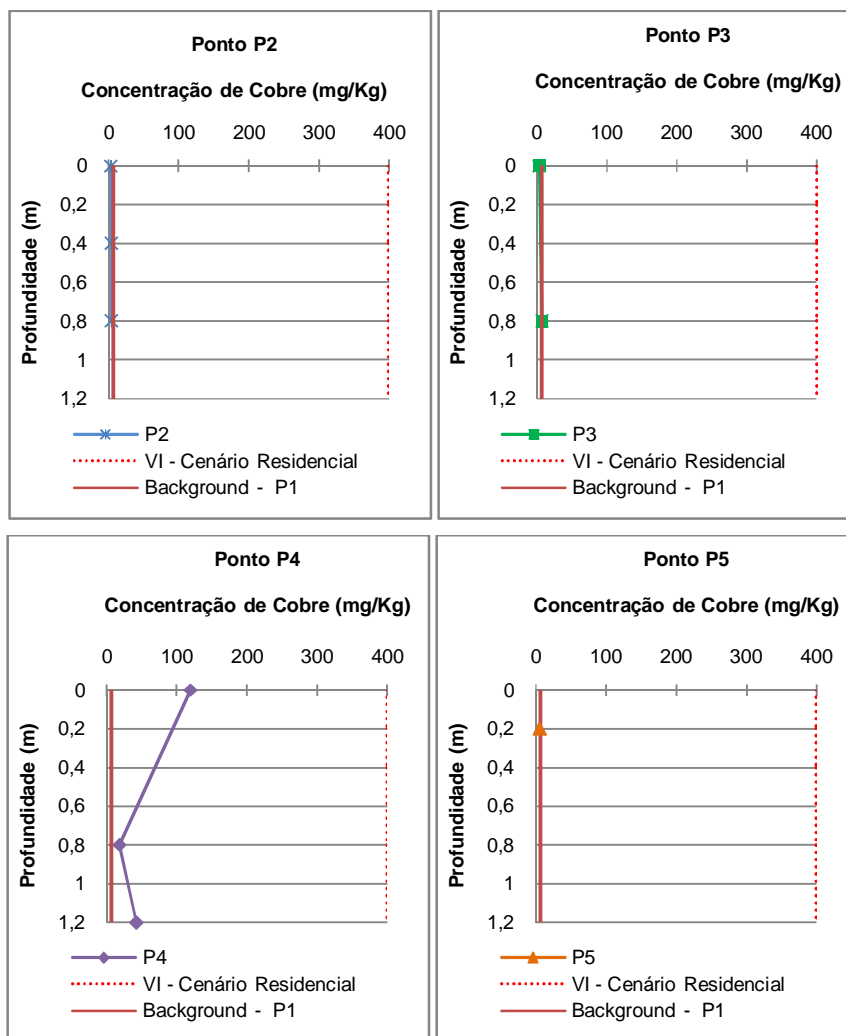


Figura 47 – Perfis de concentração de cobre de acordo com a profundidade.

As amostras coletadas nos pontos P2 e P3 apresentaram uma concentração igual ou menor do que o valor de *background*.

Já o ponto P4, situado sob a vala de disposição de resíduos mais antiga, foram detectadas concentrações de cobre superiores ao valor de *background* nas três profundidades amostradas. No entanto, os valores encontrados para este elemento foram muito inferiores ao VI, analisando-se que, apesar de haver um indicativo de

que a qualidade do solo tenha sido alterada, não houve contaminação do solo por este elemento.

4.7.5.6 Ferro (Fe) e Manganês (Mn)

O ferro e o manganês são os metais que normalmente aparecem em maior quantidade nos solos. Suas concentrações, em geral, são muitas vezes maiores que a dos demais elementos, especialmente do ferro (FADIGAS, 2006).

A Figura 48 apresenta os perfis de concentração de ferro e manganês encontrados no solo do depósito de resíduos de Bugre – MG.

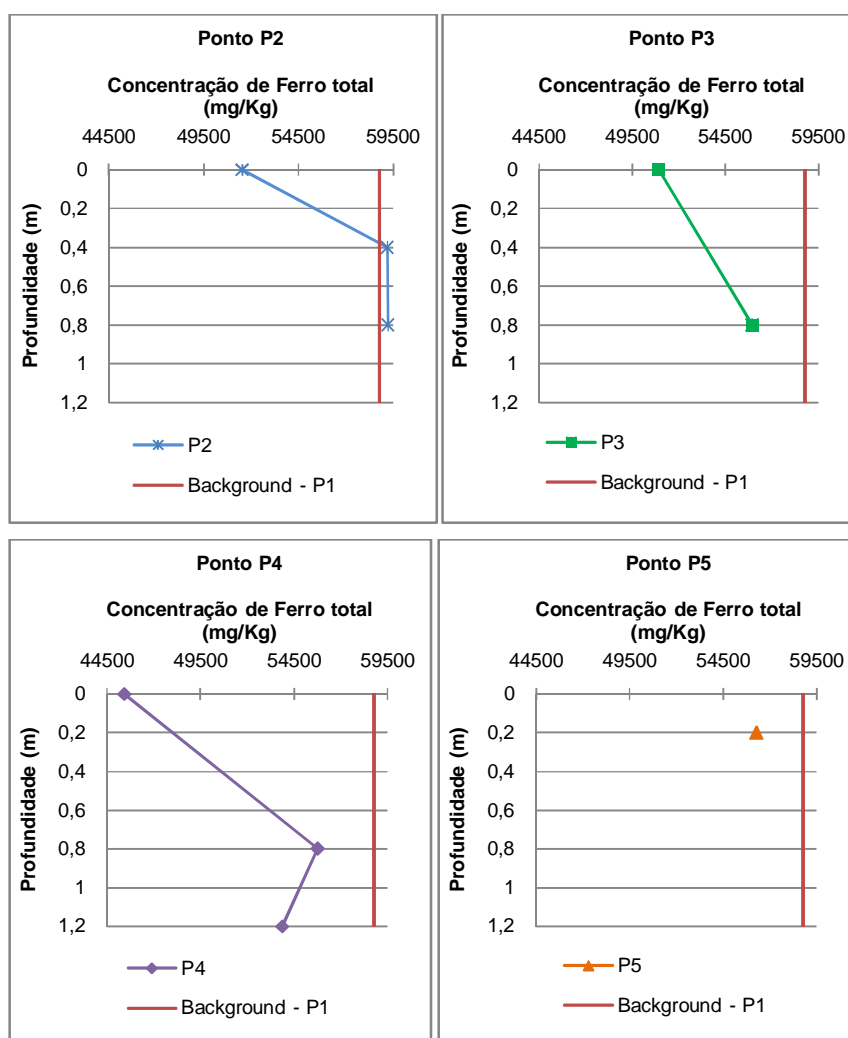


Figura 48 – Perfis de concentração de ferro total de acordo com a profundidade.

O ferro apresentou no ponto P1 uma concentração média de 58780,04mg/kg utilizada como *background*. O único ponto que apresentou valores superiores ao da amostra de referência do solo natural foi o ponto P2, que apresentou uma concentração de ferro de 59187,41mg/kg na profundidade de 0,4m e 59229,03mg/kg na profundidade 0,8m.

Os perfis de concentração de manganês no solo estão apresentados na Figura 49.

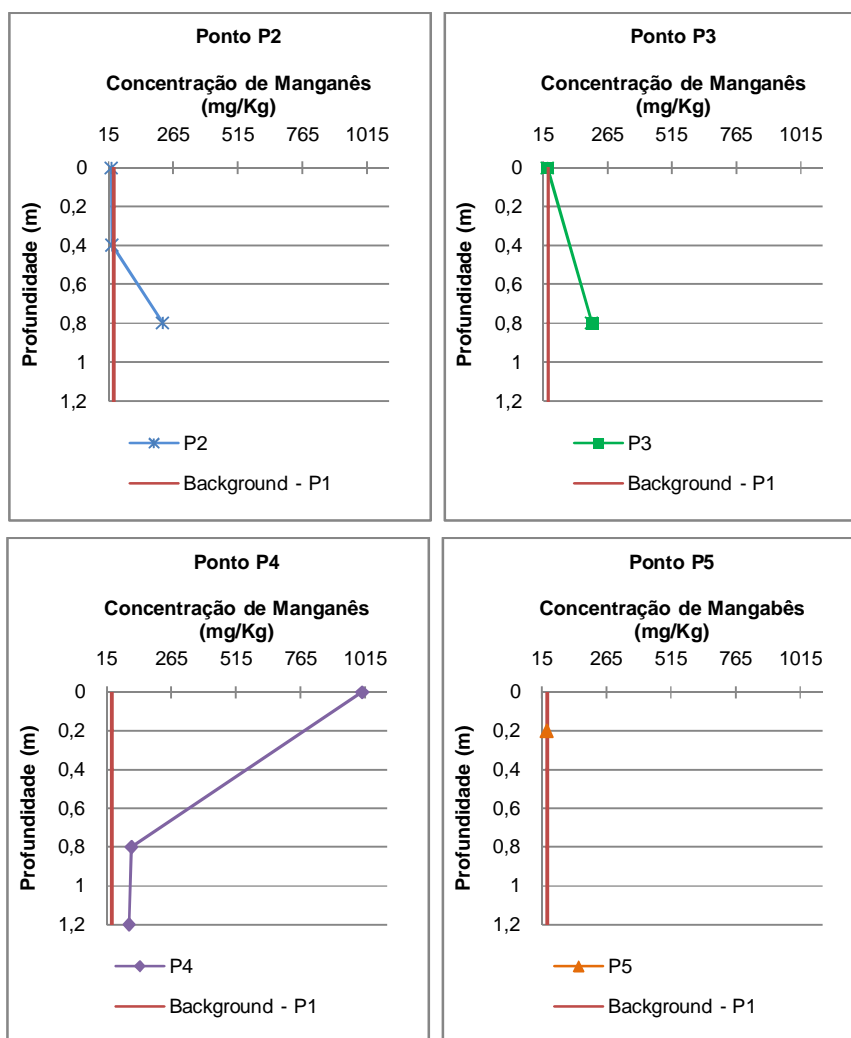


Figura 49 – Perfis de concentração de manganês de acordo com a profundidade.

Em relação ao manganês, na amostra de referência obteve-se uma concentração média de 34,252 mg/kg. Esse valor foi superado nos pontos P2 e P3 que apresentaram teores da ordem de 225,079 mg/kg e 203,483 mg/kg,

respectivamente, na profundidade de 0,8m. O ponto P4 apresentou o maior teor de manganês na amostra coletada imediatamente abaixo da vala de disposição de resíduos mais antiga (1003,204mg/kg).

Os valores de ferro e manganês apresentaram-se aparentemente elevados, mas não se pode relacionar esses resultados a uma contaminação ou poluição da área, uma vez que não há valores de referência. As quantidades elevadas de ferro e manganês encontradas nas amostras podem também ser de ocorrência natural devido às características do solo da região. Porém, apenas análises mais detalhadas sobre a composição do solo dos pontos analisados podem garantir essa característica.

4.7.5.7 Mercúrio

Não foram detectadas concentrações de mercúrio acima do LQ do método analítico utilizado de 0,1000mg/kg em nenhuma das doze amostras coletadas.

4.7.5.8 Níquel (Ni)

As análises realizadas para determinação de níquel no solo encontraram valores muito inferiores ao VRQ estabelecido pelo COPAM/CERH.

Na amostra de referência foi detectada uma concentração de 2,192mg/kg, valor que só foi superado no ponto P4, que apresentou teores da ordem de 9,533mg/kg e 2,536mg/kg nas profundidades de 0,8m e 1,2m, respectivamente.

Esses valores são bem inferiores ao Valor de Investigação – VI Cenário Residencial, conforme apresentado na Figura 50.

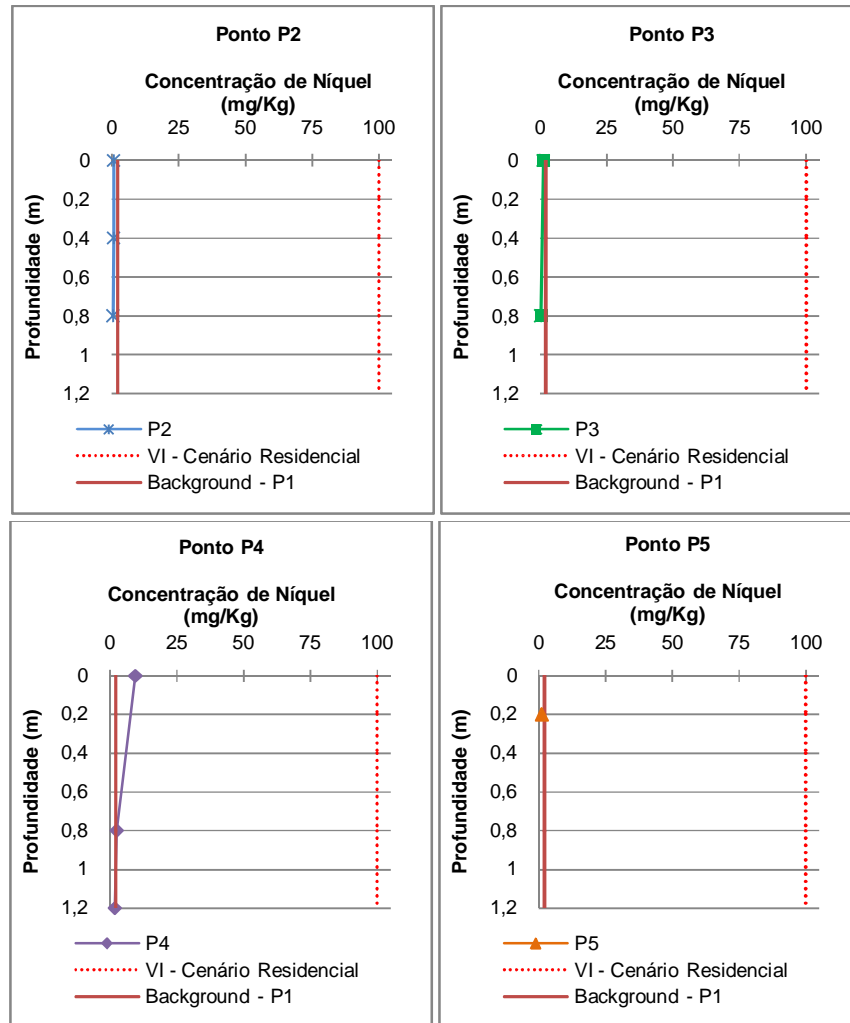


Figura 50 – Perfis de concentração de níquel de acordo com a profundidade.

4.7.5.9 Zinco (Zn)

A Figuras 51 ilustra os perfis das concentrações encontradas nos 5 pontos amostrados para o zinco nas diferentes profundidades.

O valor de referência do solo que não recebeu resíduos (15,878mg/kg) foi muito inferior ao VRQ estabelecido para este elemento (79mg/kg).

O VRQ foi superado nos pontos P4 e P5, que apresentaram as maiores concentrações deste metal. Porém, é importante destacar que os valores encontrados estão bem menores do que o VI – Cenário Residencial (1000mg/kg).

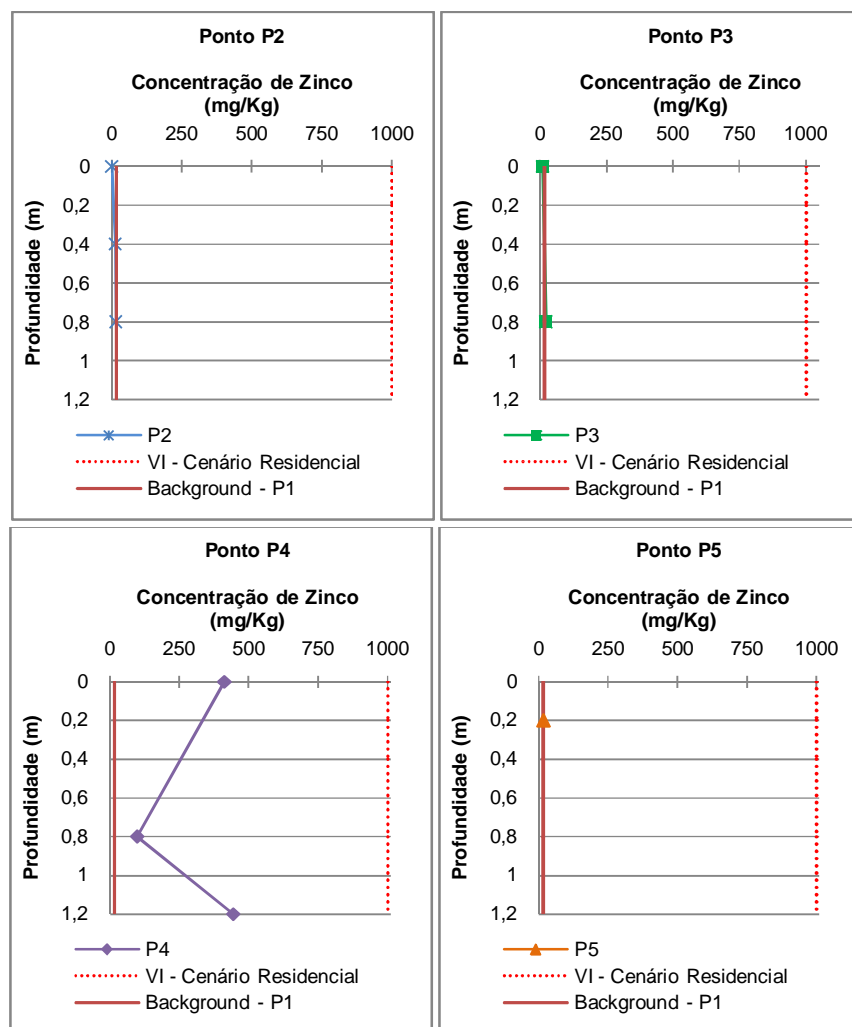


Figura 51 – Perfis de concentração de zinco de acordo com a profundidade.

A Tabela 17 apresenta os quantitativos das características das análises de metais realizadas no solo.

Tabela 17 – Quantitativo das características das análises realizadas no solo

	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe*	Mn*	Hg	Ni	Zn
Número de amostras de solo	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Número de amostras com concentração superior ao <i>background</i> – ponto P1	0	3	3	4	1	2	5	0	2	5
Número de amostras com concentração superior ao VI – Cenário Residencial	0	1	0	0	0	-	-	0	0	0
Número de amostras com concentração superior ao VI – Cenário Industrial	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0

*Parâmetros sem valores de referência estabelecidos pelo CONAMA e COPAM/CERH.

Na comparação dos resultados das análises realizadas nos pontos P2, P3 e P4, localizados abaixo das valas de disposição de resíduos com os valores de background, observa-se que o valor de referência foi superado em 21% dos pontos amostrados.

Em relação aos Valores de Investigação estabelecidos para o Cenário Residencial, acima dos quais pode-se inferir que existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, observa-se que em apenas uma amostra foi detectada a presença de cádmio em concentração superior ao estabelecido pelo CONAMA e COPAM/CERH, representando 0,8% dos pontos amostrados.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A quantidade média de resíduos gerada diariamente, assim como a caracterização da área e das condições de operação do depósito de resíduos sólidos de Bugre (MG) permitem concluir que o local pode ser enquadrado como aterro sanitário de pequeno porte, atendendo às diretrizes estabelecidas na NBR 15849 da ABNT (2010).

A partir da conjugação dos fatores fração orgânica dos resíduos, profundidade do freático em relação à base das valas, coeficiente de permeabilidade e excedente hídrico, concluiu-se que a impermeabilização complementar da base das valas pode ser dispensada no aterro sanitário em estudo, uma vez que o excedente hídrico, calculado a partir do balanço hídrico, não atingiu o valor máximo recomendado na supracitada NBR da ABNT.

Os resultados analíticos dos ensaios químicos realizados no ponto P1, utilizado como *background*, apontaram concentrações de cádmio e cromo total maiores que os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Nº. 420/2009 e na Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) / Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) Nº. 02/2010, o que configura uma alteração da composição química do solo da área que não teve contato com os resíduos e seus efluentes.

O pH do solo apresentou grande variação entre os pontos analisados, entre ácido e básico, observando-se a tendência do solo possuir valores semelhantes à faixa de valores de pH de lixiviados relatada na literatura. Além disso, a maior parte das amostras de solo analisadas nos pontos P2, P3, P4 e P5 apresentou concentrações de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal, coliformes fecais, coliformes totais e metais superiores aos valores de *background* da área, indicando a migração dos lixiviados para o solo.

Quanto aos metais, não foram detectadas concentrações acima dos limites de quantificação do método analítico utilizado para os elementos arsênio e mercúrio em nenhuma das amostras de solo. Nas análises realizadas para os metais chumbo, cromo total, cobre, níquel e zinco, embora algumas amostras tenham apresentado

concentrações superiores aos valores de referência da área (*background*), em nenhuma delas o Valor de Investigação – Cenário Residencial estabelecido pelo CONAMA e pelo COPAM/CERH foi atingido.

Os valores de ferro e manganês apresentaram-se aparentemente elevados, inclusive na amostra de referência no ponto P1, mas não se pode relacionar esses resultados a uma contaminação da área, visto que não há valores de referência estabelecidos na legislação vigente.

Em apenas uma amostra coletada imediatamente abaixo da vala de disposição de resíduos mais antiga (ponto P4) foi observada uma concentração de cádmio superior ao VI – Cenário Residencial. Observou-se, no entanto, um decréscimo da concentração deste elemento com a profundidade. É importante destacar que a média das concentrações de cádmio nas três profundidades do ponto P4 apresentou um valor inferior ao VI – Cenário Residencial estabelecido para este parâmetro.

Conclui-se que a qualidade do solo do depósito de resíduos de Bugre foi alterada pela passagem dos lixiviados, uma vez que na maior parte das amostras coletadas nos pontos localizados abaixo das valas de disposição, foram observadas concentrações superiores aos valores de *background* para vários parâmetros analisados. No entanto, a alteração da qualidade do solo não pode ser caracterizada como uma contaminação da área, uma vez que somente uma amostra detectou concentração de cádmio superior ao VI – Cenário Residencial, o que não se confirmou com o aumento da profundidade.

A partir desses resultados, pode-se inferir que a dispensa da impermeabilização complementar prevista na NBR 15849 da ABNT (2010) não comprometeu a qualidade da área no aterro em estudo, de forma a propiciar riscos potenciais à saúde humana, considerando o cenário padronizado. Há que ressaltar, que a indicação de lençol freático profundo, minimiza um possível impacto nas águas subterrâneas.

No entanto, é importante destacar que no aterro sanitário estudado a quantidade média de resíduos recebida diariamente é muito pequena, o percentual de matéria orgânica encontrado é inferior à média nacional e o excedente hídrico local bem inferior ao valor máximo estabelecido pela NBR para as condições físicas encontradas.

Como sugestão para o prosseguimento da pesquisa recomenda-se a realização de investigação em outras áreas que recebam uma quantidade maior de resíduos e que apresentem características diferentes da área pesquisada, notadamente em relação aos aspectos que possibilitam a dispensa de impermeabilização complementar previstos na NBR 15849 da ABNT como a fração orgânica dos resíduos, a profundidade do freático, o coeficiente de permeabilidade e o excedente hídrico para verificação da adequabilidade dos parâmetros propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. **Ensaio de Permeabilidade em Solos**. São Paulo: ABGE, 1996. Boletim 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011**. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm. Acesso em 18 fev. 2012.

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

_____. **NBR 10006** – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduo sólido. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10007** – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 8419** – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8849** – Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13896** – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15849** – Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

BAPTISTA, F. R. M. **Caracterização física e comercial do lixo urbano de Vitória – ES, em função da classe social da população geradora**. 2001. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2001.

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. v.2.)

BECK, M. H. **Investigação de área degradada pela disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo**. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2005.

BENVENUTO, C. **Fundamentos, conhecimentos e pressupostos para manejo e projeto de aterros de resíduos**. São Paulo, 2004. (Apostila de curso de especialização ministrado na Fundação Estadual do Meio Ambiente em julho de 2004).

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC / USP, 1999.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 404, de 11 de novembro de 2008**. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592>. Acesso em 17 mar. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em 16 fev. 2012.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 15 fev. 2012.

BRITO, R. E.; MELO, C.; GOULART, A. T. **Avaliação da contaminação do solo e águas da região do lixão de Patos de Minas, Minas Gerais, por metais pesados**. Revista Perquirere, n. 3, 2006. Disponível em: [http://www.unipam.edu.br/perquirere/file/file/2006 cb/artigo renata.pdf](http://www.unipam.edu.br/perquirere/file/file/2006%20cb/artigo%20renata.pdf). Acesso em 15 jul. 2012.

BRUSCHI, D. M. **Análise do Programa Minas sem lixões**: contribuição à gestão de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais, 2003 – 2010. 2011. 281 p. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. (org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES / RiMa, 2003.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água**: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitário. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação**. 2008. 337 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

CINTRA, F. H.; HAMADA, J.; FILHO, G. S. C. **Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos**. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória, ES. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2002.

CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; MUÑOZ, S. I. S. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939-947, abr. 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Inventário Estadual de resíduos sólidos domiciliares**: relatório síntese. São Paulo, 2001. v.1.

_____ **Aterro sanitário em valas**. São Paulo: CETESB, 1997.

_____ **Procedimentos para implantação de aterro sanitário em valas**. São Paulo: CETESB, 2005.

_____ **Decisão de diretoria N.º 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005**. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. São Paulo, 23 nov. 2005.

_____ **Decisão de diretoria N.º 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2005**. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo, 22 jun. 2007.

_____ **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.

_____ **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB/GTZ, 2001. 389p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA - CONDER. **Aterro sanitário manual**: modelo Conder. Salvador, 2002.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa geodiversidade do estado de Minas Gerais**. CPRM, 2012. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em 14 jun. 2012.

CHRISTENSEN, T. H.; BJERG, P. P. L.; JENSEN, D. L.; J. B.; CHRISTENSEN, A.; BAUM, A.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G. **Biochemistry of landfill leachate plumes**: Applied Geochemistry. v.16, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EL-FADEL, M.; FINDIKAKIS, A. N.; LECKIE, J. O. **Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling**. In: Journal of Environmental Management, v. 50, n. 1, 1997.

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**. In: Waste Management, v.22, n.3, 2002.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, 2006.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Situação do Tratamento e/ou Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.feam.br/minas-sem-lixoes>. Acesso em 16 fev. 2012.

_____. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: Feam, 2007.

_____. **Relatório de Avaliação Ambiental Preliminar em Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. Belo Horizonte: Feam, 2009.

_____. **Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: Feam, 2010.

_____. **Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: Feam, 2010.

FERREIRA, J. A.; RITTER, E. **Contaminação de solo por disposição de resíduos urbanos**: estudo de casos. Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ, 2011. v. 2.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG. **Gerenciamento de áreas contaminadas**: conceitos e informações gerais. Belo Horizonte, FIEMG, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

_____. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 16 fev. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT / CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2002.

KOERNER, R. M.; DANIEL, D. E. **Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps**. Reston, Virginia - USA: ASCE, 1997.

LEITE, M.B.; BERNARDES, R.S.; OLIVEIRA, S.A. de. Métodos walkey na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p.111-115, 2004.

MARINGONDA JR., A. **Remoção de nitrogênio de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos empregando sistema de lodos ativados, composto por reator anóxico e aeróbio em série.** 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2008.

MEDEIROS, G. A.; REIS, F. A. G. V.; SIMONETTI, F. D. et al. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no Estado de São Paulo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal – SP, v. 5. n. 2. p. 169-186, 2008.

MEIRA, J. C. R. **Chorume do Aterro Sanitário de Goiânia: Tratamento por Flocculação/Coagulação/Degradação Fotoquímica e Custos Operacionais.** 2003. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

MELLO, F.A.F.de. et al. **Fertilidade do Solo.** 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 400p.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH Nº 02, de 08 de setembro de 2010.** Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>. Acesso em 16 fev. 2012.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa COPAM Nº 52, de 14 de dezembro de 2001.** Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5479>. Acesso em 18 fev. 2012.

MORAIS, J. L. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário.** 2005. 207 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

MYR. **Plano preliminar de regionalização da gestão de resíduos sólidos para o Estado de Minas Gerais:** volume I: diagnóstico. Belo Horizonte: Myr, 2009. 477 p.

MYR. **Plano preliminar de regionalização da gestão de resíduos sólidos para o Estado de Minas Gerais:** volume II: prognóstico. Belo Horizonte: Myr, 2009. 171 p.

NASCIMENTO, D. **Estudo químico do solo e lixiviado do aterro controlado do Botuquara.** 2008. 140 p. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2008.

PEREIRA, A. R. **Simplifying the Thornthwaite-Mather water balance.** In: Instituto

Agrônomo de São Paulo, *Bragantia*, v. 64, n. 2, 2005.

PEREIRA NETO, J. T. **Gerenciamento do Lixo Urbano**: aspectos técnicos e operacionais. Viçosa: UFV, 2007.

PESSIN, N. **Relatório PROSAB**. Universidade de Caxias do Sul, 2001.

PHILLIPPI JR., A. **Saneamento, saúde e ambiente** – Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri - SP: Manole, 2005.

PHILLIPPI JR., A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri – SP: Manole, 2004.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary Landfill Leachate - Generation, Control and Treatment**. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co, Inc., 1994, 323p.

RAIJ, B. van. QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. 107p.

REICHERT, G. A. **Aterro sanitário, projeto, implantação e operação**. Porto Alegre: ABES, 2000.

ROCHA, E. A. P. **Estudo de fatores sócio-econômicos intervenientes na geração e características do resíduo sólido doméstico da cidade de Vitória – ES**. 2005. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2005.

SCHUELER, A. S. **Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 278 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. **Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SERAFIM, A. C., GUSSAKOV K. C., SILVA F., et al. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento**. In: III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica; 2003.

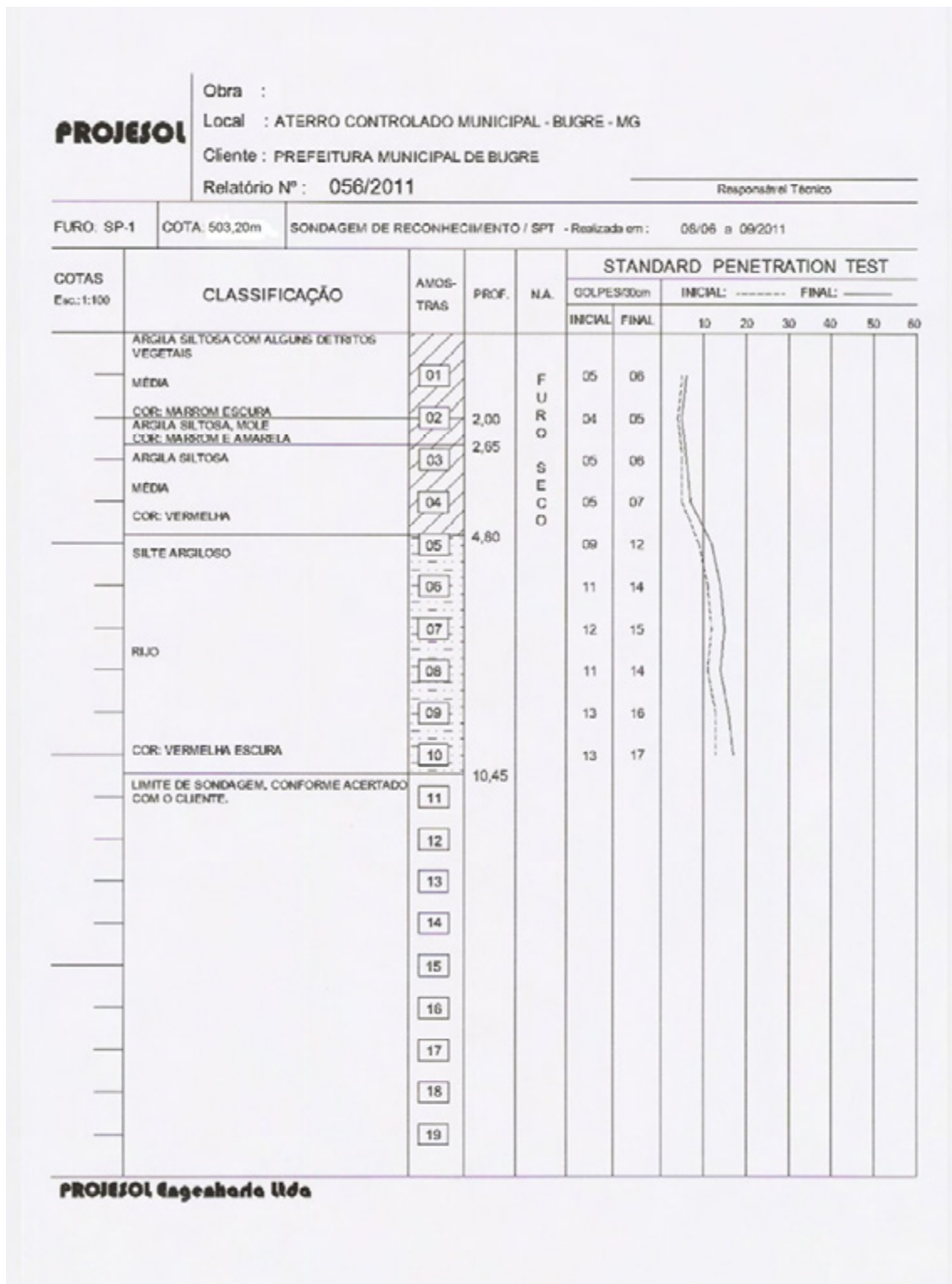
SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 12. n. 4, p. 515-523, out-dez, 1996.

SOUTO, G. D. B., POVINELLI, J. **Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. New York: McGraw-Hill, 1993.

TIVERON, V. P. M. **Gestão de resíduos sólidos no município de São Paulo no período de 1989 a 2000: atores em processo e conflito**. 2001. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001.

ANEXO A – RELATÓRIOS DOS ENSAIOS DE SONDAGEM A PERCUSSÃO – SPT



PROJESOL

Obra :

Local : ATERRO CONTROLADO MUNICIPAL - BUGRE - MG

Cliente : PREFEITURA MUNICIPAL DE BUGRE

Relatório Nº : 056/2011

Responsável Técnico

FURO: SP-2

COTA: 501,20m

SONDAGEM DE RECONHECIMENTO / SPT - Realizada em : 09/06 a 10/06/2011

COTAS Esc.: 1:100	CLASSIFICAÇÃO	AMOS- TRAS	PROF.	N.A.	STANDARD PENETRATION TEST													
					GOLPES/30cm		INICIAL: ----- FINAL: -----											
					INICIAL	FINAL	10	20	30	40	50	60						
	ARGILA SILTOSA COM DETRITOS VEGETAIS COR: MARRON ESCURA	01	1,00	F U R O S E C O	02	03												
	ARGILA SILTOSA COM DETRITOS VEGETAIS MÉDIA - COR: MARRON COM TRAÇOS CINZA	02	2,00		04	04												
	ARGILA SILTOSA, MOLE COR: MARRON COM TRAÇOS AMARELOS	03	3,00		05	07												
	ARGILA SILTOSA, MÉDIA COR: AMARELA ESCURA	04	4,00		07	09												
	ARGILA SILTOSA	05			09	10												
	MÉDIA E RUJA	06			10	11												
	COR: VERMELHA	07			09	11												
	SILTE ARGILOSO	08	7,60		10	13												
	RUJO	09			11	13												
	COR: VERMELHA ESCURA	10			13	16												
	SILTE ARGILO - ARENOSO RUJO COR: VERMELHA ESCURA	11	11,00		13	19												
	LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME ACERTADO COM O CLIENTE.	12	12,45		15	18												
		13																
		14																
		15																
		16																
		17																
		18																
		19																

PROJESOL Engenharia Ltda

ANEXO B – RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

PROJESOL ENGENHARIA LTDA

Relatório de Ensaios de Permeabilidade em Solos

Foram realizados juntamente com o serviço de sondagem de solo à percussão ensaios de permeabilidade em 02 furos em área do Aterro Controlado Municipal no município de Bugre – MG.

Para determinação da permeabilidade, usamos o método de ensaios de infiltração, conforme orientações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

O tempo de duração de cada ensaio foi de 20 minutos, exceto onde indicado em contrário.

Os furos de sondagem foram realizados a seco no trecho correspondente ao primeiro ensaio. A partir daí os furos foram executados pelo método de circulação de água através de bomba e trépano.

SP n°1

Data de execução : 08/06 a 09/06/2011

Na : furo seco

Ensaio n° 1 – 0,00 à 1,00 metros – $K = 1,71 \times 10^{-4}$ cm/s

Ensaio n° 2 - 1,00 à 2,00 metros - $K = 1,00 \times 10^{-5}$ cm/s

Ensaio n° 3 – 2,00 à 3,00 metros – $K = 1,97 \times 10^{-5}$ cm/s

Ensaio n° 4 – 3,00 à 4,00 metros - $K = 1,04 \times 10^{-5}$ cm/s

Ensaio n° 5 - 4,00 à 5,00 metros - $K = 8,88 \times 10^{-6}$ cm/s

Ensaio n° 6 - 5,00 à 6,00 metros - $K = 2,67 \times 10^{-6}$ cm/s

SP n°2

Data de execução : 09/06 à 10/06/2011

NA : furo seco

Ensaio n°1 – 0,00 à 1,00 metros – $K = 1,11 \times 10^{-3}$ cm/s

Ensaio n° 2 – 1,00 à 2,00 metros – $K = 8,89 \times 10^{-4}$ cm/s

Ensaio n° 3 – 2,00 à 3,00 metros - $K = 5,10 \times 10^{-5}$ cm/s

Ensaio n° 4 - 3,00 à 4,00 metros - $K = 4,44 \times 10^{-6}$ cm/s

Ensaio n° 5 - 4,00 à 5,00 metros - $K = 2,07 \times 10^{-6}$ cm/s

Tempo de duração do ensaio n° 1 : 5,00 minutos

Tempo de duração do ensaio n° 2 : 5,00 minutos

Timóteo, 08 de Julho 2011

Projesol Engenharia Ltda

Geraldo Arnaldo Bicalho

ANEXO C – LAUDOS LABORATORIAIS DOS ENSAIOS QUÍMICOS DO SOLO



RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº 21261CS

DADOS DE REFERÊNCIA DO CLIENTE

Cliente:	Fundação Israel Pinheiro
Endereço:	Av. Belém, 40
Código do Projeto:	-

DADOS DE REFERÊNCIA DA AMOSTRA

Temperatura de Recebimento (Faixa):	de 25,0 °C	Data de amostragem	24/8/2012
Responsável pela coleta:	ANASOL.MG_THIAGO P. FERNANDES	Data de Emissão do Relatório:	25/9/2012
Data de recebimento da amostra:	27/8/2012	Data de Reemissão do Relatório:	N.A.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA

Referência Analytical Solutions	Referência do Cliente
21261CS001	PONTO 1 - 0 cm
21261CS002	PONTO 1 - 0,80 cm
21261CS003	PONTO 1 - 1,20 cm
21261CS004	PONTO 2 - 0 cm
21261CS005	PONTO 2 - 0,40 cm
21261CS006	PONTO 2 - 0,80 cm
21261CS007	PONTO 3 - 0 cm
21261CS008	PONTO 3 - 0,80 cm
21261CS009	PONTO 4 - 0 cm
21261CS010	PONTO 4 - 0,80 cm
21261CS011	PONTO 4 - 1,20 cm
21261CS012	PONTO 5 - 0,20 cm

Versão do Laudo: 1

Laboratório responsável direto pela análise: Analytical Solutions Ltda

Alameda África, 685, Galpão 01 Pólo Industrial de Tamboré - Santana de Parnaíba, SP 06543-306

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0241

MG-010, km 26,5, Santo Antônio - Vespasiano, MG 33200-000

Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0449

1/27

ANALYTICAL SOLUTIONS LTDA.

www.anasol.com.br



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS001 - PONTO 1 - 0 cm

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	0,68
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	89,35
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	555,19
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	20,96
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	N.D.
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	465,84
pH	N.A.	N.A.	N.A.	5,0

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	1,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,965
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	1,334
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	5,745
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	101,174
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	59158,650
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	29,381
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	2,265
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	14,626

Fator de Diluição: 2

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrato, a amostra 001 foi diluída 2x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO

Versão do Laudo: 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS002 - PONTO 1 - 0,80 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	0,82
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	117,13
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	683,72
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	119,30
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	0,069
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	566,58
pH	N.A.	N.A.	N.A.	4,3

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	1,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,974
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	6,062
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	102,663
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	58763,450
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	33,036
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	2,208
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	15,789

Fator de Diluição: 5

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrato, a amostra 002 foi diluída 5x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS003 - PONTO 1 - 1,20 cm

Inorgânicos				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,38
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	198,19
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	915,88
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	179,51
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	0,672
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	717,69
pH	N.A.	N.A.	N.A.	4,5

Micro				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	1,0x10 ³

Metais				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,795
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	7,119
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	99,905
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	58418,017
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	40,339
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	2,103
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	17,220

Fator de Diluição: 1
Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrato, a amostra 003 foi diluída 10x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO

Versão do Laudo: 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS004 - PONTO 2 - 0 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	0,79
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	178,67
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	598,44
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	N.D.
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	0,280
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	419,77
pH	N.A.	N.A.	N.A.	5,3

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	1,0x10 ³
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,660
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	3,374
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	78,167
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	51551,489
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	26,476
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	0,774
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	11,897

Fator de Diluição: 1

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO

Versão do Laudo: 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS005 - PONTO 2 - 0,40 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,17
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	324,31
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	504,75
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	24,19
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	242,062
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	180,44
pH	N.A.	N.A.	N.A.	6,1

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,933
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	4,758
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	105,284
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	59187,413
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	30,141
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	0,747
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	13,089

Fator de Diluição: 50

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrito, a amostra 005 foi diluída 50x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS006 - PONTO 2 - 0,80 cm

Inorgânicos				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,46
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	269,25
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	361,99
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	9,17
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	3,882
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	92,74
pH	N.A.	N.A.	N.A.	3,6

Micro				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	$1,2 \times 10^3$
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	$3,0 \times 10^3$

Metais				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,800
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	4,589
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	92,948
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	54229,032
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	225,079
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	0,516
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	15,212

Fator de Diluição: 1
Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.
L.D. = Limite de Detecção
L.Q. = Limite de Quantificação.
N.A. = Não Aplicável.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO

Versão do Laudo: 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS007 - PONTO 3 - 0 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,30
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	437,59
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	438,60
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	N.D.
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	63,121
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	N.D.
pH	N.A.	N.A.	N.A.	6,3

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,274
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	1,244
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	3,146
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	78,096
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	50935,483
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	31,604
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	N.D.
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	11,799

Fator de Diluição: 10

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrito, a amostra 007 foi diluída 10x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS008 - PONTO 3 - 0,80 cm

Inorgânicos				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,49
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	324,16
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	397,96
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	10,43
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	97,693
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	N.D.
pH	N.A.	N.A.	N.A.	8,0

Micro				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,517
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	6,329
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	93,408
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	55954,112
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	203,483
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	0,522
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	22,945

Fator de Diluição: 1
Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrito, a amostra 008 foi diluída 20x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS009 - PONTO 4 - 0 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,66
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	188,29
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	259,17
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	40,05
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	21,707
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	70,88
pH	N.A.	N.A.	N.A.	8,9

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	12,545
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	29,085
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	119,107
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	83,798
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	45439,918
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	1003,204
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	9,533
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	412,096

Fator de Diluição: 10

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

Para o parâmetro Nitrato, a amostra 009 foi diluída 5x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.

Para o parâmetro Nitrito, a amostra 009 foi diluída 5x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.

Para o parâmetro Manganês, a amostra 009 foi diluída 10x. Sendo assim, multiplicar o L.D. e LQ do respectivo parâmetro por este fator.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO

Versão do Laudo: 1

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS010 - PONTO 4 - 0,80 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,75
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	194,54
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	268,33
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	9,62
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	2,463
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	73,79
pH	N.A.	N.A.	N.A.	8,1

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	1,7x10 ³
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	2,129
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	7,444
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	17,868
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	84,949
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	55755,727
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	109,821
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	2,536
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	97,335

Fator de Diluição: 1

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS011 - PONTO 4 - 1,20 cm

Inorgânicos

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,00
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	176,73
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	217,31
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	12,63
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	6,666
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	N.D.
pH	N.A.	N.A.	N.A.	8,4

Micro

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	$>3,0 \times 10^3$
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	$>3,0 \times 10^3$

Metals

PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	3,043
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	18,578
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	42,130
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	88,404
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	53872,507
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	100,447
Mercurio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	1,824
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	443,766

Fator de Diluição: 1

Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.

L.D. = Limite de Detecção

L.Q. = Limite de Quantificação.

N.A. = Não Aplicável.

22/27



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



CÓDIGO DO PROJETO: FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO
Versão do Laudo: 1
RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA 21261CS012 - PONTO 5 - 0,20 cm

Inorgânicos				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
COT	(%)	N.A.	0,05	1,92
Nitrogênio Amoniacal	(mg/kg)	0,200	1,000	8,12
Nitrogênio Kjeldhal	(mg/kg)	10,000	50,00	888,50
Nitrogênio Nitrato	(mg/kg)	1,00	5,00	13,47
Nitrogênio Nitrito	(mg/kg)	0,020	0,050	3,095
Nitrogênio Orgânico	(mg/kg)	10,000	50,00	880,39
pH	N.A.	N.A.	N.A.	5,8

Micro				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Coliformes Fecais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	<10
Coliformes Totais	(UFC/ g)	N.A.	N.A.	>3,0x10 ³

Metais				
PARAMETROS	UNIDADE	LD	LQ	RESULTADOS
Arsênio	(mg/kg)	0,650	2,000	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,015	0,050	1,790
Chumbo	(mg/kg)	0,100	0,500	N.D.
Cobre	(mg/kg)	0,050	0,250	5,350
Cromo Total	(mg/kg)	0,250	0,500	85,013
Ferro Total	(mg/kg)	0,500	2,500	56283,809
Manganês	(mg/kg)	0,250	0,500	33,898
Mercúrio	(mg/kg)	0,0200	0,1000	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,250	0,500	1,077
Zinco	(mg/kg)	0,250	0,500	17,781

Fator de Diluição: 1
Umidade (%): N/A

Observações:

N.D. = Não Detectado acima do Limite de Quantificação.
L.D. = Limite de Detecção
L.Q. = Limite de Quantificação.
N.A. = Não Aplicável.



Data de Realização das análises:

Preparação:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 27-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 27-08-2012
MTL Mercúrio - 30-08-2012
MTL Metais Totais - 30-08-2012

Análise:

Inorg COT: Carbono Orgânico Total - 30-08-2012
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação) - 27-08-2012
Inorg Série Nitrogenada - 30-08-2012
MICRO Coliformes Fecais e Totais - 31-08-2012
MTL Mercúrio - 10-09-2012
MTL Metais Totais - 11-09-2012



Todos os ensaios em branco e controles de qualidade foram efetuados e os resultados dos mesmos foram avaliados segundo os critérios preconizados pelo PS 4.22 - 01, não apresentando nenhuma informação ou característica que fosse relevante quanto à qualidade, validade e veracidade dos resultados analíticos reportados.

Os resultados obtidos têm seu valor restrito às amostras analisadas. A reprodução deste relatório só pode ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

As incertezas estão disponíveis em caso de solicitações adicionais.

As opiniões, interpretações e informações adicionais não fazem parte do escopo de acreditação do laboratório.

Em caso de reemissão do relatório esta versão substitui as versões anteriores.

Amostragem:

A amostragem foi realizada conforme ficha de campo em anexo e Plano de Amostragem, conforme determina o anexo I da NIT DICLA 057, o plano de amostragem está disponível no laboratório e será enviado mediante solicitação.



Referências Metodológicas

Análise	Método Externo	Método Interno	Local
Inorg COT: Carbono Orgânico Total	EMBRAPA. 1999	-	SP
Inorg pH (Potencial de Hidrogenação)	SMEWW 21º, 2005, Method 4500-H+ B	PE 4.9 - 425/SP	SP
Inorg Série Nitrogenada	SM 4500- Norg-B, 21 ed., 2005; USEPA 9056 A Feb 2007 / USEPA 300.1 . 1999; USEPA 9056 A Feb 2007 / USEPA 300.1 . 1999	PE 4.9 - 416/CR, PE 4.9 - 449/CR, PE 4.9 - 450/CR, PE 4.9 - 451/CR, PE 4.9 - 454_SP, PE 4.9 - 400_SP	SP
MICRO Coliformes Fecais e Totais	SM 9221B (1999) / SM 9221C (1999) / SM 9221E (1999)	PE 4.9 - 601/CR	SP
MTL Mercúrio	EPA 7470 A. 1994- água	PE 4.9 - 404_SP	SP
MTL Metais Totais	USEPA 7061-A. 1992; USEPA 7062. 1994; USEPA 6010-C. 2007; USEPA 7741-A.1994; USEPA 7742. 1994; USEPA 7061-A. 1992; USEPA 7062. 1994	PE 4.9 - 401_SP, PE 4.9 - 404_SP	SP

Relatório Emitido por Amanda Moura

RESPONSÁVEL TÉCNICO

São Paulo: Rodrigo Sylvain Ribeiro - 03212653 CRQ IV

Opiniões, Interpretações e Informações Adicionais.

Não se aplica

Obs.: As opiniões interpretações e informações adicionais não fazem parte do escopo do credenciamento do laboratório listado no quadro de credenciamento

ANEXO D – CADEIAS DE CUSTÓDIA DOS ENSAIOS QUÍMICOS DO SOLO

adS
ANALYTICAL SOLUTIONS

21261CS 001 à 012

RIO DE JANEIRO
Rua José de Figueiredo, 330 / Rm 23 Rodovia HG 10 Km 26,7
Barra da Tijuca - Rio de Janeiro
CEP 22793-170 - RJ
CNPJ: 03.426.761/0001-06

MINAS GERAIS
Rodovia HG 10 Km 26,7
Vespasiano
CEP 33200-000 - MG
CNPJ: 03.426.761/0010-99

SÃO PAULO
Avenida Afonso, 695
Taubaté, Santana do Parnaíba
CEP: 06543-266
CNPJ: 03.426.761/0010-99

ANALYTICAL SOLUTIONS - CADEIA DE CUSTÓDIA / GUIA DE REMESSA - PROPOSTA Nº 01474-12

Ident. projeto: _____ Empresa contratante do serviço: _____ UF: _____

Cliente: Fundacao Israel Pinheiro Endereço: _____ UF: _____

Endereço: Av. Belem, 40 Tel. / Fax: _____ E-Mail: _____

Coleta: CLIENTE ANASOL Nome coletor.: Wagner P. Ferraz

Emissão do LAUDO em nome de: _____

Razão Social: _____ UF: _____

Enviar LAUDO FÍSICO para: _____

Razão Social: _____

Endereço: _____

Tel. / Fax: _____

Enviar LAUDO ELETRÔNICO para: _____

Selecionar abaixo os respectivos números que correspondem às análises requeridas acima.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
N	Ident. da amostra	Data	Hora	Matriz	01	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Ponto 1 → 0,00cm	24/08/12	12:37	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Ponto 1 → 0,80cm	24/08/12	12:43	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Ponto 1 → 1,20cm	24/08/12	12:51	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Ponto 2 → 0,00cm	24/08/12	12:52	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Ponto 2 → 0,40cm	24/08/12	12:41	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Ponto 2 → 0,80cm	24/08/12	12:34	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Ponto 3 → 0,00cm	24/08/12	11:18	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Ponto 3 → 0,80cm	24/08/12	11:26	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Ponto 4 → 0,00cm	24/08/12	10:32	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Ponto 4 → 0,80cm	24/08/12	10:58	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Ponto 4 → 1,20cm	24/08/12	12:19	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Ponto 5 → 0,20cm	24/08/12	12:53	S	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13		/ /	:																		
14		/ /	:																		

Razão Social: Fundacao Israel Pinheiro IM/IE Isentia

Endereço Completo: Av. Belem, 40 CEP: 30285-010 Tel.: 30285-010

Contato Financeiro: _____ Fax: _____

E-mail: _____ CEP: _____


Enviar para Envio NF: _____

Obs: Amostras enviadas por: _____

Assinatura: _____

Data: _____ Hora: _____

O campo acima garante a aprovação das condições gerais da proposta comercial.

Login:	Lista de verificação de amostras				
21261 CS					ANS IT 07 F 01 Rev: 00
Cliente	Industria Israel Pinheiro				
Data	24/02/2012	Hora	08.00	Nº Amostras	12
Matriz	Solo	SIF			

Dados do recebimento de amostras

1. Embalagem	A caixa ou embalagem das amostras está fechada e não apresenta sinais de violação?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
2. Frasco	Os frascos ou embalagens contendo diretamente as amostras estão íntegros?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
3. Rótulos	Os rótulos dos frascos ou embalagens contendo diretamente as amostras estão íntegros e identificam as amostras?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
4. Ofícios	Existem ofícios, informando as análises solicitadas?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
5. Análises	É possível identificar as análises solicitadas pelo cliente?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
6. Temperatura	25,0 °C	A temperatura das amostras está dentro da faixa de aceitação para as análises?			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
7. Estado Geral	Congelada Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>	Frescas Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	Temp. amb. Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	Putrefata Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>					
Termômetro usado	03	04	05	06	07	08	10	11	14 X
8. Amostras	O número de amostras recebidas está de acordo com o número de amostras listadas nos documentos de envio pelo cliente?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
9. Lacres	Os números de lacres das amostras estão de acordo com os documentos enviados pelo cliente?				Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	
Se as respostas acima forem positivas as amostras podem ser logadas e identificadas no sistema interno do laboratório. Se as respostas acima forem negativas as amostras só poderão ser logadas e identificadas no sistema interno do laboratório após a checagem dos dados junto ao cliente.									
<input type="checkbox"/> Separar alíquota para análise de BTEX / VOC									

As amostras estão:	Aprovadas	<input checked="" type="checkbox"/>	Reprovadas	<input type="checkbox"/>	Aprovada com restrição	<input type="checkbox"/>
--------------------	-----------	-------------------------------------	------------	--------------------------	------------------------	--------------------------

Obs.:

05.03.02 AGUA W/ FÁBRICA 0.00.02 C/P.04/ 04.25 45.000.000 000000000 000000000 000000000

Lista de verificação preenchida por

Wadey