



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RITA DE CÁSSIA PEREIRA SANTOS CARVALHO

**ANÁLISE GEO-AMBIENTAL EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS: UM ESTUDO DO ATERRO CONTROLADO DE TERESINA, (PI)**

.

RECIFE

2015

RITA DE CÁSSIA PEREIRA SANTOS CARVALHO

**ANÁLISE GEO-AMBIENTAL EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS: UM ESTUDO DO ATERRO CONTROLADO DE TERESINA, (PI).**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros
Correa

RECIFE

2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

C331a Carvalho, Rita de Cássia Pereira Santos.
Análise geo-ambiental em área de disposição de resíduos sólidos : um estudo do aterro controlado de Teresina (PI) / Rita de Cássia Pereira Santos Carvalho. – 2015.
165 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Correa.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2015.
Inclui referências e apêndices.

1. Geografia. 2. Aterro sanitário – Lixiviação - Teresina (PI). 3 Água – Poluição. 4. Solos - Poluição. 5. Qualidade ambiental. I. Correa, Antônio Carlos de Barros (Orientador). II. Título

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2017-281)

RITA DE CÁSSIA PEREIRA SANTOS CARVALHO

**ANÁLISE GEO-AMBIENTAL EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS: UM ESTUDO DO ATERRO CONTROLADO DE TERESINA (PI).**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Geografia.

Aprovada em: 29/04/2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos de Barros Corrêa (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Iracilde Maria de Moura Fé Lima (Examinador Externo)
Universidade Estadual do Piauí

Prof. Dr. José da Cruz Bispo de Miranda (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alcindo José de Sá (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico a

Meus pais, a quem agradeço o esforço e a dedicação de seu trabalho em prol da minha educação.

Meus filhos, Luiz Fernando e Ivana que são os grandes torcedores de minhas conquistas.

Meu esposo, Luiz Fernando, companheiro sempre presente, encorajando-me na realização deste trabalho.

A meus irmãos, sobrinhos e cunhados pelo o apoio dispensados.

A minha sogra, Nair Menezes (in memoriam) pelos os ensinamentos de vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as circunstâncias de superação das dificuldades dessa caminhada.

A minha família, o meu porto seguro, meus pais, filhos esposo, irmãos, sobrinhos e cunhados por acreditarem na minha capacidade de construção.

Sou profundamente grata ao Professor Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa que com competência técnica e profissional orientou este trabalho, proporcionando momentos significativos de aprendizagens. Também, agradeço pelo convívio, incentivo e amizade.

Ao professor Dr. José da Cruz Bispo de Miranda que independente de honorários assumiu a coordenação pedagógica do DINTER junto a CAPES.

A professora Dra. Iracilde de Moura Fé Lima pela amizade e principalmente, pelas proveitosas discussões e apoio durante a realização desta pesquisa.

A meu mestre e amigo Dr. José Roberto de Oliveira Torres pelo o apoio nas análises laboratoriais.

A Prefeitura Municipal de Teresina PMT/SEPLAM e a SEMDUH/SELIMP, nas pessoas de Lílían Guimarães Coelho e Michelly Luana de Assis Silva Nolêto, pela anuência e apoio necessário à realização desse trabalho.

Aos colegas professores do curso de Química que assumiram maiores encargos durante o meu afastamento das atividades docente.

A professora Dra. Francisca Lúcia de Lima pela disponibilidade de tempo nas análises microbiológicas de águas e lixiviados.

Ao professor MSc. Manoel Ribeiro Holanda e seus alunos do curso de agronomia da UESPI, Campus de Corrente que disponibilizaram trabalho e equipamentos do laboratório de análise de solo.

Aos colegas do curso de doutorado pela convivência saudável, companheirismo e incentivo nessa produção científica.

Imensamente agradecida às amigas professoras Beneilde Cabral Moraes e Liége de Souza Moura minhas companheiras nas atividades de campo, nos momentos difíceis e alegres.

Aos técnicos dos laboratórios CETEM, GERATEC, ENSINO (UESPI) e BROMATOLOGIA (IFPI), Katiane Cruz, Aline Aparecida e Manuel de Jesus Marques da Silva, pelo ao apoio nas análises laboratoriais.

Ao técnico e amigo Ricardo Henrique Mendes Brito, que sabiamente fez a revisão desse texto.

Ao técnico em Geoprocessamento Benvenuto Santiago, pela sua disponibilidade e trabalho de diagramação dos mapas e cartas. .

Aos alunos do curso de pós-graduação em Ciências dos Materiais do IFPI, em especial, a Luciana, Jéssica e Jairo pelas disponibilidades demonstradas nas análises de difração de raios X.

Ao Francisco Xavier Nobre (Graduando de Química - UFPI) pelas análises de Fluorescência de RX e ainda pela ajuda substancial necessária à compreensão dos resultados de Difractometria de Raios-X.

Aos meus alunos por compreenderem a minha ausência, em alguns momentos. Sou imensamente grata aos alunos Luís Henrique Moreno, Laís Lima, Luís Felipe, Irmair Lopes, Ricardo Nunes, Luma Lima e Layane Cardoso pelo árduo trabalho no campo e no laboratório.

Aos motoristas da UESPI que para além das suas funções foram também membros nos trabalhos de campo nas mais diversas situações vivenciadas.

A Universidade Federal de Pernambuco, nas pessoas dos professores Dr. Alcindo José de Sá; Dr. Jan Bitoun e Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa pela participação decisiva na elaboração do Projeto de Doutorado Interinstitucional- DINTER.

À Universidade Estadual do Piauí pela iniciativa da parceria com a UFPE incentivando o processo de Qualificação de seus profissionais. E ainda, pela liberação para cursar o doutorado e pelo apoio durante a realização dos trabalhos de campo.

A CAPES pelo apoio financeiro do projeto de Doutorado Interinstitucional em Geografia, DINTER UFPE /UESPI.

Ao CETEM pela liberação do espaço laboratorial para realização de experimentos. Aos proprietários de sítios e estabelecimento comerciais pelas anuências, permitindo a coleta de amostras de solo e água.

Ao Núcleo de Pesquisas Núcleo de Estudos em Processamento de Alimentos NUEPPA/ CCA/UFPI) pelo apoio em algumas análises microbiológicas, não possíveis de realização na UESPI.

Enfim, agradeço a todas outras pessoas e instituições que direta ou indiretamente colaboraram na execução desta pesquisa.

Que bom que tenho consciência
Do ser que sou, fragmentado
Alguém sempre em construção
Imperfeito, incompleto, inacabado.

Que bom que tenho consciência
Que o crescimento é parcelado
E que quanto mais eu aprendo
Nunca estou, por completo, "terminado".

Que bom que a mim é dado
A oportunidade de corrigir, de ser reciclado
De investir no que acho que está certo
E corrigir, tentar mudar o que está errado.

Que bom que a mim é dado
A oportunidade de ser renovado!...

(MOREIRA, 2008)

RESUMO

O manejo inadequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) se apresenta na sociedade atual como um dos graves problemas ambientais, incluindo os riscos de contaminação do solo e dos recursos hídricos em locais de disposição final. Essa problemática conduziu a realização desta pesquisa, que teve como objetivo principal avaliar a influência do aterro controlado de Teresina na qualidade ambiental do solo, das águas e efluentes. A análise geo-ambiental foi conduzida, a partir do recorte espacial de duas sub-bacias hidrográficas: a primeira tem como principal atividade antrópica o aterro controlado de resíduos sólidos de Teresina, PI. A segunda situada à montante da primeira sub-bacia, no mesmo contexto geomorfológico com a função de controle. Para o alcance do objetivo, foram desenvolvidos trabalhos de caracterização das duas áreas de estudo, que envolveram levantamentos, investigações de campo e de laboratório, tratamento e interpretação de dados. As análises laboratoriais realizadas em amostras de solo consistiram de ensaios sedimentológicos, mineralógicos e determinação de teores totais de metais pesados, por meio da difratometria de raios-X e fluorescência de raios-X. Nas amostras de águas subterrâneas e lixiviados foram realizadas caracterizações físicas, químicas e biológicas. Os dados obtidos foram comparados com os valores de referência estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 396/2008 e nº 420/2009 e portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. Os resultados mostraram que os solos das duas sub-bacias estão sofrendo influência direta das formas de uso atual, uma vez que, foram evidenciados solos com teores de metais pesados acima dos valores de referência nos dois contextos analisados, com destaque para o Cr, Zn, Pb e Ni. As águas subterrâneas e lixiviados apresentaram teores de matéria orgânica, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitratos e amônia acima dos valores máximos permitidos pela legislação vigente, nos dois contextos analisados. O estudo permitiu concluir que embora as duas áreas estejam impactadas, os valores de poluentes encontrados na sub-bacia do aterro controlado são muito mais elevados do que na bacia de controle, indicando a necessidade de realização de monitoramento permanente nessas áreas.

Palavras chave: Resíduos Sólidos. Poluição. Solo. Água. Aterro Sanitário.

ABSTRACT

The inadequate management of solid urban waste (MSW) is present in today's society as one of the serious environmental problems, including the risks of contamination of soil and water resources in disposal sites. This problem led to the realization of this research, whose main objective was to evaluate the influence of Teresina's controlled landfill on the environmental quality of the soil, water and effluents. Geo-environmental analysis was conducted, from the spatial clipping of two sub-basins the first one has as main anthropic activity the controlled solid waste landfill of Teresina, PI. The second is situated upstream of the first sub-basin, in the same geomorphological context with the control function. To reach the objective, characterization work was developed in the two study areas, which involved surveys, field and laboratory investigations, data processing and interpretation. The laboratory analyzes performed in ground samples consisted of sedimentological, mineralogical and determination of total contents of heavy metals, by means of X-ray diffraction and X-ray fluorescence. In the samples of water and leachate were carried out physical, chemical and biological characterization. The data obtained were compared with the reference values established by CONAMA Resolutions nº 357/2005 and nº 396/2008 and nº 420/2009 and ordinance nº 2914/2011 of the Ministry of Health. The results showed that the soils of the two sub-basins are undergoing direct influence of current forms of use, since soils with heavy metal contents above reference values in the two analyzed contexts were highlighted, with emphasis on Cr, Zn, Pb and Ni. Groundwater and leachate presented organic matter, turbidity, Biochemical Oxygen Demand (BOD), nitrates and ammonia above the maximum values allowed by the current legislation, in the two analyzed contexts. The study allowed us to conclude that although the two areas are impacted, the values of pollutants found in the sub-basin of the controlled landfill are higher than in the control basin, indicating the need for permanent monitoring in these areas.

Keywords: Solid Waste. Pollution. Ground. Water. Sanitary Landfill

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Perfil esquemático da geologia de Teresina (sede do Município)	31
Figura 2 -	Horizontes de um perfil hipotético de solo	65
Figura 3 -	Representação da distribuição da água da chuva em áreas de disposição de resíduo	67
Figura 4 -	Mecanismos associados ao transporte de contaminante pela sub-superfície do solo	68
Figura 5 -	Representação da formação de uma pluma de contaminação com aplicação de barreiras de remediação	75
Figura 6 -	Organograma da metodologia aplicada na pesquisa	89
	Representação da distribuição da água da chuva em áreas de disposição de resíduos	122
Figura 7 -	Classificação Triangular de Shepard das amostras de solos das sub-bacias B1 e B	123

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 -	Manchas residuais de vegetação nativa (Floresta Subcaducifolia) no entorno do aterro controlado de Teresina, PI	38
Fotografia 2 -	Cocais presenciados no entorno do aterro controlado de Teresina, PI	38
Fotografia 3 -	Registro da presença de urubus sobre os resíduos no aterro controlado de Teresina, PI	39
Fotografia 4 -	Imagens de Lixões de municípios do Estado do Piauí	52
Fotografia 5 -	Imagem de Aterros Controlado de Teresina, PI	53
Fotografia 6 -	Imagens de aterros sanitários de municípios brasileiros	54
Fotografia 7 -	Imagens de coleta de águas subterrâneas: a) Procedimentos de amostragem de água; b) procedimento de medição do nível freático de poços	94
Fotografia 8 -	Imagens de ruas sem pavimentação, destacando a presença de esgotos a céu aberto, Bairro Santo Antônio, Teresina, PI	112
Fotografia 9 -	Imagens destacando problemas de escoamento de águas pluviais em ruas do Bairro Santo Antônio, Teresina, PI	112
Fotografia 10 -	Imagens de terrenos expostos na sub-bacia B1, decorrente da atividade mineradora	114
Fotografia 11 -	Imagem da Avenida Ayrton Sena, Bairro Esplanada, destacando principal do bairro Esplanada, destacando os patamares de ocupação na sub-bacia B2 (controle)	118
Fotografia 12 -	Imagem do aterro controlado de Teresina, evidenciando o escamento de materiais residuais	126

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Normais Climatológicas do Município de Teresina de 1961 a 1990	36
Gráfico 2 -	Geração de RSU no Brasil (t/ano) de 2008 a 2011	45
Gráfico 3 -	Geração per capita de RSU no Brasil período de 2008 e 2011 (kg/hab/ano)	45
Gráfico 4 -	Fases de estabilização dos resíduos sólidos dispostos em aterro, segundo o modelo proposto por Pohland e Harper (1985)	57
Gráfico 5 -	Porcentagens de domicílios por faixa de rendimento médio mensal, Bairro Santo Antônio, Teresina, (PI), ano 2010	111
Gráfico 6 -	Curva hipsométrica da Sub- bacia B1 (aterro controlado)	114
Gráfico 7 -	Curva hipsométrica da sub-bacia B2 (controle)	116
Gráfico 8 -	Porcentagem das frações cascalho, areia, silte e argilas em amostras de solos das sub-bacias B1 (aterro) e B2 (controle)	124
Gráfico 9 -	Turbidez das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2	139
Gráfico 10 -	Turbidez dos lixiviados (sub-bacia B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	139
Gráfico 11 -	STD em amostras de água subterrâneas das sub-bacias B1 e B2	140
Gráfico 12 -	STD dos lixiviados (sub-bacia B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	140
Gráfico 13 -	pH das águas subterrâneas das sub-bacias B1e B2	140
Gráfico 14 -	pH dos lixiviados (sub-bacia B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	140
Gráfico 15 -	Condutividade elétrica das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2	141
Gráfico 16 -	Condutividade elétrica dos lixiviados(sub-bacia B1) da e água superficial (sub-bacia B2)	141
Gráfico 17 -	OD das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2	142
Gráfico 18 -	OD dos lixiviados (sub-bacia B1) e água superficial (sub-bacia B2)	142
Gráfico 19 -	DBO nas amostras das águas subterrâneas das sub-bacias B1(aterro) e B2 (controle)	143
Gráfico 20 -	DBO dos lixiviados (sub-bacias B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	143
Gráfico 21 -	Concentrações de Cloretos das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2	144
Gráfico 22 -	Concentrações de Cloretos dos lixiviados (sub-bacias B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	144
Gráfico 23 -	Concentrações de nitrito, nitrato e amônia das águas subterrâneas das sub-	

	bacias B1 e B2	145
Gráfico 24 -	Concentrações de nitrito, nitrato e amônia dos lixiviados (sub-bacias B1) e de água superficial (sub-bacia B2)	145

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 -	Localização do Município de Teresina e Municípios limítrofes	27
Mapa 2 -	Localização das sub-bacias de drenagem que compõem a área de estudo	29
Mapa 3 -	Solos do município de Teresina, destacando o Aterro Controlado.....	33
Mapa 4 -	Localização dos pontos de amostragem do solo, água e lixiviados nas sub-bacias B1(aterro) e B2(controle)	97
Mapa 5-	Imagens de satélite Land Sat da área do aterro controlado de Teresina, PI (1990-2010)	110
Mapa 6 -	Uso e ocupação da terra nas sub-bacias B1 e B2	116
Mapa 7 -	Carta de adequabilidade à construção de aterros, conforme o critério declividade estabelecidos pela NBR, 13. 896/1997 da ABNT	120
Mapa 8-	Carta de adequabilidade à construção de aterros, conforme os critérios distância dos cursos hídricos estabelecidos pela NBR, 13. 896/1997 da ABNT	121
Mapa 9 -	Isovalores do teor Cromo, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2	131
Mapa 10 -	Isovalores do teor de chumbo, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2 ..	132
Mapa 11 -	Isovalores do teor Cobre, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2,	133
Mapa 12 -	Isovalores do teor Níquel, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2	134
Mapa 13 -	Isovalores do teor Zinco, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Percentual de municípios brasileiros por unidades de destinos do RSU ...	47
Tabela 2 -	Condições das áreas de destinação final no Piauí	48
Tabela 3 -	Municípios que exercem controle sobre o manejo de resíduos especiais Brasil e Piauí- 2008	49
Tabela 4 -	Critérios mínimos para seleção de áreas de implantação de aterros sanitários, segundo a NBR 13.896 de 1997 e CETESB, 1997	55
Tabela 5 -	Diâmetro médio das frações inorgânicas do solo	64
Tabela 6 -	Concentrações Máximas dos metais pesados em solos e água subterrânea	78
Tabela 7 -	Pontos de amostragem de solo nas sub-bacias B1 (aterro) e B2 (controle)	93
Tabela 8 -	Pontos de amostragem de águas subterrâneas de poços das sub-bacias B1 (aterro) e B2 (controle)	95
Tabela 9 -	Pontos de amostragem de lixiviados do aterro (sub-bacia B1) e da água superficial na sub-bacia B2	96
Tabela 10 -	Valores máximos permitidos das variáveis físicas e químicas indicadoras de qualidade de águas subterrâneas e superficiais	105
Tabela 11 -	População de Teresina no período de 1940 a 2010	108
Tabela 12 -	Resultados das análises química e biológica de solos das sub-bacias B1 (aterro) e B2 (controle)	125
Tabela 13 -	Teores totais de metais pesados de solos das sub-bacias B1(aterro) e B (controle), obtidos por Fluorescência de raios X	130
Tabela 14 -	Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas das sub- bacias B1 (aterro) e B2 (controle)	137
Tabela 15 -	Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados (sub-bacia B1 e de água superficial (sub-bacia B2)	137
Tabela 16 -	Quantidade provável de coliformes totais e fecais em amostras de lixiviados e água subterrânea da sub-bacia B1	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	20
1.2	OBJETIVOS	24
1.2.1	Objetivo Geral	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	26
2.1	ASPECTOS GERAIS E LOCALIZAÇÃO	26
2.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS	30
2.3	ASPECTOS PEDOLÓGICOS E OUTRAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS	32
2.4	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	33
2.4.1	Águas superficiais	33
2.4.2	Águas subterrâneas	34
2.5	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.	35
2.6	COBERTURA VEGETAL E COMPOSIÇÃO FAUNÍSTICA.	37
3	CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE REÍDUOS SÓLIDOS E FORMAS DE POLUIÇÃO DECORRENTES	40
3.1	DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	40
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	42
3.3	PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL E NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PI.	44
3.4	FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	51
3.4.1	Lixão ou vazadouro	51
3.4.2	Aterro controlado	52
3.4.3	Aterro sanitário	53
3.5	A DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERROS SANITÁRIOS	56
3.5.1	Biogás	59
3.5.2	Lixiviados	60
3.6	POLUIÇÃO DO SOLO E DOS CORPOS HÍDRICOS NO CONTEXTO DOS SÍTIOS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	62
3.6.1	Discutindo o conceito de poluição	62

3.6.2	O solo e mecanismos de transporte de contaminantes	63
3.6.3	A poluição dos corpos hídricos por lixiviados de aterros	70
4	INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL DO SOLO E DA ÁGUA	72
4.1	PADRÃO DE QUALIDADE AMBIENTAL	72
4.2	PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.	74
4.2.1	Textura/ Granulometria	74
4.2.2	Mineralogia da fração de argilas por difração de raios-X	75
4.2.3	Matéria orgânica do solo (MO)	76
4.2.4	Potencial hidrogeniônico (pH)	76
4.2.5	Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	76
4.2.6	Metais pesados	77
4.3	PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	79
4.3.1.	Temperatura	82
4.3.2	Turbidez	82
4.3.3	Sólidos totais dissolvidos (STD)	83
4.3.4	Condutividade elétrica (CE)	83
4.3.5	Potencial hidrogeniônico (pH)	84
4.3.6	Oxigênio Dissolvido (OD)	84
4.3.7	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	84
4.3.8	Série Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato)	85
4.3.9	Cloretos	85
4.3.10	Coliformes totais e coliformes fecais	86
5	METODOLOGIA DA PESQUISA	87
5.1	A BACIA DE DRENAGEM COMO UNIDADE DE ESTUDOS AMBIENTAIS	87
5.2	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS – OPERACIONAIS DA PESQUISA	88
5.2.1	Pesquisa bibliográfica e cartográfica	90
5.2.1.1	Área de drenagem (A)	90
5.2.1.2	Densidade de drenagem (Dd)	91
5.2.1.3	Amplitude topográfica (Hm)	91

5.2.2	Atividades de campo	92
5.2.2.1	Amostragem do solo	92
5.2.2.2	Amostragem de águas subterrâneas	94
5.2.2.3	Amostragem de lixiviados	95
5.2.3	Análise laboratorial	98
5.2.3.1	Métodos e técnicas utilizadas nas determinações dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo.	98
5.2.3.1.1	<i>Ensaio de granulometria</i>	98
5.2.3.1.2	<i>Medição do pH</i>	99
5.2.3.1.3	<i>Determinação da matéria orgânica</i>	99
5.2.3.1.4	<i>Determinação da capacidade de troca catiônica</i>	101
5.2.3.1.5	<i>Mineralogia da fração de argilas por difração de raios-X</i>	102
5.2.3.1.6	<i>Determinação de metais pesados</i>	103
5.2.3.2	Métodos e técnicas utilizadas nas determinações dos indicadores físicos, químicos e biológicos das águas.	104
5.2.4	Confecções dos mapas	105
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	107
6.1	O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE TERESINA E A DINÂMICA DE OCUPAÇÃO NO ENTRONCO DO ATERRO CONTROLADO	107
6.2	CARACTERÍSTICAS FISIográficas DAS SUB-BACIAS B1 (ATERRO) E B2 (CONTROLE)	113
6.2.1	Sub-bacia B1 (aterro)	113
6.2.2	Sub-bacia B2 (controle)	117
6.2.3	Adequabilidade das sub-bacias à construção de aterros de resíduos sólidos	118
6.3	CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS NAS SUB-BACIAS B1(ATERRO) E B2 (CONTROLE)	122
6.3.1	Atributos físicos dos solos	122
6.3.2	Atributos químicos e biológicos dos solos	125
6.3.3	Metais pesados dos solos	128
6.3.3.1	Distribuição espacial do cromo (Cr)	130
6.3.3.2	Distribuição espacial do chumbo (Pb)	131
6.3.3.3	Distribuição espacial do cobre (Cu)	133

6.3.3.4	Distribuição espacial do níquel (Ni)	134
6.3.3.5	Distribuição espacial do zinco (Zn)	135
6.4	CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS NAS SUB-BACIAS B1(ATERRO) E B2 (CONTROLE)	136
6.4.1	Caracterização física das águas e lixiviados	138
6.4.1.1	Temperatura	138
6.4.1.2	Turbidez	138
6.4.1.3	Sólidos totais dissolvidos (STD)	139
6.4.2	Caracterização química das águas e lixiviados	140
6.4.2.1	Potencial hidrogênio (pH)	140
6.4.2.2	Condutividade elétrica (CE)	141
6.4.2.3	Oxigênio dissolvido (OD)	142
6.4.2.4	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅)	143
6.4.2.5	Cloretos	144
6.4.2.6	Nitratos, nitritos e amônia	144
6.4.3	Caracterização biológica das águas e lixiviados	146
7	CONCLUSÕES	147
	REFERÊNCIAS	149
	APÊNDICE A – DIFRATOGRAMAS DE SOLOS COLETADOS NA SUB-BACIA B1 (ATERRO)	163
	APÊNDICE B - DIFRATOGRAMAS DE SOLOS COLETADOS NA SUB-BACIA B1 (ATERRO)	164
	APÊNDICE C - DIFRATOGRAMAS DE SOLOS COLETADOS NA SUB-BACIA B2 (CONTROLE)	165

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

O modelo de industrialização desenvolvido no Brasil, no século XX, pode ser considerado como um dos principais responsáveis por várias transformações sociais econômicas e ambientais. A concentração da indústria impulsionou um acelerado e complexo processo de urbanização, que se desenvolveu não acompanhado de correspondente infraestrutura e de serviços urbanos, comprometendo, sobremaneira, a qualidade ambiental e social desses espaços.

Esse modelo econômico industrial - alicerçado no modo de produção e consumo capitalistas - hoje ancorado no neoliberalismo e, associado à urbanização desregrada, ao consumo exagerado dos produtos e à cultura da obsolescência programada desses produtos industriais conduziu à intensificação da problemática dos resíduos, visto que passaram-se a produzir volumosas quantidades de resíduos que, ao ser inadequadamente descartados produzem uma série de danos ao ambiente e à saúde do homem (ZANETI, 2003; VIEIRA e GODOY, 2003; SANCHES e MACHADO, 2008; JACOBI e BENSEN, 2011).

O problema dos resíduos, como agentes poluidores, decorre não apenas da quantidade gerada, mas também da sua composição cada vez mais heterogênea e menos biodegradável. Os domicílios, os comércios e as indústrias descartam quantidades cada vez maiores de metais, plásticos e papelão. Além desses, outros resíduos perigosos como lixo hospitalar, medicamentos fora do prazo de validade, pilhas, baterias, materiais elétricos e eletrônicos assim como outros produtos químicos são descartados diariamente, logo os impactos ambientais decorrentes da gestão inadequada desses resíduos passaram a ser constantes.

No Brasil, diariamente, são produzidos em média 183.488 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos e a produção per capita de resíduos domésticos em áreas urbanas é de 0,859 a 1,599 Kg por dia, dependendo do porte da cidade (IBGE, 2010a; ABRELPE, 2012). A situação do manejo desses resíduos produzidos no país ainda é preocupante, principalmente no que se refere à disposição final, visto que 50,8% dos municípios brasileiros dispõem os resíduos produzidos em vazadouros a céu aberto; 22,5% em aterros controlados e apenas 27,7% em aterros sanitários (IBGE, 2010a).

Quando se compara a situação do manejo de resíduos entre as grandes regiões do país observam-se distorções acentuadas, tendo em vista as maiores proporções de destinação dos resíduos em lixões nos municípios das regiões Norte (85,5%) e Nordeste (89,3%) e menores proporções nos municípios das regiões Sul (15,8%) e Sudeste (18,7%). Nos Estados da região Nordeste a situação se agrava no Piauí, Maranhão e Alagoas - com 97,8%, 96,3% e 96,1% dos municípios com destinação dos resíduos em lixões - respectivamente (IBGE, 2010a).

Os lixões e aterros controlados são considerados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) como formas inadequadas de disposição de resíduos. Nos lixões ou vazadouros os resíduos são descarregados a céu aberto, sem quaisquer medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, e no aterro controlado os resíduos são compactados e cobertos com o solo, mas em geral não dispõem de sistema de impermeabilização do solo e nem drenagem e tratamento dos poluentes oriundos do processo de decomposição dos resíduos (JACOBI, 2004; BOSCOV, 2008).

Os problemas de poluição decorrentes da disposição inadequada de resíduos sólidos decorrem, principalmente, do chorume - líquido escuro originário da decomposição dos resíduos sólidos urbanos - que pode conter substâncias orgânicas e inorgânicas tóxicas presentes no próprio resíduo. Esse líquido pode ser transportado superficialmente para os mananciais próximos, ou ainda - pelo processo de lixiviação - permear as camadas de fundo dos locais de disposição e contaminar águas superficiais e subterrâneas, comprometendo a sua qualidade e, conseqüentemente, o seu uso (CELERE, 2007; OLIVEIRA e SANTANA, 2010).

Por isso, as questões relacionadas à poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas provocadas por resíduos sólidos é, atualmente, em escala mundial, objeto de preocupações e estudos, pois os problemas causados pela disposição inadequada do grande volume de resíduos, gerados no espaço urbano, não cessam simplesmente com o fechamento dos lixões e aterros. Isso porque, desde o momento da disposição de resíduos - o lixiviado - líquido formado pela infiltração da água da chuva e pelo processo de decomposição do resíduo, continua sendo gerado por um processo que dura décadas e a sua migração através do solo não se interrompe.

A cidade de Teresina - capital do Estado do Piauí - contava em 2010 com uma população de 814.230 habitantes e uma produção per capita de resíduos urbanos girando em torno de 1,53 Kg por dia e tem como forma de destino final para os resíduos sólidos urbanos, um aterro do tipo controlado (IBGE, 2010b, TERESINA, 2013a). Esse aterro é oriundo de um

antigo lixão implantado no final da década de 70, que até o ano de 2010 recepcionou uma disposição indiscriminada de resíduos provenientes de indústrias, domicílios, abatedouros (Penas e vísceras), efluentes sanitários (fossas) e Serviços de Saúde, sem o devido tratamento (TERESINA, 2010). Atualmente, esse aterro recepciona os resíduos sólidos domiciliares e de serviços públicos. Os resíduos de serviços de saúde são tratados por empresas especializadas e seus rejeitos depositados no aterro. Os efluentes sanitários são encaminhados à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), já que apenas 17% dos domicílios do município são contemplados com o serviço de esgotamento sanitário (TERESINA, 2013a).

Ressalte-se ainda, que o referido aterro não possui sistema de impermeabilização do solo e parte dos líquidos formados na degradação dos resíduos é drenada para duas lagoas de captação, que também não dispõem de todos os dispositivos de proteção ambiental recomendados para aterros sanitários, encontra-se com sérios riscos de contaminação do solo, subsolo e dos lençóis freáticos da região. A situação se agrava em períodos de chuvas, como aconteceu no ano de 2012, em que foi identificado vazamentos de lixiviados para os terrenos vizinhos ao aterro (NUNES, 2012).

Chama-se a atenção para o fato de que o aterro localiza-se à montante da área urbana, na Zona Sul do município, que corresponde também a um dos eixos de crescimento urbano, de modo que se observam, décadas após décadas, uma crescente ocupação no seu entorno, proporcionada tanto pelas construções de conjuntos habitacionais como por ocupações irregulares, com formação de vilas cada vez mais próximas do limite do aterro. Destacam-se ainda, outros empreendimentos no seu entorno como, por exemplo, um poço Tubular da AGESPISA (Águas e Esgotos do Piauí S/A) e alguns sistemas produtivos como: abatedouro, criatório de peixes, fábrica de ração e vários pontos de extração mineral de areia e seixos (Observações pessoais).

Esse quadro de problemas quanto à forma de disposição final, no município de Teresina foi o que conduziu à realização dessa investigação, cujo foco central é a qualidade ambiental do solo e água subterrânea na área do aterro controlado e seu entorno, com ênfase nos padrões de qualidade de natureza física, química, biológica e de metais pesados considerados tóxicos, pois o conhecimento espacial desses contaminantes poderá auxiliar no processo de gerenciamento e controle da qualidade do solo e dos recursos hídricos nessa área.

Mundialmente, alguns estudos têm investigado a influência de aterros e lixões na qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas, apontando forte potencial poluidor dos líquidos gerados. A respeito da influência do Aterro Controlado de Teresina (ACT) na

qualidade do solo e águas, ainda é incipiente o número de trabalhos científicos sistemáticos. Uma investigação foi realizada por Coelho (2011) constatou concentrações de nitrato, nitrito e zinco em amostra de chorume e de cobre e cromo acima dos valores orientadores contidos na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

Entretanto, muitos desses estudos são realizados de forma pontual, desconsiderando-se a dinâmica de fluxos das águas, principais responsáveis pelo carreamento de diversos tipos de contaminantes para o solo e água, muitas vezes, para áreas bem afastadas da fonte poluidora. Por isso, nas pesquisas ambientais a definição da área de estudo não é tarefa fácil, em função, principalmente, da dificuldade de delimitação da área de abrangência de impactos.

Nos trabalhos ambientais de cunho geográfico, tem-se comumente adotado a bacia hidrográfica como recorte espacial de estudo, gestão e planejamento, especialmente porque sua configuração é resultante das interconexões estabelecidas entre os elementos do meio físico, biótico e as ações humanas, uma vez que corresponde a uma unidade física com dinâmica própria

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, de acordo com Machado e Torres (2012), pode ser definida como uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto do canal fluvial. Nesse aspecto, ela pode ser considerada como um sistema aberto em que ocorre a entrada e saída de matéria e energia, resultante da interação da ação das águas com vários outros elementos da paisagem: sedimentos, geomorfologia, topografia, vegetação, tipologia climática e ação antrópica.

Santana (2003), ao fazer uma análise da arquitetura de uma bacia de drenagem, enfatiza que os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais ou antrópicos que ocorrem em uma bacia de drenagem vão se refletir num determinado ponto de saída dessa bacia, podendo propagar-se a jusante, por meio de bacias de drenagem adjacentes. Para esse autor todos esses aspectos devem ser levados em consideração nas pesquisas e no planejamento das formas de intervenção humana, mesmo que o interesse do pesquisador ou planejador recaia sobre uma área restrita da bacia de drenagem.

Esse contexto reflexivo conduziu à definição do recorte espacial desse estudo, cabendo aqui fazer um resgate da execução dessa tarefa, que foi marcada por muitas dúvidas e inquietações. Numa primeira aproximação foi estabelecido um raio de 500 metros do limite físico do aterro que, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas corresponde à distância mínima estabelecida entre um aterro e os núcleos populacionais (ANBT, 1997).

Logo, compreendeu-se que não se pode pensar num recorte da realidade, sem considerar a lógica das relações dos fenômenos que se pretende estudar. Desse modo, fez-se a opção de investigar o aterro e sua influência na poluição do solo e água a partir da sub-bacia de drenagem em que o mesmo está inserido, entendendo que a opção tomada proporcionou o conhecimento mais detalhado sobre os diversos elementos e fatores, de modo a compreender as interações que ocorrem na sub-bacia sob a influência do referido aterro, quando comparada com outra sub-bacia de controle estrategicamente escolhida, na região do Sul do município, sem a interferência de aterros.

Assim, diante da realidade local descrita inicialmente, a hipótese adotada é a de que os vários anos de disposição de resíduos sólidos urbanos sem o devido tratamento, no aterro controlado de Teresina – que atende a poucos critérios de engenharia - estão alterando a qualidade do solo e água subterrânea de áreas a jusante.

Considera-se, assim, que a contribuição desta pesquisa decorrerá principalmente da geração de dados, mapas e gráficos sobre a sub-bacia estudada e sobre a qualidade dos solos e águas, visando nortear tomada de decisões quanto ao uso e ocupação do solo e quanto à exploração e gerenciamento dos recursos hídricos na área de influência do aterro controlado de Teresina.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do aterro controlado de Teresina na qualidade ambiental do solo e da água na sub-bacia de drenagem em que o mesmo está inserido, a partir de uma análise comparativa com uma sub-bacia de controle, visando ao diagnóstico de impactos ambientais como um instrumento que possa subsidiar as ações políticas administrativas municipais.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever, comparativamente, a dinâmica de uso e ocupação do solo nas duas sub-bacias de drenagem, a primeira que comporta o aterro controlado de resíduos sólidos de Teresina e a segunda sub-bacia hidrográfica denominada de controle.

- Caracterizar em termos hidro geomorfológicos as duas sub-bacias de drenagem, identificando a adequabilidade das mesmas à implantação de aterros de resíduos sólidos.
- Analisar a qualidade da água subterrânea e lixiviados nas duas sub-bacias, nos seus aspectos físicos, químicos e microbiológicos, considerando-se os parâmetros: Temperatura, Turbidez, pH, Condutividade, DBO, cloretos, nitrito, nitratos e amônia, sendo esses parâmetros comparados com os valores de referência do Ministério da Saúde Portaria Ministerial MS Nº 2914 de 12/12/2011 e da Resolução CONAMA Nº 396 de 03/04/2008;
- Caracterizar amostras de solos coletadas no alto, médio e baixo cursos nas duas sub-bacias, a partir dos parâmetros: granulometria, Potencial Hidrogeniônico (pH), Matéria Orgânica, Capacidade de Troca Catiônica e de metais pesados, comparando-os com os valores de referência da Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas;
- Elaborar cartografia de espacialização dos agentes contaminantes, utilizando técnicas de geoprocessamento que possa servir de apoio ao órgão municipal competente na gestão do aterro controlado.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização da área de estudo foi organizada a partir dos aspectos da região, aqui considerado o município de Teresina dada a carência de estudos científicos que contemplem a sub-bacia de drenagem onde o aterro controlado está localizado. Para tanto, tomou-se como referências: o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) e outros documentos oficiais da Prefeitura Municipal de Teresina; o Projeto RADAM/BRASIL, que consiste em um levantamento de recursos naturais de todo território brasileiro, mas especificamente, as folhas SB-23 - Teresina (BRASIL, 1973); o Mapa Exploratório de solos de Teresina (EMBRAPA/SUDENE, 1993); o Mapa Geológico do Teresina (BRASIL/CPRM, 2006); a proposta de compartimentação do relevo de Teresina apresentada por Lima (2011) e demais trabalhos de sua autoria voltados ao estudo do município; o projeto de avaliação de depósitos minerais para a construção civil PI/MA executado por Correia Filho e Moita (CPRM, 1997) e demais documentos oficiais em nível federal, estadual e municipal - além de dados disponíveis nos sites do IBGE, INMET, ANA e EMBRAPA MEIO NORTE.

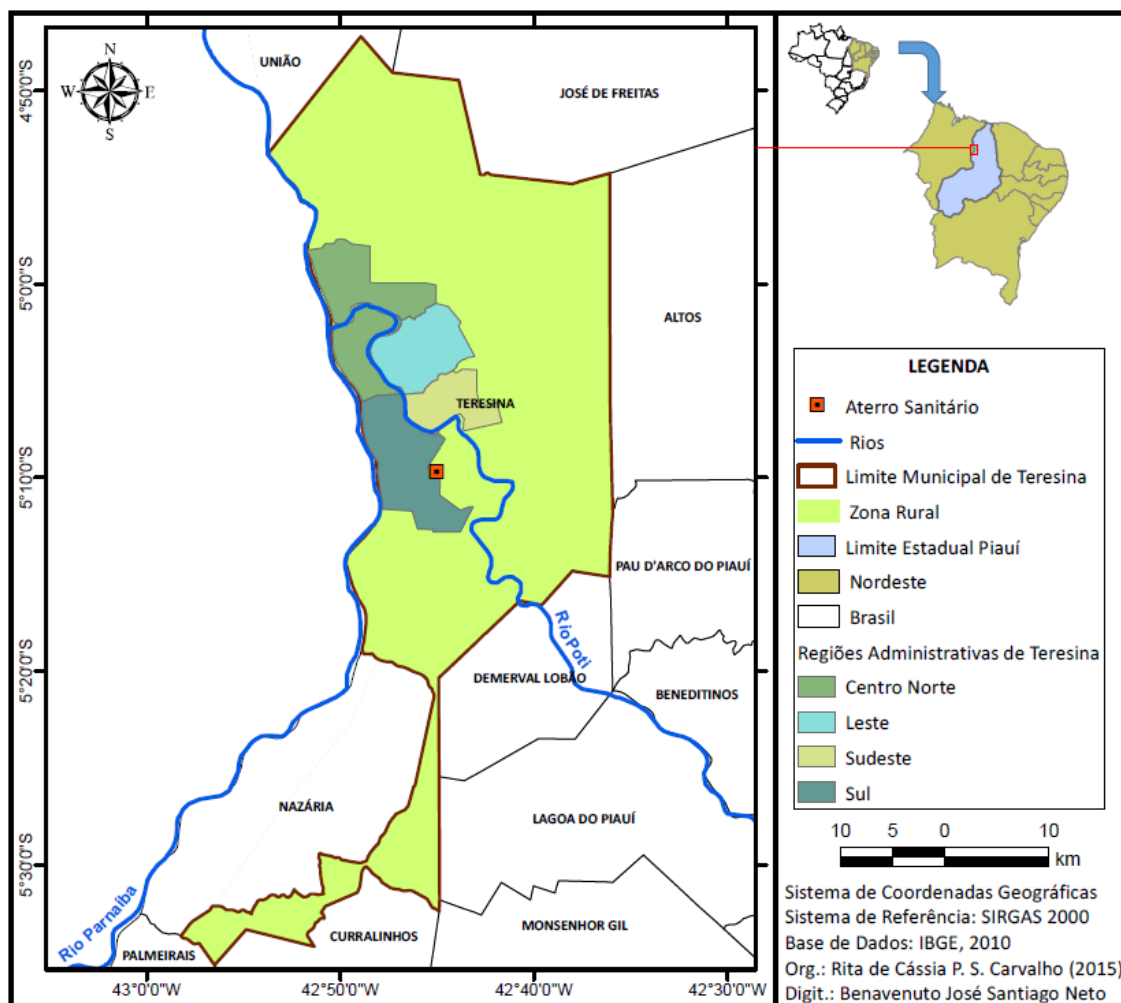
2.1 ASPECTOS GERAIS E LOCALIZAÇÃO

O município de Teresina encontra-se localizado na região Centro-Norte do Estado do Piauí e Meio-Norte do Nordeste brasileiro, na porção do médio curso da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, onde recebe um dos seus maiores afluentes, o rio Poti. O município tem uma parte da sua porção urbana entre esses dois rios, e a outra parte, estende-se à margem direita do rio Poti. A população residente no ano de 2010 era de 814.230 habitantes, apresentando uma área aproximada de 1.392 km² e uma densidade demográfica de 584,94 hab/Km². 17% da área do município são consideradas zona urbana o que corresponde a 283,9 km² e a zona rural com 83% da área total (IBGE, 2010b). O ponto central da sede do município está balizado pelas coordenadas geográficas 05° 05' 12" de latitude Sul e 42° 48' 42" de longitude Oeste. Limita-se ao Norte com os municípios de União e José de Freitas, ao sul com Palmeirais, Monsenhor Gil, Nazária, Demerval Lobão e Curralinhos, a Leste com Altos, Lagoa do Piauí e Pau d'Arco do Piauí, e a Oeste com o município de Timon, pertencente ao Estado do Maranhão (TERESINA, 2011, IBGE, 2010b) (Mapa 1).

Teresina está administrativamente dividida em quatro regiões geograficamente distintas: Centro-Norte, Sul, Leste e Sudeste e, segundo o Plano Diretor de Drenagem de

Teresina essas regiões possuem Plano de Desenvolvimento Urbano e Rural que são conduzidos pela Superintendência de Desenvolvimento Urbano (SDU) e Superintendência de Desenvolvimento Rural (SDR) (TERESINA, 2010; IBGE, 2010b).

Mapa 1 - Localização do Município de Teresina e Municípios limítrofes



Teresina é favorecida por se encontrar num importante entroncamento rodoviário do Nordeste, facilitando a comunicação com a região Norte do país e com os principais centros urbanos das regiões Sudeste e Centro-Oeste, tendo como principais vias de acessos as seguintes rodovias federais: BR 316 (São Luis-Teresina-Recife); BR 343 (Floriano-Teresina-Parnaíba) e 226 (Teresina-Fortaleza-Natal). Além disso, a cidade está inserida na Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE) composta por 11 municípios do Estado do Piauí e 1 município do Estado do Maranhão. Segundo os dados do censo demográfico de 2010, a população residente nessa região de desenvolvimento atingiu um total de 1.154.716 habitantes (FORTES, 2010; TERESINA, 2010).

Segundo o estudo denominado Regiões de Influência das Cidades, realizado pelo IBGE no ano 2007, Teresina vem ganhando destaque como um centro de prestação de serviços diversificados, como o comércio de bens, mercadorias e equipamentos de serviços de assistência técnica, transporte aéreo e, principalmente, pelos serviços de saúde (hospitais, laboratórios, clínicas, ambulatório, farmácias e drogarias), que conseguem atrair pacientes residentes em áreas distantes (IBGE, 2007), tornando-se, também, um polo de educação em ensino de nível Superior (PIAUÍ, 2002; TERESINA, 2013b).

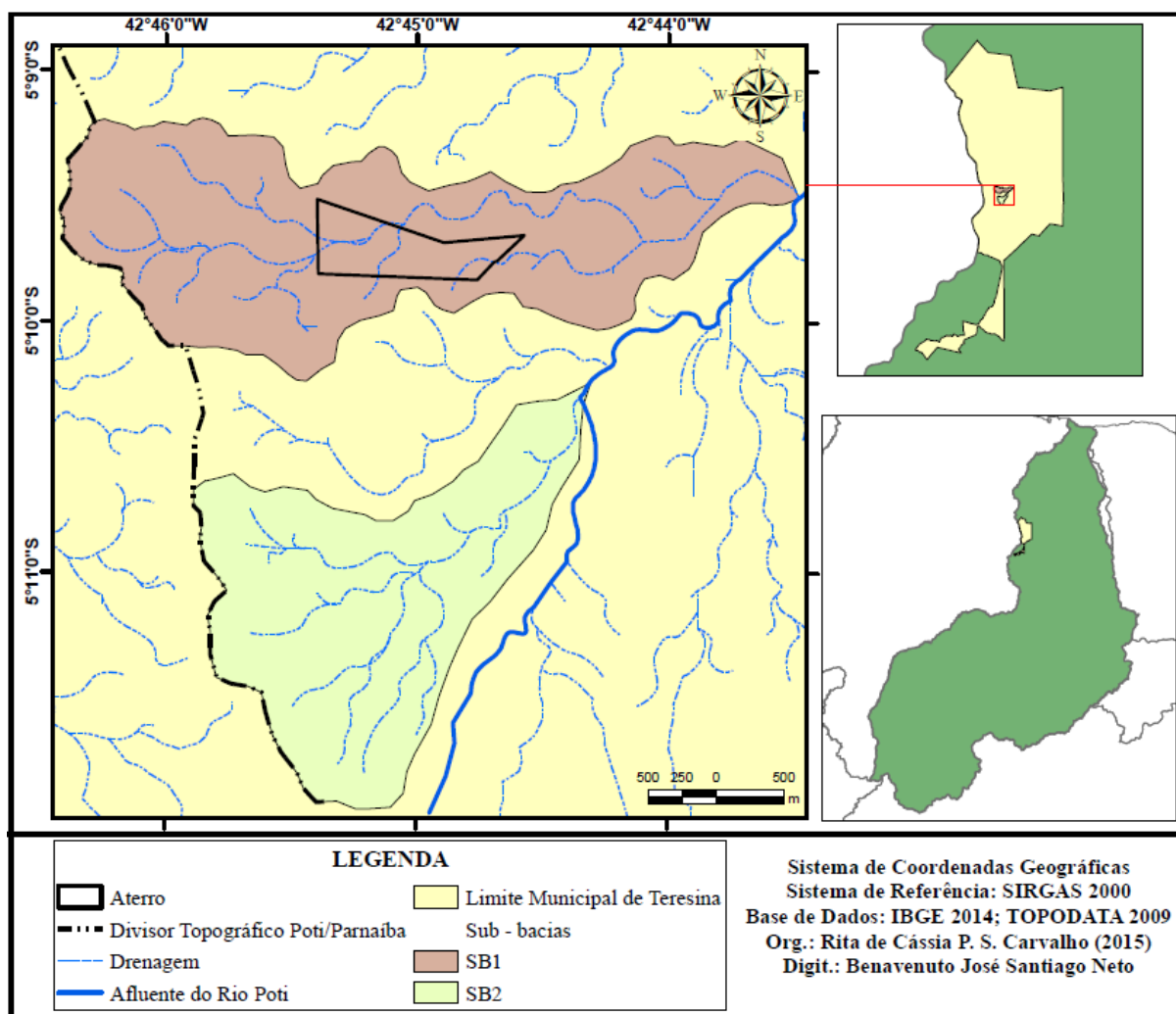
Esse dinamismo de Teresina, dentre os vários fatores, é um dos que tem influência direta sobre o aumento da geração de resíduos sólidos, sejam eles de origem residencial, comercial, público e de serviço de saúde. O incremento na quantidade de resíduos sólidos gerados no município pode ser facilmente observado nos dados apresentados pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação de Teresina (SEMDUH), que demonstra um sucessivo aumento no total de Resíduos Sólidos Domiciliares coletados no município, passando de 184.598,09 toneladas no ano de 2010 para 193.898,65 toneladas em 2012 (TERESINA, 2013a).

Conforme o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina (PDDrU) (TERESINA, 2010), na área urbana Teresina existem 32 sub-bacias de drenagem de águas pluviais na margem esquerda do rio Poti. Essas sub-bacias foram denominadas pelo símbolo PE e identificadas pelas numerações variando de 01 a 32. Por esse documento, o aterro controlado localiza-se na sub-bacia PE03, na região sul da cidade, a qual contém também 20% do Bairro Santo Antônio. Essa sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que flui em direção ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite sul do perímetro urbano do município. Com base nesse documento essa sub-bacia apresenta uma forma circular, com uma área de drenagem de 329,05 e perímetro de 7.993,77 metros (TERESINA, 2010).

Neste trabalho foram selecionadas duas sub-bacias de drenagem como recorte espacial de análise. A primeira sub-bacia recebeu a denominação B1 e está diretamente influenciada pelo Aterro Controlado de Teresina. A segunda sub-bacia, denominada B2 foi escolhida como unidade controle, localizada a montante da primeira sub-bacia, sem a presença de aterros de resíduos sólidos, mas situada sobre o mesmo contexto fisiográfico, separadas entre si por outra sub-bacia, fim de garantir os parâmetros necessários para a realização de um estudo comparativo. Essas duas unidades trabalhadas localizam-se na zona Sul do Município de Teresina, Estado do Piauí, à margem esquerda do Rio Poti, afluente do Rio Parnaíba (Mapa 2).

Mapa 2

Mapa 2 - Localização das sub-bacias de drenagem que compõem a área de estudo



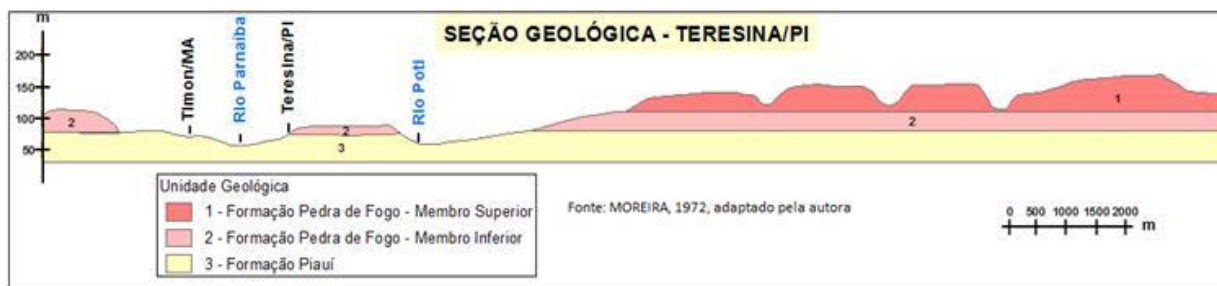
Parte do aterro controlado está posicionado na zona urbana do município, entre os Bairros Santo Antônio e Parque Jacinta e a outra parte na zona rural, cujo ponto central corresponde às coordenadas geográficas 05° 09' 47" de latitude Sul e 42° 45' 26" de longitude Oeste de Greenwich, tendo como via de acesso Rodovia Federal BR 316, Km 7. A área total do terreno onde se encontra o aterro é de 48,59 hectares. O aterro controlado existente ocupa aproximadamente 33,31 hectares da área total. Ressalte-se ainda que, ao lado do aterro controlado, em funcionamento, está sendo construído o Aterro Sanitário que ocupará uma área de 15,28 hectares, cujo projeto construtivo é consonante com as exigências das Normas Técnicas que visam minimizar os efeitos da poluição ao meio ambiente (TERESINA, 2013a).

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS

A base geológica do município de Teresina onde se localiza a área de estudo corresponde às Formações Piauí (datada do Período Carbonífero Superior) sobreposta à Pedra de Fogo (datada do Período Permiano), que aflora em toda essa área. Apresenta à montante dessa área, rochas ígneas básicas (diabásio) datados do período cretáceo, que afloram sob formas de soleiras e diques, na área Sul desse município, de onde são retiradas e produzidas blocos para ornamentação e construção civil. Entre os litotipos da Formação Piauí predominam os arenitos calcíferos, siltitos e folhelhos que afloram ao Sul e ao Norte do município, onde se encaixa o vale do rio Parnaíba; e entre os lototipos da Formação Pedra de Fogo há uma predominância de silexitos, arenitos e siltitos que afloram frequentemente nos topos dos baixos planaltos e nas encostas mais escarpadas do relevo local (MOREIRA, 1972, BRASIL, 1973;).

Regionalmente, essas Formações pertencem à estrutura geológica da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que ocupa uma área de 600.000 km² e abrange quase que a totalidade dos Estados do Piauí e Maranhão, tendo o Piauí cerca de 80% do seu território nela inclusa. Os compartimentos de relevo dessa bacia sedimentar apresentam uma topografia em topos tabulares e sub-horizontais, cujas altitudes mais elevadas alcançam 900 metros no limite do Estado do Piauí com o Estado do Ceará. A altimetria vai decrescendo de forma escalonada pelo desdobramento da cuesta da Ibiapaba em planaltos e depressões interplanálticas, para o interior da bacia, chegando a cerca de 150 a 200 metros de altitude ao Sul do Município de Teresina. Os baixos planaltos são individualizados pelos grandes rios Poti e Parnaíba e recortados pelos seus afluentes de menores dimensões, formando no Sul do município baixos planaltos com altitudes que chegam a 160 m. No parque da cidade na zona Norte da área urbana de Teresina, bem como no seu entorno os platôs e colinas mais baixos desse interflúvio chegam a uma altitude de 90 m. Já na foz do rio Poti, no Parnaíba a altitude é de aproximadamente 55 a 53m, correspondendo ao nível de base local (LIMA et al, 2002). A Figura 1 traz a ilustração esquemática de uma secção geológica e geomorfológica na localização da sede do município de Teresina.

Figura 1 - Perfil esquemático da geologia de Teresina (sede do Município)



Fonte: CONPLAN, 1970, citado por MOREIRA, 1972.

Como se observa, Teresina encontra-se diretamente influenciada pelo contexto geológico-geomorfológico regional, marcada de forma geral por um relevo plano com suaves ondulações, caracterizado por estruturas monoclinais, que abrangem camadas de sedimentos, com leves inclinações formando uma topografia tabular e assimétrica (TERESINA, 2011). Tomando-se como base o trabalho de compartimentação do relevo do município, realizado por Lima (2011) pode-se, portanto, identificar três principais compartimentos geomorfológicos:

1) Planícies e Terraços Fluviais - compreendem formas de acumulação por processos fluviais que ocorrem sobre a formação Piauí. Estas unidades geomórficas localizam-se de forma descontínua ao sul do município e de forma contínua ao norte na porção terminal da bacia, ou seja, baixo curso do Rio Poti na confluência deste com o Rio Parnaíba, em altitudes entre 50 a 70 metros;

2) Superfície Intensamente Retrabalhada pela Drenagem com Morros Residuais - correspondendo às formas de topos planos em faixa de altitudes entre 70 a 100 metros, modeladas diretamente sobre a Formação Pedra de Fogo, a partir de intensos processos erosivos;

3) Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados - representada por Morros com Tendência ao Arredondamento, limitados por Relevo Escalonado que compreendem as formas erosivas de topos definidos tendendo ao arredondamento, sendo recortados por vales encaixados, com cotas de 100 a 170 metros de altitude. Esse compartimento geomorfológico é também representado por mesas com topos aplainados, limitados por escarpas que correspondem às formas erosivas de topos mais elevados e encostas íngremes, em altitudes variando entre 170 a 250 metros.

Nessa classificação, a sub-bacia B1 (do aterro controlado) localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 120 m, junto às cabeceiras, aos 70 m junto à área de confluência com uma sub-bacia maior, fora do limite da

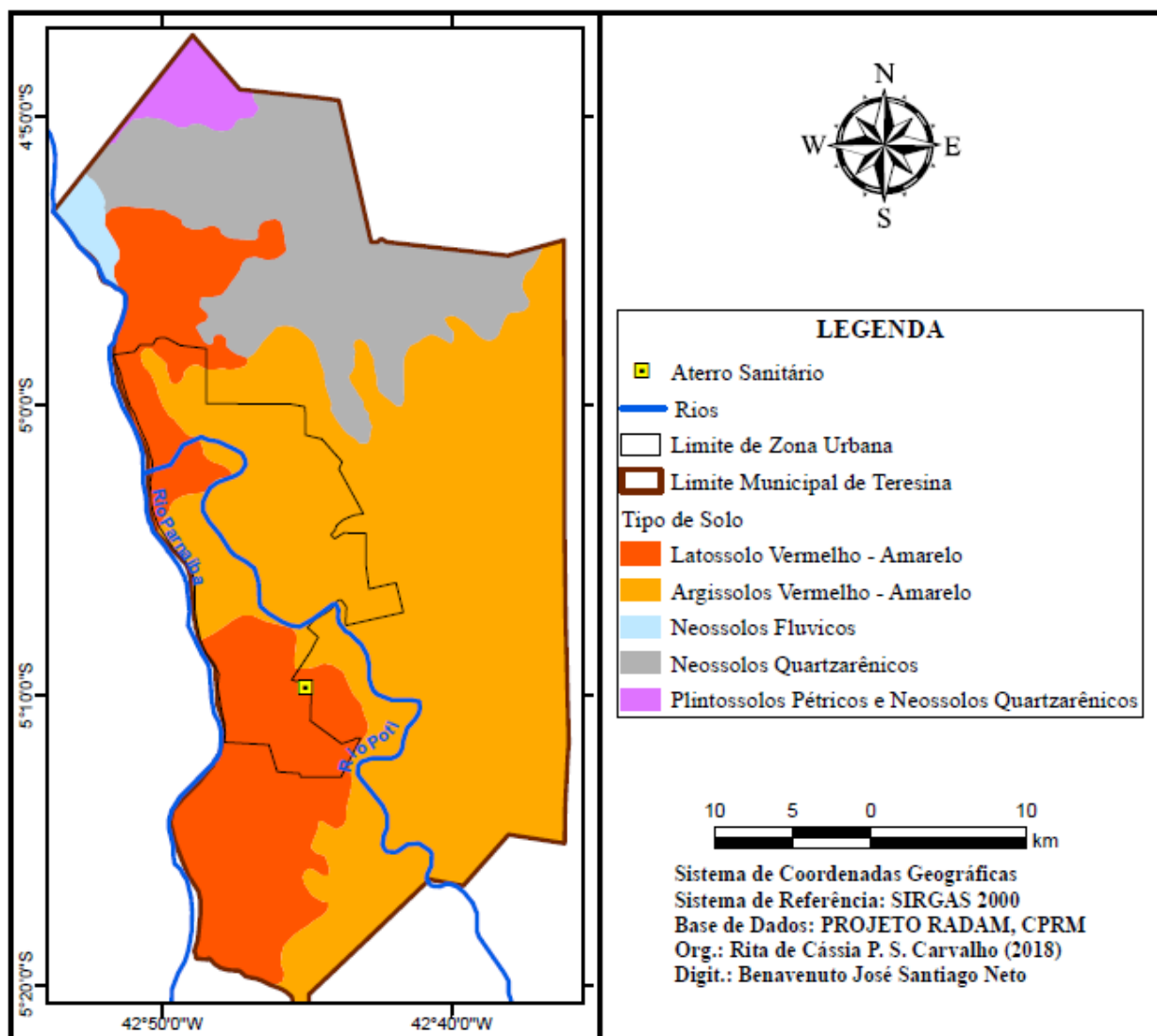
zona urbana (TERESINA, 2010). Portanto, essa sub-bacia está assentada na interface entre os compartimentos geomorfológicos de morros residuais e morros com tendência ao arredondamento, modelados sobre a Formação Pedra de Fogo.

2.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS E OUTRAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS.

No município de Teresina, predominam o Latossolo Amarelo e Podzólico Vermelho – Amarelo, que são solos de textura média. O Latossolo Amarelo ocorre com maior frequência nos trechos planos do Município, numa faixa paralela ao Rio Parnaíba, com uma largura média de 10 km. Os solos nessa área são profundos, bem desenvolvidos, de boa drenagem, com baixa fertilidade natural e normalmente com elevados níveis de alumínio, devido à alta acidez. O Podzólico Vermelho-Amarelo está associado a situações de relevo mais movimentado, onde os processos erosivos são mais acentuados. Esses solos são mais rasos, com baixa fertilidade natural e alta acidez, situando-se principalmente nas encostas e topos de chapadas. (Mapa 3) Essas características conferem a esses dois tipos solos uma limitação ao uso agrícola necessitando, portanto, de prévia correção da acidez e uso de fertilizantes (BRASIL, 1973; EMBRAPA/SUDENE, 1983, TERESINA, 2010).

Também ocorrem - no município de Teresina - os depósitos aluvionares recentes (datados do quaternário) pouco desenvolvidos, oriundos de deposições fluviais, com relevo plano de várzeas, constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas de drenagem moderada a boa. Esses solos aparecem numa faixa estreita e às vezes descontínua apenas ao longo dos rios Parnaíba e Poti. Apresentam níveis elevados de fertilidade natural, com grande potencial para agricultura irrigada, porém nas áreas mais baixas, estão sujeitos a inundações periódicas. Outra unidade de solo ocorrente no município, ainda que em pequena escala, são os do tipo Brunizem Avermelhado (Chernossolos) de alto teor de argilas, baixo nível de acidez e elevado nível nutricional - excelentes para uso agrícola. No entanto, ocorrem em locais onde o relevo é acidentado e associado a solos rasos, prevalecendo, portanto, as limitações decorrentes das fortes declividades que lhes conferem alto risco de erosão (TERESINA, 2010).

Mapa 3- Solos do município de Teresina, destacando o Aterro Controlado



2.4 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

2.4.1 Águas superficiais.

Teresina é banhada pelo rio Parnaíba em toda sua extensão Norte-Sul num percurso de cerca de 83,408 Km formando o limite oeste com o Maranhão (LIMA, 2011). O Parnaíba é o principal rio piauiense, nasce na região do Alto Parnaíba, nos contrafortes da Chapada das Mangabeiras, a 800m de altitude, com uma extensão aproximada de 1.400 km e é perene na maioria de seus trechos (MMA, 2006). Na zona Norte de Teresina o rio Parnaíba recebe um dos seus maiores afluentes - o rio Poti - que no município apresenta uma extensão de 55,48 Km, estando 24,48 Km na área urbana (TERESINA, 2002; LIMA, 2011).

Compõem também a hidrografia teresinense vários riachos e uma centena de lagoas de médio e pequeno porte ao longo dos dois principais rios que banham a capital. Segundo Lima (2011), muitos desses riachos deságuam na área urbana e são canalizados em galerias pluviais, para onde convergem também muitos esgotos residenciais de áreas não contempladas com o esgotamento sanitário. Este fato provoca problemas de inundações, principalmente nos anos de ocorrência de maiores índices pluviométricos. Acrescenta-se ainda que, no processo de expansão da cidade muitas lagoas - formadas nos terraços desses rios - foram aterradas para uso urbano, ampliando os problemas sanitários e habitacionais da população.

2.4.1 Águas subterrâneas

A região em estudo está contemplada pelo sistema de aquífero Poti-Piauí, pertencente à Bacia Sedimentar do Parnaíba, ocorrendo, predominantemente, sob a condição livre. O referido aquífero toma emprestado nome das formações Poti e Piauí e aflora em grande parte da porção ocidental do Estado do Piauí, alcançando o Sul do Pará e o Nordeste do Tocantins (CONEJO, 2005; ZOBY e OLIVEIRA, 2005).

Nesse aspecto, Teresina se encontra numa situação privilegiada em recursos hídricos, pois está assentada sobre rochas sedimentares porosas e permeáveis e conta com recursos de água subterrâneas da Formação Piauí, que se situa no nível de base local dos dois rios que entrecortam o município. (LIMA, et al, 2002; TERESINA, 2008).

Já a Formação Pedra de Fogo, por suas características litológicas, com predominância de camadas argilosas e intercalações de leitos de sílex - que são rochas compactas e consequentemente impermeáveis - apresenta pouco potencial hidrogeológico. Além das características apresentadas, a Formação Pedra de Fogo por se encontrar topograficamente mais elevada responde pela formação de aquíferos de qualidade inferior, nos quais a água subterrânea é obtida da subsuperfície em poços rasos e cacimbões domésticos, e ainda em escavações dos terraços de aluvião. São, portanto, lençóis subsuperficiais que oscilam em função do abastecimento das águas das chuvas (MOREIRA, 1972).

Cumprе enfatizar que o sistema de abastecimento d'água da zona urbana de Teresina tem como principal fonte de água o rio Parnaíba, cujo gerenciamento é realizado por meio de concessão da Prefeitura de Teresina à Companhia de Águas e Esgotos de Piauí S.A (AGESPISA). Segundo o relatório da AGESPISA (2009), a taxa de cobertura do

fornecimento de água é de 96,59% dos domicílios com água de boa qualidade, porém é deficitária a rede de distribuição, que não consegue alcançar alguns bairros da periferia da cidade. Assim - com o propósito de complementar o abastecimento de água, a Prefeitura Municipal conta com 74 poços tubulares distribuídos em alguns bairros e povoados, sendo que um desses poços se localiza no bairro Santo Antônio, no limite da área do aterro controlado (TERESINA, 2013b).

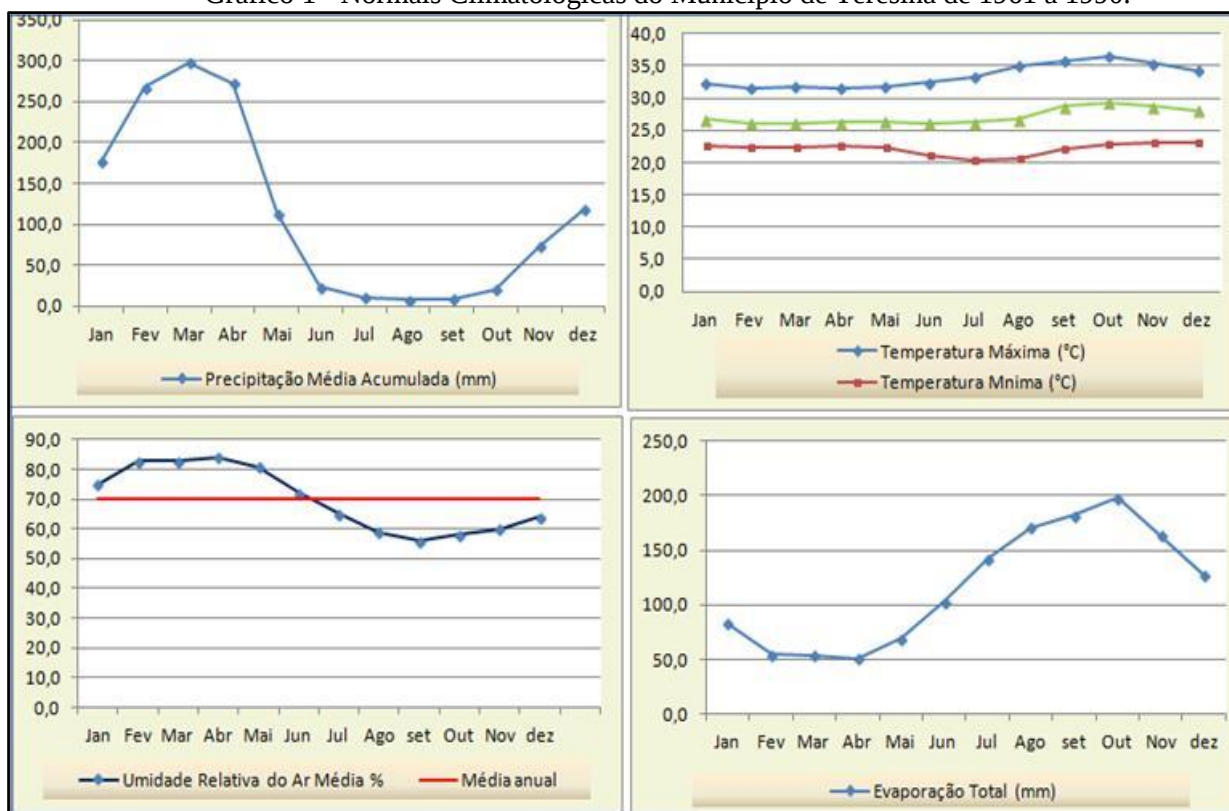
2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

Teresina participa das condições gerais do clima de transição entre o semiárido nordestino e a região amazônica úmida, apresentando características climáticas próprias das quais se ressaltam as elevadas temperaturas durante todo o ano, com máximas superiores a 35°C (FORTES, 2010).

Assim, de acordo com a classificação climática de Köeppen, o clima de Teresina é definido como do tipo Tropical (Aw'), ou seja, quente e úmido, com chuvas retardadas para o outono, sob a influência dos deslocamentos sazonais da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e das Linhas de Instabilidade Tropical (LIT) provenientes da Amazônia Oriental. Quanto ao regime de chuvas, o clima de Teresina é caracterizado por duas estações bem definidas: a estação Chuvosa dura de dezembro a maio, com média de precipitação anual de 1.365 mm, sendo os meses de março e abril os de maior intensidade de chuvas, chegando a uma precipitação de 335,5 mm. A estação Seca ocorre de junho a novembro com precipitações que oscilam entre 8,0 a 53,6 mm (TERESINA, 1993, 2011a, 2011b; BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2012).

Para uma melhor compreensão da natureza climatológica do município de Teresina, bem como da área de estudo, a Gráfico 1 apresenta as médias mensais dos seguintes dados climatológicos: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e evaporação total numa série histórica representativa de 30 anos, compreendendo o período de 1961 a 1990. Esses dados foram obtidos da estação agrometeorológica do INMET no município de Teresina, localizada na zona norte da cidade, numa altitude de 74,4m e coordenadas geográficas (05°05' S; 42°48' W).

Gráfico 1 - Normais Climatológicas do Município de Teresina de 1961 a 1990.



Fonte: INMET

Analisando os dados do Gráfico 1, observa-se que o regime pluviométrico da região concentra 75,6% da chuva nos primeiros quatro meses do ano e 24,4% do total de chuvas acontecem nos oito meses subsequentes, o que caracteriza uma distribuição anual de chuvas bastante irregular.

Nota-se, também, que a temperatura média mensal sofre pouca oscilação ao longo do ano e que as mais altas temperaturas ocorrem nos meses de agosto a dezembro. As amplitudes térmicas são relativamente altas no intervalo dia e noite. Essas características climáticas, juntamente com a baixa velocidade dos ventos, com média anual de 1.1 m.s^{-1} (período de 1980-2010) causa um desconforto aos teresinenses (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2012).

Outro aspecto a ser observado no município é o aumento térmico ao longo dos anos, uma vez que no período de 1961 a 1990 a temperatura média anual foi de $27,1^{\circ}\text{C}$ e no período de 1980 a 2010 foi $33,9^{\circ}\text{C}$ (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2012). Tal fato pode estar associado: ao aumento de áreas impermeáveis na cidade; à redução da cobertura vegetal; ao adensamento de construções com o processo de verticalização - que diminuem a circulação do ar - e, à liberação crescente de gases de veículos automotores, bem como a processos globais de aquecimento de baixa atmosfera registrados em diversas regiões do planeta.

A umidade relativa atinge a taxa mais baixa do ano apresentando uma média mensal de 56% nos meses de setembro e outubro, chegando a atingir até 20% no horário da tarde. Nos meses de março a abril atinge o seu percentual mais alto chegando a 82% (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2012).

2.6 COBERTURA VEGETAL E COMPOSIÇÃO FAUNÍSTICA.

A cobertura vegetal nativa de uma determinada região está diretamente influenciada pelas características do clima e dos solos que abrangem esse espaço. Dessa forma, Teresina, por estar situada numa zona de transição entre o Nordeste Oriental e a Amazônia, encontra-se numa faixa de contato das formações vegetais dos tipos floresta subcaducifólia, cerrado e caatinga. No município, predomina uma vegetação típica de Cerrado com cobertura vegetal de médio porte e densa. Faz-se presente, também, na área do município, a vegetação de matas e de cocais que se estendem, preferencialmente, ao longo dos vales com sedimentação quaternária e maior fertilidade (TERESINA, 1993). No entorno do aterro controlado é possível identificar algumas manchas de vegetação residual subcaducifólia e matas de cocais (Fotografias 1 e 2).

A floresta subcaducifólia é composta por árvores condicionadas pela dupla estacionalidade climática, em que algumas espécies perdem parte das folhas no período seco e outras espécies se mantêm verdes durante todo o ano. As espécies arbóreas predominantes nessa formação vegetal, no município de Teresina, são: caneleiro (*Cenostigma macrophyllum*); ipê amarelo (*Handroanthus vellosol*); chichá (*Sterculia striata*); jatobá (*Hymenaea coubaril*) (SANTOS FILHO, 2005; VIANA, 2013).

Dentre a vegetação de cocais que ocorrem no município, têm-se a presença: o babaçu (*Attaleya speciosa* ou *Orbygnia martiana*), a carnaúba (*Copernicea prunifera* (Mill) H. E. Moore); buriti (*Mauritiavinifera* L. f.); macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) e tucum (*Bactris marajá* Mart.) (SANTOS FILHO, 2005; VIANA, 2013).

Fotografia 1 - Manchas residuais de vegetação nativa (Floresta Subcaducifólia) no entorno do aterro controlado de Teresina, PI



Fonte: Autora, julho, 2013.

Fotografia 2 : Cocais presenciados no entorno do aterro controlado de Teresina, PI



Fonte: Autora, julho, 2013.

O estudo de Impacto ambiental (EIA) para construção e operação do aterro sanitário de Teresina, realizado no ano de 2008, aponta que em decorrência da área apresentar alterações bastante acentuadas na cobertura vegetal, a biodiversidade faunística, característica

de áreas de cerrado/caatinga não é identificada no ambiente. O referido estudo constatou a presença de alguns espécimes de invertebrados e vertebrados. Dentre as espécies de invertebrados destacam-se: borboletas dos gêneros (*Papilio* sp. e *Morphus* sp.), moscas (*Musca* sp.) e vespas caçadoras conhecidas como cavalo-do-cão (*Pepis fabricius*). Quanto aos vertebrados, têm-se como exemplos as espécies representantes da herpetofauna como: Calango (*Tropidurus hispidus*), Tijubina (*Ameiva ameiva*); Camaleão (*Iguana iguana*) e Calango verde (*Cnemidophorus ocellifer*). Este último é um animal comumente encontrado em capinzais e vegetação rala.

Esse mesmo estudo afirma identifica na região do aterro a presença de elementos representantes da Ornitofauna, a exemplos das aves: Anu preto (*Crotophaga ani*), Bem-te-vi (*Pitangus squammata*), Pardal (*Passer domesticus*) Pombo (*columba* sp.) Fogo-pagou (*Scardafella squammata*) urubu cabeça vermelha (*Cathartes aura*) e urubu cabeça preta (*Coragyps atratus*). É baixa a ocorrência de espécimes de mamíferos, provavelmente em razão do pequeno estrato arbóreo-arbustivo, sendo encontrado o rato doméstico (*Ratus ratus*) (PLANACON, 2008).

Durante a realização dos trabalhos de campo, no ano de 2014 para coleta de amostras de solo e águas, identificou-se a presença de Urubu cabeça preta, conforme ilustrado na Fotografia 3.

Fotografia 3 – Registro da presença de urubus sobre os resíduos no aterro controlado de Teresina, PI



Fonte: Autora, novembro, 20

3 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS E FORMAS DE POLUIÇÃO DECORRENTES.

Neste capítulo, julga-se importante apresentar os pressupostos básicos sobre os resíduos sólidos, discutindo-se os elementos para sua definição e classificação. Além de descrever o panorama dos resíduos sólidos no cenário brasileiro e Teresinense, as formas de disposição comumente adotadas pelos municípios do país, destacando os principais critérios para seleção de áreas para instalação de aterros e, por último, discutem-se os impactos gerados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos, principalmente no que se refere à poluição do solo e da água por metais pesados provenientes da lixiviação do chorume.

3.1 DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Apesar da complexidade que envolve a discussão em torno do conceito de resíduos sólidos, é importante iniciar fazendo uma análise comparativa entre as expressões: lixo e resíduos. *Lixo* é um termo polissêmico que se relaciona a vários vocábulos e admite diversas interpretações, varia no tempo e no espaço, conforme os contextos socioeconômicos e culturais em que é empregado. Do ponto de vista semântico, corresponde a todo material inútil, todo material descartado em lugar público, tudo aquilo que “se joga fora”; ou seja, objetos velhos, sem valor (AURÉLIO, 1986; WALDMAN, 2010).

Etimologicamente, *lixo* parece ter origem do latim *lix*, que significa cinzas ou lixívia. Também, associa-se ao verbo *lixare* cujo significado corresponde a polir, arrancar o excedente, e de forma correlata se vincula com o trabalho dos escultores, que geram resíduos, quando a partir do desbastamento da pedra bruta com seu cinzel, removem os excessos (WALDMAN, 2010).

O termo lixo carrega a ideia de sujeidade, inutilidade e é visto como algo indesejado, que deve ser descartado sem que a ele seja atribuído qualquer tipo de valor e, de preferência, jogado o mais distante possível. E, resíduos são as sobras ou restos das atividades humanas, que podem ser reaproveitados e/ ou reciclados e novamente inseridos no ciclo produtivo, nesse caso agregando valor econômico, social e ambiental (LOGAREZZI, 2004).

Colaborando nessa discussão, Barros (2012) admite que cotidianamente, as expressões lixo, dejetos ou resíduos são empregadas de forma indistinta para denominar materiais ou produtos cujos proprietários ou possuidores os descartam ou eliminam porque já não lhes

interessam, ou por acreditarem que já não lhes possam ser úteis, ainda que sejam susceptíveis de aproveitamento ou de valorização. Para esse autor:

O termo resíduo denota a possibilidade de valorização, enquanto os termos lixo ou dejetos costumam ser considerados como destinados à disposição final, se não houver tecnologias para seu aproveitamento integral, de maneira economicamente viável e tecnologicamente factível (BARROS, 2012, p.35).

Pelo exposto, observa-se que atualmente o ato de descartar, associado à ideia de repúdio, sujidade, imundície e estorvo, aos poucos vêm sendo substituído pelo de reaproveitamento decorrente da ideia de fluxo de matéria. Assim, resíduo ou lixo deve ser compreendido a partir da noção de ciclo, permitindo “pensar em nova utilização, quer como matéria prima para a produção de outros bens de consumo, quer como composto orgânico para o solo” (MANDARINO 2000, p.8).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos PNRS, Lei 12.305/10, apresenta uma definição ampla para resíduos sólidos, nela incluindo os gases e líquidos, conforme descreve o inciso XVI do seu Artigo 3º:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe a proceder ou se estão obrigados a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010a)

Essa Lei, também, apresenta uma definição para *rejeitos* considerando-os como “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não seja a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010a).

Assim, lixo e resíduo podem ser compreendidos como subprodutos gerados nas várias atividades humanas. A diferença está na relação que as pessoas têm com o material a ser descartado, pois o lixo, embora suscetível de reaproveitamento, é considerado pelas pessoas como algo sem serventia, sem valor e que necessitam ser descartados. Já o resíduo é visto como material que possui valor comercial e, que pode ser reaproveitado na produção de novos produtos.

3.2 CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A classificação dos resíduos sólidos não serve somente como elemento técnico de diferenciação e caracterização, é importante também porque permite a adoção das melhores estratégias de tratamento e o correto destino final. O conhecimento de um resíduo constitui-se em elemento norteador para o estabelecimento de adequados sistemas de regulação e controle, pois dependendo das características de cada resíduo é que se estabelece a melhor maneira de gerenciá-lo, definindo as formas de acondicionamento, tratamento e de disposição final que melhor contribuam na prevenção e minimização dos riscos à saúde e ao ambiente.

Barros (2012) concorda que as classificações são temporais, variam em determinado momento histórico, podendo ser complementares ou, às vezes, excludentes, mas são empregadas segundo a conveniência de cada finalidade. E devido ao elevado grau de heterogeneidade dos resíduos sólidos, várias classificações são adotadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR nº 10.004/2004, classifica os resíduos considerando os riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, agrupando-se em duas classes: *Classe I ou Perigosos e Classe II ou Não Perigosos*. Os resíduos perigosos são aqueles que, em função de suas características físicas, químicas e biológicas, podem apresentar riscos à saúde pública. Esses resíduos possuem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos sólidos não perigosos são subdivididos em duas subclasses: *Subclasse IIA, ou Não Inertes*, podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade em água; e *Subclasse IIB, ou Inertes*, aqueles que não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção dos aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

Outro importante critério de classificação considera a origem dos resíduos, ou seja, as várias fontes geradoras. Tomando-se como base a Política Nacional de Resíduos sólidos PNRS (Lei nº 12.305/2010) e os trabalhos de Rodrigues (1998), D’Almeida e Vilhena (2000), Macedo (2006), Sabarzo (2008) e Barros (2012) a tipologia de resíduos quanto à origem está apresentada no quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem

Tipos de resíduos	Fontes geradoras	Resíduos produzidos
Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)	Residências, edifícios, Escolas	Sobras de alimentos, plástico, garrafas, Longa vida, vidro, metal, fraldas, lixo de banheiro, pilhas, solventes, frascos de aerossóis, lâmpadas, eletrônicos, baterias, fluorescentes e outros.
Resíduos de Estabelecimento Comercial e Prestadores de Serviços (RSC)	Comércio, empresas, bares e restaurantes,	Papéis, plásticos, embalagens, sobras de alimentos e outros.
Resíduos de Serviços Públicos (RSP)	Varrição, Podas.	Serviços de limpeza urbana, tais como: capinas varrição de ruas, limpeza de zonas residenciais e comerciais, limpeza de feiras livres, podas de árvores e limpeza de galerias e praias.
Resíduos de Serviço de Saúde (RSS)	Hospitais, Laboratórios, Farmácias e Clínicas médicas, odontológicas e veterinárias.	Grupo A- biológicos: sangue, tecidos e vísceras. Grupo B - químicos: lâmpadas, medicamentos vencidos, termômetro, objetos cortantes e outros. Grupo C- radioativos Grupo D- Comuns: não contaminados, papéis, plásticos, vidros, embalagens e outros.
Resíduos Industriais (RI)	Industrial (instalações e processos)	Cinzas, lodos, óleos, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas, fibras, madeira e outros.
Resíduos da Construção e Demolição (RCD):	Obras e reformas residenciais e comerciais.	Madeira, cimento, blocos, prego, gesso, tinta, solventes, peças de amianto e outros.
Resíduos Agrossilvopastoris (RA)	Atividades agropecuárias, silviculturas e florestais.	Grandes quantidades de esterco animal geradas na pecuária intensiva e embalagens de adubos e defensivos agrícolas.
Resíduos de Serviços de Transportes	Portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários e alfandegários.	Resíduos sépticos, material de higiene e restos de alimentos, que podem transmitir doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

Sob o ponto de vista da responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, um terceiro critério de classificação é apresentado por Bartholomeu; Branco; Caixeta-Filho (2011), que identificaram dois grandes grupos: Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), compreendendo os resíduos domésticos ou residenciais, comerciais¹ e públicos, cuja responsabilidade pela sua gestão é atribuída às Prefeituras Municipais; e os Resíduos Especiais, que incluem os restos industriais da construção civil, radioativos, os de portos; aeroportos e terminais rodoferroviários, os agrícolas e os de serviços de saúde - cuja responsabilidade pelo seu gerenciamento é atribuída ao próprio gerador.

Ainda sobre as classificações dos resíduos sólidos, Waldman (2010) admite que não se pode deixar de contemplar quatro tipos de detritos difíceis de classificação e de

¹ A responsabilidade pelos Resíduos Comerciais dos pequenos geradores é da Administração Pública, cuja quantidade limite é definida por Legislação Municipal. O grande gerador se responsabilizará pelo manejo e destino adequado dos resíduos gerados (BRASIL, 2010b)

destinação final, quais sejam: lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias e pneus. Pois, sendo eles de origens diversificadas, até o momento não há consenso na literatura quanto a uma definição ou agrupamento. Para Waldman (2010), uma classificação para esses itens deve estar muito mais associada à destinação do que a fonte geradora. Assim, os três primeiros tipos poderão ser inclusos entre os *Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE)*, categoria que reúne os múltiplos rejeitos da indústria eletrônica, informática e de equipamentos domésticos. Já os pneumáticos devem ser inseridos entre os *Resíduos Automotivos* - tipologia que reúne os rejeitos da indústria de frota automobilística. Assim, serão discutidas a seguir as principais dificuldades de descarte desses dois tipos de resíduos.

Os *Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE)* têm se expandido rapidamente, não só pela a universalização de acesso, como também pela obsolescência planejada dos produtos, cujos ciclos de reposição são cada vez mais curtos, constituindo-se, portanto, alvo de preocupação no que se refere ao descarte, devido ao potencial lesivo e tóxico desses resíduos. Por isso, requer monitoramento e tratamento específicos, uma vez que esses materiais- quando depositados diretamente no solo - podem ser fonte de poluição por alguns dos metais pesados neles presentes como: chumbo, mercúrio, cádmio e manganês. (WALDMAN, 2010; BARROS, 2012)

Nos *Resíduos Automotivos* estão inclusos os refugos de revisão de automóveis, como peças de escapamentos, molas de suspensão e baterias; e ainda os rejeitos de reparos e manutenção, como: óleos, graxas, materiais de vedação e funilaria, filtros, fluídos de refrigeração, pneus, dentre outros. Os pneus inservíveis, pelas suas características de baixa degradabilidade (pois podem durar de 1000 a 10.000 anos) e a baixa compressibilidade (resistentes à tração) causam impactos significativos na destinação final; além disso, não se recomenda a sua incineração, devido à produção de fumaça tóxica durante a queima. Outro problema refere-se à facilidade de acúmulo de água nesses resíduos, quando expostos diretamente no solo sem o necessário cuidado, favorecendo a proliferação de vetores, como o mosquito da dengue, dentre outros (WALDMAN, 2010).

3.3 PAORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL E NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PI.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), da Organização das Nações Unidas (ONU), durante a Conferência Bienal da Parceria PNUMA e Iniciativa

Global sobre Gestão de Resíduos - realizada nos dias 06 e 07 de novembro de 2012 - em Osaka-Japão, fez um alerta aos governantes sobre a necessidade de se estabelecerem medidas urgentes no sentido de evitar uma ameaça denominada “crise global de resíduos” visto que, mundialmente, 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos são produzidos por ano, e a estimativa, para 2025, é que esse volume aumente para 2,2 bilhões de toneladas (ONU/PNUMA, 2012).

No âmbito brasileiro, é importante destacar que a população, na última década, cresceu em torno de 12% e a produção de resíduos cresceu cerca de 50%. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em 1998 foram coletados, no Brasil, aproximadamente, 125.281,1 toneladas/dia de resíduos sólidos domiciliares, passando a 188.814 toneladas/dia, no ano de 2008 (IBGE, 2000; IBGE, 2010b).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é outra importante instituição, que há 10 anos vem realizando o diagnóstico dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros e seus resultados são publicados anualmente no relatório denominado Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Com base nas projeções desses relatórios, registram-se nos gráficos 2 e 3, um crescimento na geração de Resíduos sólidos Urbanos - RSU de 7,7% - entre os anos de 2008 e 2009, e uma taxa de crescimento na geração de 6,8% entre os anos de 2009 e 2010. Em 2011, o aumento observado foi em torno de 2,5%, seguindo a mesma tendência constatada nos anos anteriores, porém em ritmo menor. Esse aumento, observado na geração de resíduos, foi superior às taxas de crescimento da população que atingiram valores aproximados de 1% em 2009, 1% em 2010 e de 0,9% em 2011 (ABRELPE, 2009; ABRELPE, 2011).

Gráfico 2 - Geração de RSU no Brasil (t/ano)
Período de 2008 a 2011

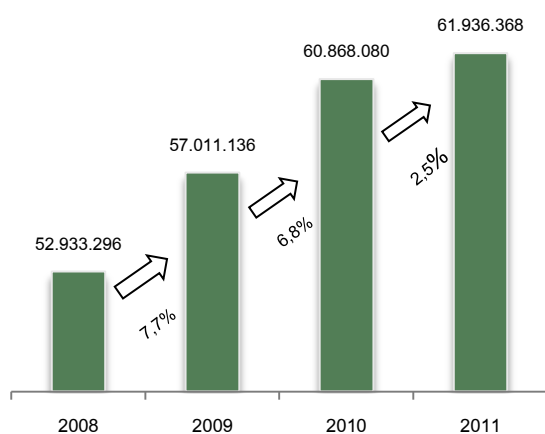
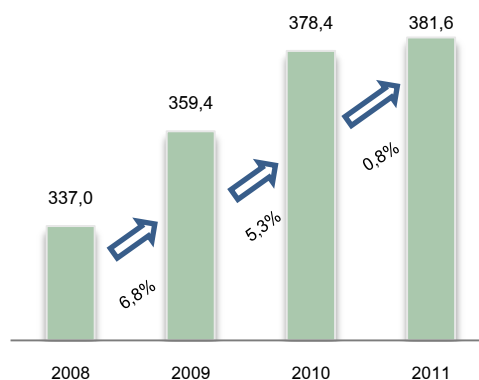


Gráfico 3 - Geração per capita de RSU no Brasil
período de 2008 e 2011
(kg/hab/ano)



Fonte: ALBREPE, 2009, 2011. Organizado pela autora

O crescimento populacional não é o único fator que justifica esse incremento na produção de RSU no Brasil. Os dados do gráfico 3, acima, indicam um crescimento na geração per capita. Cada cidadão brasileiro, no ano de 2008, produziu em média 337,0 kg de resíduos. Esse quantitativo foi crescente nos anos subsequentes, chegando, em 2011, a uma produção de 381,6 kg.

Essa questão se agrava ao considerar-se não apenas o crescimento da geração de resíduos, mas também de sua complexidade e periculosidade, haja vista que a composição gravimétrica média de RSU coletados no Brasil no ano de 2008 é de aproximadamente 51,40% de materiais de origem orgânica. Os materiais recicláveis constituem cerca de 32% do volume total coletado, incluindo aí os metais, o vidro, o papel/papelão e plásticos. Como as experiências de compostagem ainda são incipientes termina que apenas 1,6% (1.509 t/dia) do total de resíduos orgânicos coletados (94.335,1 t/dia) são encaminhados para tratamento via compostagem (IBGE, 2010a).

A PNSB também constatou - no período compreendido entre 2000 e 2008 - um aumento de 120% no número de municípios que realizam a coleta seletiva de materiais recicláveis (IBGE, 2000, 2010a). Embora expressivo esse percentual, ainda não ultrapassa 18% dos municípios brasileiros, perfazendo um total de 994 municípios. Esses dados, quando comparados com os resultados de pesquisas realizadas pela CEMPRES - Compromisso Empresarial para Reciclagem - no ano de 2012 apresentam-se discordantes, uma vez que por essa última entidade, no ano de 2012 14% dos municípios brasileiros operavam programas de coleta seletiva, com grande participação dos municípios das regiões Sul (257) e Sudeste (401) em tais programas e baixa participação das regiões Norte (14), Nordeste (76) e Centro- Oeste.

Como se percebe, os dados sobre resíduos sólidos, no Brasil, ainda não são satisfatórios, havendo uma carência de informações atualizadas e precisas sobre o assunto. Nos exemplos, aqui postos, é evidente a divergência entre os dados do sistema de coleta seletiva da PNSB (2008) e da CEMPRES (2012), que pode ser decorrente de informações imprecisas fornecidas pelas administrações públicas que, em muitos casos, não possuem conhecimentos técnicos, ou ainda utilizam-se das referidas pesquisas para promover o município, em relação às supostas preocupações com as questões ambientais. Ademais essas distorções de dados podem ser decorrentes de informações, a partir de procedimentos metodológicos de coleta diferenciados, com a inclusão de ações individualizadas de catadores que invadem os lixões na busca do sustento familiar, via de regra, trabalhando em condições insalubres.

Embora sejam observados alguns avanços no número de municípios brasileiros com coleta seletiva, a situação do manejo de RSU no país ainda preocupa, principalmente no que se refere à disposição final dos resíduos sólidos, pois segundo os dados da PNSB de 2008, 50,8% dos municípios brasileiros dispõem os resíduos produzidos em vazadouros a céu aberto; 22,5% em aterros controlados e apenas 27,7% em aterros sanitários (IBGE, 2010a) (Tabela 1)

Tabela 1 - Percentual de municípios brasileiros por unidades de destinos do RSU

ANO	Vazadouro a Céu Aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
1998	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE (2010a)

Observa-se, portanto que houve um crescimento no percentual de municípios com disposição final de resíduos em aterros sanitários, decorrente de aplicação de recursos financeiros públicos para esse fim; porém esse investimento ainda não acontece em nível satisfatório para atender a demanda brasileira, uma vez que cerca de 40% do total de resíduos coletado é disposto no solo inadequadamente. Sobre esse aspecto, cabe acrescentar que não basta a construção de novos aterros, é necessário - às gestões públicas - também, estabelecer mecanismos para minimização da geração de resíduos cada vez mais crescentes; promover política de capacitação para as organizações de catadores; maximizar a reciclagem, inclusive com aproveitamento energético e investir em campanhas permanentes de educação ambiental, haja vista a necessidade de que todos os envolvidos no processo (empresas, órgãos públicos, associações e população em geral) sintam-se corresponsáveis pela gestão de resíduos no país.

O Estado do Piauí localiza-se a Oeste da Região Nordeste do Brasil, possui uma área de 231.577,738 km² e uma população total estimada, em 2010, de 3.118.360 habitantes, distribuídos em 224 municípios. Dessa população, 63% residem em áreas urbanas do Estado. Sua capital, Teresina, contava em 2010, com uma população de 814.230 habitantes, predominantemente residentes no perímetro urbano, visto que a taxa de urbanização da população foi calculada em 94,27%, do município (IBGE, 2010b).

Segundo a PNSB de 2008, foram produzidos, no Estado, cerca 2.303 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos e a situação do gerenciamento desses resíduos ainda é muito precária, principalmente nos processos de seleção e destinação final, pois todos os municípios piauienses utilizam o lixão como área de deposição dos resíduos gerados, com exceção dos

municípios de Paranaíba e Teresina, que possuem aterros controlados para destino final (IBGE, 2010a; MMA/SEDIC, 2012).

A situação dos lixões no Piauí é bastante problemática, tanto em termos de infraestrutura, quanto de operacionalização, uma vez que, no ano de 2011, 88,16% dos municípios adotavam a prática da queimada dos resíduos a céu aberto, como forma predominante de tratamento (OASIS, 2011, apud MMA/SEDIC, 2012). A tabela 2 mostra as condições de infraestrutura e a rotina operacional das áreas de destinação final nos municípios piauiense.

Tabela 2 - Condições das áreas de destinação final de RSU no Piauí

Infraestrutura dos lixões e aterros controlados	Percentual de Município (%)
Possuem cerca	35,53
Instalações administrativas	9,21
Impermeabilização	1,32
Sistema de drenagem	1,32
Vigilância	19,74
Monitoramento Ambiental	7,89
Queima a céu aberto	88,16
Presença de domicílios	10,53
Presença de animais	60,53
Atividades de catadores	40,00
Tem licença p/funcionamento	10,50

Fonte: OASIS, 2011 apud MMA/SEDIC, 2012.

O aterro de Teresina não possui nenhum tipo de proteção no sistema de drenagem e nas duas lagoas de chorume, existentes no local, que chegam a atingir três metros de profundidade. Também não dispõe de recursos tecnológicos para a captação de gases. Durante visita técnica, realizada em março de 2013, observou-se no local a presença de catadores realizando a coleta de materiais recicláveis, diretamente do amontoado de resíduos que ali chegavam. Vale ressaltar que desde 2011 se anuncia a construção do novo aterro sanitário de Teresina, conforme as normas técnicas exigidas; porém, até o momento, o mesmo não entrou em funcionamento.

A coleta regular dos resíduos sólidos domiciliares tem sido o principal foco dos gestores municipais nos últimos anos. A taxa de cobertura vem crescendo continuamente, já alcançando, em 2008, quase 80% dos domicílios piauienses, em áreas urbanas (IBGE, 2010a).

Entretanto, a coleta seletiva praticamente inexistente no Estado, uma vez que a coleta diferenciada de papel e papelão em nenhum município, com exceção de Teresina. Também, inexistem programas de coleta especial de baterias e lâmpadas fluorescentes. De fato, o que se presencia no Piauí são iniciativas isoladas de coleta seletiva na fonte, nas ruas e no próprio local de destino dos resíduos, realizadas por iniciativas pontuais da população e por catadores.

O mais preocupante ainda é a gestão dispensada aos resíduos especiais de serviços de saúde (RSS) e da construção e demolição (RCD). Os dados da PNSB de 2008 contidos na Tabela 3 indicam a quantidade de municípios piauienses que exercem alguma forma de controle sobre o manejo dessas classes de resíduos.

Tabela 3 - Municípios que exercem controle sobre o manejo de resíduos especiais no Brasil e Piauí- 2008

Tipos de resíduos	Municípios do Piauí		Municípios do Brasil	
	Qt.	%	Qt.	%
Serviço de Saúde	121	54,3	2.937	52,8
Industriais	3	1,34	390	7,0
Construção e Demolição	95	42,7	1.623	29,2
Pneumáticos	3	1,34	758	13,6
Pilhas e Baterias	1	0,45	323	5,8
Lâmpadas fluorescentes	1	0,45	276	5,0
Embalagens agrotóxicas	1	0,45	483	8,7
Total	223	100%	5.564	100%

Fonte: IBGE, 2010a, organizado pela autora.

Segundo o diagnóstico do Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Piauí (PEGIRS/PI) há uma dificuldade no controle dos dados sobre o manejo de RSS e RCD - por parte dos municípios do Estado - refletindo na escassez de informações. Essa situação decorre da ausência de gestão mais efetiva desses tipos especiais de resíduos por parte da administração pública no que se refere à fiscalização e controle, lembrando que a responsabilidade pela gerência dessa classe de resíduos - conforme disciplina a Lei 12.305/2010 e as Resoluções CONAMA nº 307/2002 e nº 558/2005 e Resolução ANVISA- RDC nº 306/2004, é do próprio gerador (ANVISA, 2004; BRASIL, 2010; 2012). Em geral, o volume de RCD gerado nas pequenas cidades é coletado por particulares e disposto nos lixões, juntamente com os RDO. Nas cidades maiores como Teresina, Parnaíba, Piripiri,

Floriano e Picos, a maior parte do volume é coletada por empresas específicas e, quando possível, comercializada para fins de aterramento (MMA/SEDIC, 2012).

Ainda, segundo o PEGIRS/PI, a maioria dos municípios piauienses assume o papel de gerenciamento dos RSS e, por sua vez, realizam a coleta de forma conjunta com os Resíduos Domiciliares (RDO); e mesmo nos municípios que realizam coleta de forma separada, a disposição final de todos esses resíduos termina sendo a sua deposição no solo, sem o tratamento previsto pelas disposições que orientam o gerenciamento dos resíduos de saúde. Para a maioria dos municípios piauienses os resíduos não têm uma destinação adequada.

Vale ressaltar que até o ano de 2011 a capital, Teresina, não dispunha de tratamento adequado do RSS, sendo os mesmos depositados no aterro controlado existente. Isso pode ser evidenciado em matéria publicada no Portal “O Dia” no dia 27 de julho de 2011, quando da visita do Promotor da Procuradoria do Meio Ambiente ao aterro controlado, com o objetivo de apurar denúncias sobre irregularidades na manipulação do resíduo hospitalar, cuja notícia descreve bem o tratamento dado aos RSS, ao expressar que:

O coordenador do aterro sanitário de Teresina, [nome do coordenador do aterro], conduziu o promotor pelos principais pontos do local. [Nome do Promotor] verificou que o lixo hospitalar não tem destinação igual ao do lixo doméstico, como foi afirmado através das denúncias. "Assim que chega aqui, o lixo hospitalar é coberto por uma camada de terra, para nunca ficar exposto", afirmou [o coordenador].

O promotor visitou ainda a lagoa de chorume, que é o líquido proveniente do lixo doméstico. De acordo com [o coordenador], nenhum dos locais atualmente utilizados para o depósito do lixo possui impermeabilização do solo. O chorume, por ser líquido, penetra mais facilmente e pode contaminar os lençóis freáticos. "Isso não está certo. O local deve ser impermeabilizado para evitar que penetre no solo e na água do subsolo", comentou o promotor.

Por detrás de onde atualmente funciona o aterro sanitário, está sendo construído um espaço impermeabilizado para a destinação do lixo produzido pela população Teresinense. De acordo com o coordenador, o local que servirá de depósito para o lixo tem capacidade suficiente para atender a população do município durante 10 anos. Segundo ele, o aterro recebe mensalmente cerca de 160 toneladas de lixo hospitalar e 500 toneladas diárias de lixo doméstico. (ROMERO, PORTAL O DIA, 27/07/2011).

Atualmente, Teresina conta com duas empresas privadas especializadas no tratamento de resíduos especiais e perigosos, e alguns hospitais de grande porte utilizam seus serviços para o tratamento dos resíduos gerados, seja por incineração ou autoclaves, sendo, nesse último caso, posteriormente triturado e encaminhado ao destino final que é o aterro controlado. No Piauí, as questões ligadas à gestão financeira, técnica e administrativas dos

municípios têm dificultado a realização de uma política de gestão integrada de resíduos sólidos, refletindo bem no quadro atual, em que nenhum dos 224 municípios utiliza a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos. A situação se agrava quando a maioria dos municípios dispõe, nos vários lixões do Estado, os resíduos de serviços de saúde, sem o mínimo tratamento prévio necessário.

3.4 FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O aterro sanitário é uma técnica de disposição final de resíduos sólidos ambientalmente segura e aceita mundialmente. Porém, o manejo e as formas de disposição dos resíduos urbanos no Brasil são diversos. Normalmente nas cidades pequenas os resíduos são destinados aos depósitos a céu aberto em áreas periféricas. Já nas cidades maiores, os resíduos têm tido vários destinos, como: aterros sanitários, incineração, produção de biogás, usinas de compostagem para fabricação de adubo orgânico e uma parte, ainda pequena, tem sido reaproveitada na indústria pelo processo de reciclagem. Considerando as diversas maneiras de manejo dispensadas aos resíduos no país, faz-se necessária uma análise comparativa entre as formas de destino final de resíduos sólidos urbanos, comumente adotadas, que são: lixão ou vazadouro; aterro controlado e aterro sanitário.

3.4.1 Lixão ou vazadouro

O lixão, como modo de deposição, caracteriza-se pela simples descarga do resíduo sem qualquer cuidado e controle, em terrenos às vezes inapropriados como margens de corpos d'água, ravinas, voçorocas, beiras de estradas, terrenos baldios e depressões naturais. É a opção mais simples e barata; por isso, muitas prefeituras utilizam essa forma de acomodação final de resíduos urbanos. Entretanto, o lixo assim disposto, torna-se um agente de poluição do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas e um foco de proliferação de vetores transmissores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc), além de constituir-se espaço de atração de catadores, que passam a trabalhar no local sob condições insalubres e desumanas (MELLO, 2010; BARROS, 2012). Na Fotografia 4, são apresentadas imagens de lixões de quatro municípios piauienses, no ano de 2008, cuja realidade ainda não possui modificações significativas.

Fotografia 4 - Imagens de lixões de municípios do Estado do Piauí



Fonte: CEFET/PI, 2008.

Diante de toda problemática inerente aos lixões acrescenta-se a ausência de controle quantitativo e qualitativo quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se, em muitos casos, o lançamento de resíduos originados dos serviços de saúde e de processos industriais; em ambos os casos, a coleta, o tratamento e a disposição final são de responsabilidade dos próprios produtores. Comumente ainda se associam aos lixões fatos indesejáveis, como: a queima de resíduos a céu aberto, a presença de animais que se alimentam de restos orgânicos e a presença de catadores informais, muitos deles menores de idade (IWAI, 2012; BARROS, 2012). Sob todos os aspectos o lixão é a pior forma de disposição de resíduos sólidos, embora represente a solução de disposição final para mais de 50% dos municípios brasileiros (IBGE, 2010a), e para mais de 90% dos municípios piauienses (MMA/SEDIC, 2012).

3.4.2 Aterro controlado

O aterro controlado consiste num local de disposição de resíduos sólidos urbanos que utiliza a técnica de recobrimento do material descartado com uma camada de terra ou material inerte, a cada jornada de trabalho. A ABNT NBR nº 8.849/85 define aterro controlado como:

Uma técnica de disposição de RS urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos cobrindo-os com uma camada de terra ou material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. (ABNT, 1985)

Os aterros controlados de vários municípios do Brasil apresentam problemas ambientais semelhantes aos dos lixões, pois geralmente não dispõem de barreiras de impermeabilização e nem de sistemas de coleta e de tratamento do chorume e dos gases

gerados que evitem a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (BARTOLOMEU; BRANCO e CAIXETA FILHO, 2011; BARROS, 2012). Em consequência da carência financeira e técnica dos municípios, muitos dos aterros controlados não são bem operados, transformando-se rapidamente de novo em lixões (BARROS, 2012). Na Fotografia 5, é apresentada imagem do aterro controlado de Teresina.

Fotografia 5 - Imagem do aterro controlado de Teresina, PI.



Fonte: Autora, 2014

O aterro controlado como forma de disposição de resíduos não é considerada adequada porque os problemas ambientais de contaminação da água, do ar e do solo não são evitados, já que não são adotadas todas as precauções de engenharia e de saneamento capazes de minimizar os processos de contaminação. No entanto, representa um método preferível ao lixão, mas de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.

3.4.3 Aterro Sanitário

Os aterros sanitários são indicados como uma das formas de disposição de resíduos sólidos urbanos mais econômica e segura ambientalmente. São locais que contam com a prática de compactação e cobertura diária do lixo depositado, incorporam recursos da engenharia e tecnologia, como: a impermeabilização do solo, por meio de camadas de argila e uma geomembrana de polietileno de alta densidade; sistemas de drenagem de águas

superficiais; tratamento do chorume e captação e tratamento do gás metano produzido na biodegradação dos resíduos. Além disso, a política de utilização de aterros sanitários tem o propósito de reduzir ao máximo o volume de resíduos, promovendo o processo de reciclagem, aumentando a vida útil do aterro e, conseqüentemente, diminuindo a demanda por mais áreas de disposição dos resíduos (ABNT, 1997; BARTOLOMEU, BRANCO e CAIXETA FILHO, 2011; GARCIA, 2011). Essa é considerada, portanto, uma forma de disposição que minimiza os impactos ambientais, os danos à saúde e à segurança pública, o que não exige o controle e o monitoramento periódico, por parte da administração pública. Na Fotografia 6 são apresentadas imagens de aterros sanitários que dispõem de sistema de aproveitamento energético do gás metano gerado na decomposição do material orgânico.

Fotografia 6 - Imagens de aterros sanitários de municípios brasileiros



(a) Aterro Sanitário de Nova Iguaçu, RJ em fase de implantação. (b) Aterro Bandeirante, SP;
Fonte: LIPINSKI, 2012; FELIPATTO, 2006.

A NBR 13.896 de 1997 da ABNT e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) (1997) consideram que um aterro de resíduos não perigosos deve ser projetado e operado de maneira tal que o impacto ambiental decorrente seja minimizado, a aceitação pela população seja maximizada, a implantação esteja de acordo com o zoneamento da região e possa ser utilizado por um longo tempo. Tais exigências levam em consideração critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais, como: condições topográficas adequadas; recursos hídricos; critérios geológicos e pedológicos; vegetação; vias de acesso; tamanho disponível, vida útil e custos. A Tabela 4 aponta os critérios mínimos a serem observados na seleção de locais para implantação de aterros sanitários

Tabela 4 – Critérios mínimos para seleção de áreas de implantação de aterros sanitários, segundo a NBR 13.896 de 1997 e CETESB, 1997.

Critérios	Classificação das Áreas		
	Recomendado	Recomendado com restrições	Não Recomendado
Vida útil	≥ 10 anos	< 10 anos	
Distância do gerador	10 a 20 km		> 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem Restrições		Zona de Proteção Ambiental e Cultural
Zoneamento Urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento principal
Uso e ocupação do solo	Terras devolutas de baixo índice de ocupação		Área residencial de ocupação intensa
Valor da terra	Baixo custo	Médio custo	Alto custo
Distância dos núcleos populacionais	> 500 m		< 500 m
Aceitação da vizinhança	Boa aceitação	Aceitação Razoável	Inaceitável
Distância de corpos d'água	> 200 m		
Profundidade do nível freático	3 m	1,5 m	< 3 m
Declividade do terreno	1-30%	Menor que 1% e maior que 30%	

Para a instalação de um aterro sanitário, além dos critérios elencados na tabela 4, devem-se, também, adotar medidas que objetivem controle da emissão de contaminantes para o meio ambiente. Tais medidas, segundo Boscov (2008) e ABNT (1997) são enumeradas a seguir:

- Dois sistemas de drenagens: um periférico e superficial para o afastamento das águas da chuva; e o outro, de fundo para coleta do lixiviado drenado;
- Recobrimento diário dos resíduos com solo em camadas compactadas umas sobre as outras, impedindo a exalação de odores e a atração de animais como roedores e insetos;
- Drenagem, coleta e tratamento dos lixiviados;
- Coleta e tratamentos dos gases para impedir explosões e combustões espontâneas. Os gases podem ser queimados para evitar a sua dispersão na atmosfera, ou ainda ser utilizado na produção de energia;
- Monitoramento geotécnico e ambiental, até mesmo após o fechamento. Segundo a NBR 13896/1997 da ABNT, esse monitoramento deve prolongar-se pelo menos por mais 10 anos após o encerramento do aterro.

O aterro sanitário se apresenta como uma interessante alternativa de disposição de resíduos sólidos para os países em desenvolvimento como o Brasil. Entretanto, deve-se inferir que não existe uma impermeabilização perfeita, e que as medidas de minimização dos impactos devem ser tomadas, por meio de monitoramento contínuo da área.

3.5 A DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERROS SANITÁRIOS

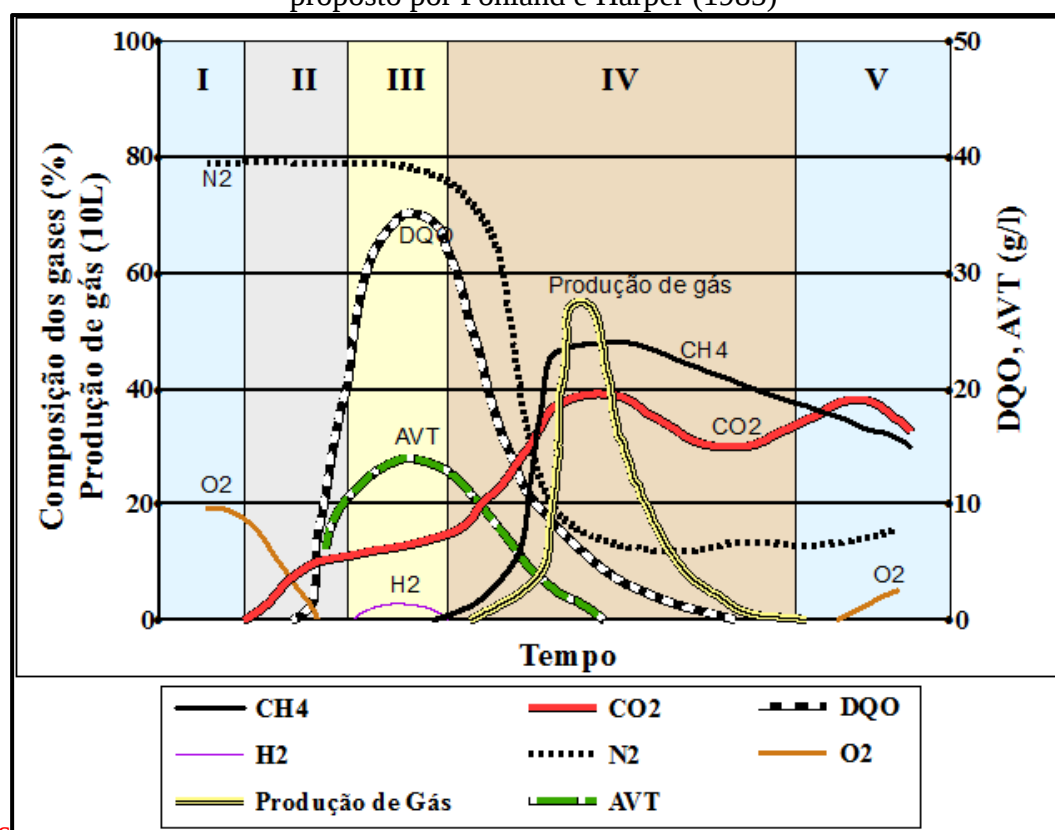
Os materiais residuais quando depositados continuamente em aterros, não são inativos. É uma mistura de grande variedade química que sofre influências de agentes naturais (chuva e micro-organismos) sendo, portanto, objeto de complexas transformações, advindas de uma série de processos físicos, químicos e biológicos. O conjunto desses processos é o que se denomina de dinâmica de aterros (CASTILHOS JÚNIOR, 2003; SOUTO, 2009)

A degradação dos resíduos sólidos em aterros é um processo onde ocorrem a dissolução dos elementos minerais e o carreamento pela água de percolação das finas partículas e do material solúvel, e, principalmente, a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. Por isso, um aterro de resíduos pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume (CASTILHOS JÚNIOR, 2003). Dentre os gases presentes nos aterros de resíduos têm-se: o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) que são considerados como os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos e são produzidos em grandes quantidades. Encontram-se também presentes os gases: amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) em quantidades menores. O chorume quando acrescido da contribuição das águas das chuvas, que entram no maciço dos resíduos sólidos, recebe a denominação de líquidos lixiviados (CASTILHOS JÚNIOR, 2003; BARROS, 2012).

Vários estudos sobre os mecanismos de degradação dos resíduos sólidos urbanos têm sido realizados mundialmente na busca de compreender as fases de um aterro ao longo do tempo, os processos biogeoquímicos que ocorrem no seu interior e consequentes influências nas características dos lixiviados formados. Pohland e Harper (1985, apud ALVES e BOTELHO, 2012) propuseram um modelo composto de cinco fases. Cada fase está associada a uma composição típica de gases, como: N_2 , CH_4 , CO_2 , H_2 e O_2 , e a parâmetros indicativos de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Ácidos Voláteis Totais (AVT), cujos percentuais

variam ao longo da vida útil do aterro e depois do seu fechamento, conforme ilustra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Fases de estabilização dos resíduos sólidos dispostos em aterro, segundo o modelo proposto por Pohland e Harper (1985)



Fonte: Pohland e Harper, (1985, adaptado por ALVES; BERTOLO, 2012)

A Fase I, denominada de ajustamento inicial é uma fase de curta duração, em que os resíduos começam a acumular umidade e os componentes orgânicos biodegradáveis dos RSU passam por decomposição microbiana aeróbica, assim que dispostos no aterro. Nesse processo inicia-se a produção de CO₂, H₂O e calor, com consequente elevação da temperatura e dissolução de sais;

A Fase II – Transição: ocorre quando a capacidade de campo - que é o limite máximo que um resíduo pode reter umidade - é alcançada, momento em que o oxigênio se esgota e condições anaeróbicas começam a se desenvolver, presenciando-se o aumento da Demanda Química e Oxigênio (DQO) e dos Ácidos Voláteis Totais (AVT). Os micro-organismos anaeróbicos hidrolisam e fermentam a matéria orgânica, produzindo ácidos, álcoois e dióxido de carbono (CO₂);

Na Fase III, conhecida também por Acidogênese, predominam os ácidos voláteis totais, com decréscimo nos valores de pH, elevação da concentração da DQO dos lixiviados e

aumento da mobilidade das espécies iônicas e possível complexação de metais. Nessa fase o pH do chorume varia de 5,5 a 6,5 - correspondendo a uma faixa de variação que é quimicamente agressiva - com consequências diretas na elevação da concentração de metais pesados nos lixiviados.

Na Fase IV, denominada de Fermentação melânica, ocorre a estabilização da matéria orgânica, onde bactérias estritamente anaeróbias, conhecidas como metanogênicas, utilizam as substâncias formadas na fase anterior como substrato para produzir uma mistura de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O) - mistura essa denominada de biogás. Essa fase inicia-se no período de seis meses a um ano após a cobertura dos resíduos com solo e pode prolongar-se por um período muito longo de tempo;

A Fase V, de Maturação Final, ocorre após o material orgânico biodegradável disponível ter sido degradado, ou seja, convertido em metano e dióxido de carbono. Nessa fase a atividade biológica do aterro começa a diminuir, a produção de gás praticamente cessa, pois a maior parte dos nutrientes disponíveis foi removida através dos lixiviados. O substrato que permanece no aterro é pouco biodegradável, por isso são degradados de forma lenta, com possível produção de substâncias semelhantes à húmicas capazes de complexar e com isso novamente mobilizar os metais pesados. Nessa fase há um decréscimo da carga orgânica e um aumento das concentrações de O_2 e N_2 .

Modelos de estabilização de aterros semelhantes ao apresentado por Pohland e Haper (1985), também foram propostos por Thobanoglous; Theisen; Virgil (1993) e Matsufuji (1994), que a partir de experimentos laboratoriais, explicaram os processos biológicos envolvidos na decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos em cinco fases. De outra forma, há autores que realizam subdivisões mais simplificadas, direcionadas aos aspectos práticos do tratamento dos lixiviados. Fanin; Roberts (2006) e Baird; Cann (2011) explicam o processo de decomposição dos resíduos em três fases, e em geral as denominam de: Fase ácida, Fase Metanogênica e Fase de Maturação.

No entanto, é preciso considerar que qualquer que seja o modelo adotado para explicar o processo de estabilização de aterros, eles sempre são deficitários, pois partem do pressuposto de que os resíduos sólidos foram depositados no aterro de uma só vez, o que na realidade não acontece, já que os resíduos são dispostos em camadas e tempos diferenciados, com sucessiva produção do biogás e lixiviados. As principais características e efeitos no ambiente desses dois principais vetores de poluição são discutidos a seguir.

3.5.1 Biogás

O biogás de aterros de resíduos sólidos, pode se infiltrar no subsolo, atingir as redes de esgotos, fossas e poços absorventes e causar problema em espaços fechados. Isto porque o gás metano é um combustível que pode formar com o oxigênio uma mistura explosiva, quando em concentrações variando entre 5 a 15 % de metano (BARROS, 2012). Além disto, esse gás tem significativa contribuição para o aquecimento global, pois o seu potencial de efeito estufa é 25 vezes maior que a do gás carbônico (FOSTER, RAMASWAMY, 2008; GARCIA, 2011).

Ressalta-se também, que mesmo depois de transcorrido muitos anos após o fechamento de um lixão ou aterro, o gás metano continua sendo produzido e gerando impactos. Nesse aspecto são vários os problemas vivenciados no Brasil, como por exemplos: a explosão do Morro do Bumba² que ocorreu no ano de 2010, em Niterói; e as dificuldades de mitigação da permeação do metano enfrentadas, pelo Shopping Center Norte³ - em São Paulo, no ano de 2011.

No Brasil em geral o gás metano produzido em lixões e aterros controlados é lançado diretamente na atmosfera, sem nenhum controle, como é o caso do aterro controlado de Teresina que não dispõe de condutos de drenagem de gases. Garcia (2011) concorda que em aterros sanitários há uma preocupação com a coleta do gás metano, que na maioria das vezes é queimado em flares, com o objetivo de converter o gás metano em gás carbônico para reduzir o potencial de efeito estufa do biogás.

Numa concepção mais avançada, os aterros sanitários com aproveitamento energético são considerados sustentáveis. Esses tipos de aterros são dotados de sistemas mais complexos, em que a partir da separação dos gases, o metano é utilizado como combustível, sob condições especiais, de modo a recuperar parte da energia gerada na sua combustão, em energia elétrica. Entretanto, são poucas as cidades brasileiras que dispõem de aterros com o sistema de aproveitamento da energia do gás metano gerado, destacando-se as cidades de São Paulo, Nova Iguaçu (RJ), Salvador e Belo Horizonte (GARCIA, 2011; BARROS, 2012). Ressalte-se também que mesmo utilizando-se desses tipos de aterros não é possível coletar

² Área ocupada sobre um antigo lixão que funcionou entre as décadas de 60 e 80, quando em abril de 2010, após chuvas intensas ocorreu o desmoronamento e uma sequência de explosões, soterrando aproximadamente 200 pessoas (ALVES FILHO, 2010).

³ Um dos maiores Shopping de São Paulo, construído na década de 80 sobre um antigo lixão, em que a CETESB registrou vazamento de gás metano no piso e orientou a construção de drenos para extração do gás do solo (COSTA, 2011).

todo o volume de metano gerado, pois, segundo Dehoust, et. al., (2005), cerca de 50% desse gás são liberados para atmosfera por permeação.

3.5.2 Lixiviados

Os tipos, quantidades e taxa de produção de contaminantes do lixiviado de aterro sanitário são afetadas por diversos fatores, entre os quais se podem citar: o clima, o tipo de resíduos depositados, a densidade, a sequência de disposição, profundidade, umidade e o tempo de maturação do aterro. Nas regiões, onde a precipitação supera a evapotranspiração, ocorrem uma maior produção relativa de lixiviado (RENOU *et. al* 2008, ALVES; BERTOLO, 2012, IWAI, 2012). Pohland e Harper (1985) afirmam que, em épocas de maiores índices pluviométricos podem ser encontradas menores concentrações de substâncias no lixiviado, em razão dos processos de diluição pela maior infiltração de águas da chuva. Chen (1996), citado por Alves e Bertolo (2012) concorda que as concentrações de substâncias no lixiviado sejam maiores em regiões de clima tropical do que em regiões de clima temperado, em função, principalmente, da maior atividade biológica, sob condições mais quentes.

O lixiviado de aterro pode conter matéria orgânica dissolvida, nutrientes (fósforo, nitrogênio, dentre outros), produtos intermediários da digestão anaeróbica dos resíduos; como por exemplos, ácidos orgânicos voláteis, metais pesados (cádmio, zinco, mercúrio, dentre outros) e organoclorados (oriundos do descarte de inseticidas e agrotóxicos), além de micro-organismos (ZANTA, 2006).

Os impactos dos lixiviados no meio aquático se manifesta pela introdução de matéria orgânica acima da capacidade de autodepuração do corpo hídrico, o que provoca a redução da concentração de oxigênio dissolvido na água, gerando a morte de peixes e de outras espécies aquáticas. Da mesma forma, os nutrientes como nitrogênio e fósforo, podem causar eutrofização de rios e lagos. Os impactos dos metais pesados e substâncias xenobióticas tanto no solo quanto nas águas são decorrentes da toxicidade apresentada por muitas dessas espécies, ou ainda por apresentarem propriedades bioacumulativas, que interferem em cada organismo da cadeia alimentar (FELLENBERG, 1980, citado por ZANTA, *et. al.*, 2006).

Mundialmente as pesquisas sobre os impactos dos resíduos sólidos no ambiente têm apontado o forte potencial poluidor dos líquidos gerados em áreas de aterro, que associado às formas de gestão inadequadas tem contribuído para a poluição do solo e recursos hídricos.

Christensen *et al.* (2001), ao abordar os poluentes de aterros de resíduos sólidos urbanos com presença de resíduos industriais e comerciais, identificaram no lixiviado, os seguintes poluentes:

- Matéria orgânica dissolvida, cujos parâmetros indicadores são expressos em termos de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total (DBO, DQO e COT). Incluem-se também, ácidos orgânicos voláteis, ácidos húmicos e fúlvicos e alguns compostos orgânicos complexos oriundos de medicamentos;
- Microcomponentes inorgânicos: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), Amônia (NH_4^+), Cloretos (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-);
- Metais pesados: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn). Outras espécies como boro (B), arsênio (As), selênio (Se), bário (Ba);
- Outras espécies lítio (Li), mercúrio (Hg) e cobalto (Co), são encontradas em baixas concentrações;
- Compostos Orgânicos Xenobióticos (COXs) - presentes em baixas concentrações, incluindo-se os hidrocarbonetos aromáticos, os fenóis e compostos clorados.

No contexto brasileiro, os resultados de um estudo realizado por Sisinnio e Moreira (1996) comprovaram o impacto do aterro controlado Morro do Céu no município de Niterói – RJ na qualidade das águas subterrâneas, evidenciando-se a presença de micro-organismos do grupo coliformes em todas as amostras analisadas, com valores de até 1.600 Unidades Formadoras de Colônias /100 mL. Os autores também evidenciaram uma grande carga de matéria orgânica nas águas superficiais, e concentrações de Fe, Mn, Ni e Zn acima dos valores máximos permissíveis pela legislação ambiental vigente.

Oliveira e Pasqual (2004) determinaram alguns parâmetros físico-químicos indicadores de poluição do efluente líquido do aterro sanitário municipal de Botucatu, SP, visando à avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aquífero da região. Os autores constataram poluição do lençol freático por cádmio e chumbo, do solo por cádmio, chumbo e cromo, e da água superficial por níquel, uma vez que as concentrações desses poluentes superaram os valores máximos permissíveis das distintas legislações ambientais vigentes.

Ocorrem, também, em aterros os contaminantes biológicos provenientes de micro-organismos patogênicos presentes nos resíduos dispostos, sendo capaz de contaminar o solo e aquíferos, seja pelo processo de lixiviação, como pela ação do vento, ou ainda, por meio de vetores biológicos ou mecânicos.

3.6 POLUIÇÃO DO SOLO E DOS CORPOS HÍDRICOS NO CONTEXTO DOS SÍTIOS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.

3.6.1 Discutindo o conceito de Poluição

É amplamente difundido na literatura técnico científica um significado de poluição associado a uma consequência dos atos humanos. Valle (2004, p. 10 -11) define poluição ambiental como “toda ação ou omissão do homem, que pela descarga de material ou energia atuando sobre as águas, o solo, o ar, causa um desequilíbrio nocivo, seja ele de curto, seja de longo prazo, sobre o meio ambiente”. Esse mesmo autor também descreve que o agente causador de poluição corresponde a “uma pessoa física ou jurídica de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente pela atividade causadora da degradação ambiental”. Feitosa e Manoel Filho (1997) ao estudarem a poluição hídrica propõem uma definição para o termo associando a uma alteração artificial na qualidade físico-química da água, suficiente para superar os limites ou padrões pré-estabelecidos para determinado fim.

O artigo 3º, inciso III da Lei Federal brasileira de nº 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante da atividade que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Essa Lei associa o termo poluição à degradação da qualidade ambiental. E degradar, segundo o dicionário Aurélio significa degenerar, estragar, deteriorar, desgastar, devastar, destruir; assim a degradação é o processo de degeneração, desgaste, devastação, destruição das condições ambientais. Notadamente, o termo degradação ambiental possui uma conotação negativa e o seu uso tanto na literatura científica como no cotidiano é quase sempre ligado a uma mudança artificial das condições naturais ou a uma perturbação de causa humana.

Entretanto, reconhece-se que alguns dos processos ambientais, como erupções vulcânicas, lixiviação, erosão e deslizamentos ocorrem naturalmente, mesmo sem a intervenção humana e podem tornar as terras degradadas (GUERRA e CUNHA, 2011).

A CETESB (1997) concebe as expressões poluição e contaminação como palavras sinônimas e define uma área contaminada como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nesse caso os poluentes ou contaminantes podem apresentar-se em diversos estados: gases de densidade menor, igual ou maior do que o ar; fase líquida livre; em solução na água; ou ainda na forma de sólidos ou semissólidos, podendo ser encontrados no solo, sedimentos, rochas, águas superficiais e subterrâneas, materiais de aterros, construções e tubulações enterradas, a partir de onde podem propagar-se por diferentes vias, alterando a qualidade das águas, do ar e do solo, causando impactos negativos ou riscos na própria área ou em seus arredores (BOSCOV, 2008).

Compartilha-se, portanto, com as ideias do engenheiro e geógrafo Luís Enrique Sánchez, estudioso na área de planejamento e gestão ambiental quando admite que inúmeras atividades humanas que causam perturbações ao meio ambiente não estão associadas à emissão de poluentes, por isso o conceito de poluição; no contexto atual, vem sendo substituído ou complementado pelo conceito mais abrangente, o de impacto ambiental. Assim, poluição pode ser definida como a “introdução no meio ambiente de qualquer forma de matéria ou energia que possa afetar negativamente o homem ou outros organismos” (SÁNCHEZ, 2008, p. 26).

3.6.2 O Solo e Mecanismos de Transporte de Contaminantes.

O solo é um meio multifásico constituído por uma variedade de partículas minerais, matéria orgânica, meio aquoso e gasoso que ocupam a maior parte da crosta terrestre (EMBRAPA, 2006). A NBR 6502, da ABNT conceitua o solo como material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos e químicos, podendo ou não conter matéria orgânica (ABNT, 1995). A fração mineral do solo pode ser constituída de partículas de dimensões que variam de frações finas (argila, silte, areia) a grosseira com diâmetros

maiores que 2,0 mm (cascalho, calhau e matarão). A Tabela 5, classifica as frações minerais do solo em função do diâmetro médio das partículas.

Tabela 5 - Diâmetro médio das frações inorgânicas do solo

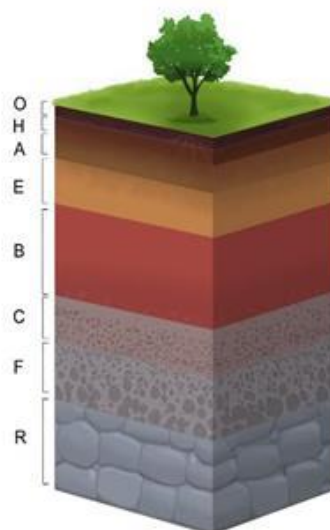
Fração	Diâmetro médio
Calhau (ou pedras)	200 a 20 cm
Cascalho	de 20 a 2 mm
Areia	de 2 a 0,005 mm
Silte	de 0,005 a 0,002 mm
Argila	menor que 0,002 mm

Fonte: (LEPSCH, 2010)

A evolução do solo na natureza é resultante da ação combinada de cinco fatores: clima, natureza dos organismos, material de origem, relevo e idade. Nesse processo evolutivo os quatro primeiros fatores imprimem ao longo do tempo características que definem os estágios de sucessão do solo por meio de sua profundidade, composição e propriedades, que permitem a distinção de zonas, normalmente paralelas à superfície do terreno, denominadas de horizontes do solo (BRAGA et. al., 2005; LEPSCH, 2010).

A composição química das distintas fases do solo depende do material a partir do qual o solo se originou. Entre a superfície e o substrato rochoso encontram-se distribuídos materiais amorfos, partículas de minerais primários, argilominerais, óxidos, hidróxidos, carbonatos, matéria orgânica, substâncias húmicas, soluções aquosas, gases, micro-organismos entre outros. À seção vertical que se entende desde a superfície até a rocha matriz dá-se o nome de perfil do solo ou perfil de alteração (HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011). O perfil de um solo completo e bem desenvolvido possui oito tipos de horizontes principais, que são designados, de cima para baixo, pelas letras maiúsculas O, H, A, E, B, F, C, R (EMBRAPA, 1988). Na Figura 2, por exemplo, tem-se o esquema de um perfil hipotético de solo.

Figura 2 – Horizontes de um perfil hipotético do solo



A camada O, denomina-se o horizonte orgânico e constituído principalmente por folhas e galhos que caem dos vegetais e pelos primeiros produtos da decomposição. Nessa camada de cobertura mais superficial, encontram-se os detritos recém-caídos não decompostos, que repousam sobre a camada H composta de resíduos orgânicos em maior grau de decomposição. (EMBRAPA, 1988; HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011; LEPSCH, 2011)

Os demais, A, E, B, F, C, R, são Horizontes minerais ou Inorgânicos. O horizonte A é a camada predominantemente mineral, situado logo abaixo da camada orgânica, caracteriza-se pela incorporação de húmus gerados pelas atividades biológicas ou mesmo pela mistura com camadas orgânicas. Muitos também apresentam perda de materiais sólidos translucados (ou eluviados) para o horizonte B. O horizonte E, presente em alguns solos, é mais claro devido às perdas de constituintes como: argilas e/ ou óxido de ferro e húmus para o horizonte B imediatamente abaixo (EMBRAPA, 1988; HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011; LEPSCH, 2011).

O horizonte representado pelo símbolo B situa-se abaixo do horizonte A ou do E, desde que não tenha sido exposto à superfície pela erosão. Corresponde a um horizonte com acúmulo de materiais argilosos, oxi-hidróxido de ferro e alumínio e matéria orgânica, transportados pela lixiviação do solo. Os horizontes de A a B comportam o *solum* que a porção superior mais intemperizada do perfil (EMBRAPA, 1988; HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011; LEPSCH, 2011).

O horizonte F situa-se sob os horizontes A, E ou B e, como B, também se apresenta rico em ferro e alumínio e pobre em matéria orgânica. O horizonte C, constituído de material

inconsolidado, pouco modificado pela ação de agentes de intemperismo, é seguido do último Horizonte R que se refere ao material consolidado, isto é a rocha matriz (HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011).

Soares *et.al* (2005) ao estudar o transporte de metais pesados no solo no contexto da disposição de resíduos sólidos, afirmam que um aterro, quando exposto à ação das águas pluviais, pode constituir-se em fonte de contaminação do solo e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Mais especificamente em casos em que o aterro não disponha de impermeabilização de base, como os do tipo controlado - opção comumente utilizada pelos municípios brasileiros para o destino final dos resíduos sólidos urbanos. Para os autores uma parte das águas da chuva que atinge a superfície do aterro escoam superficialmente ou acumulam-se na superfície do terreno e taludes laterais da pilha de resíduos, e a outra parte da água infiltra-se no solo, sofrendo posteriormente evaporação e evapotranspiração ou segue para o subsolo arrastando os constituintes solúveis, originados no processo de decomposição dos resíduos sólidos depositados no aterro, conforme ilustra de forma esquemática a Figura 2.

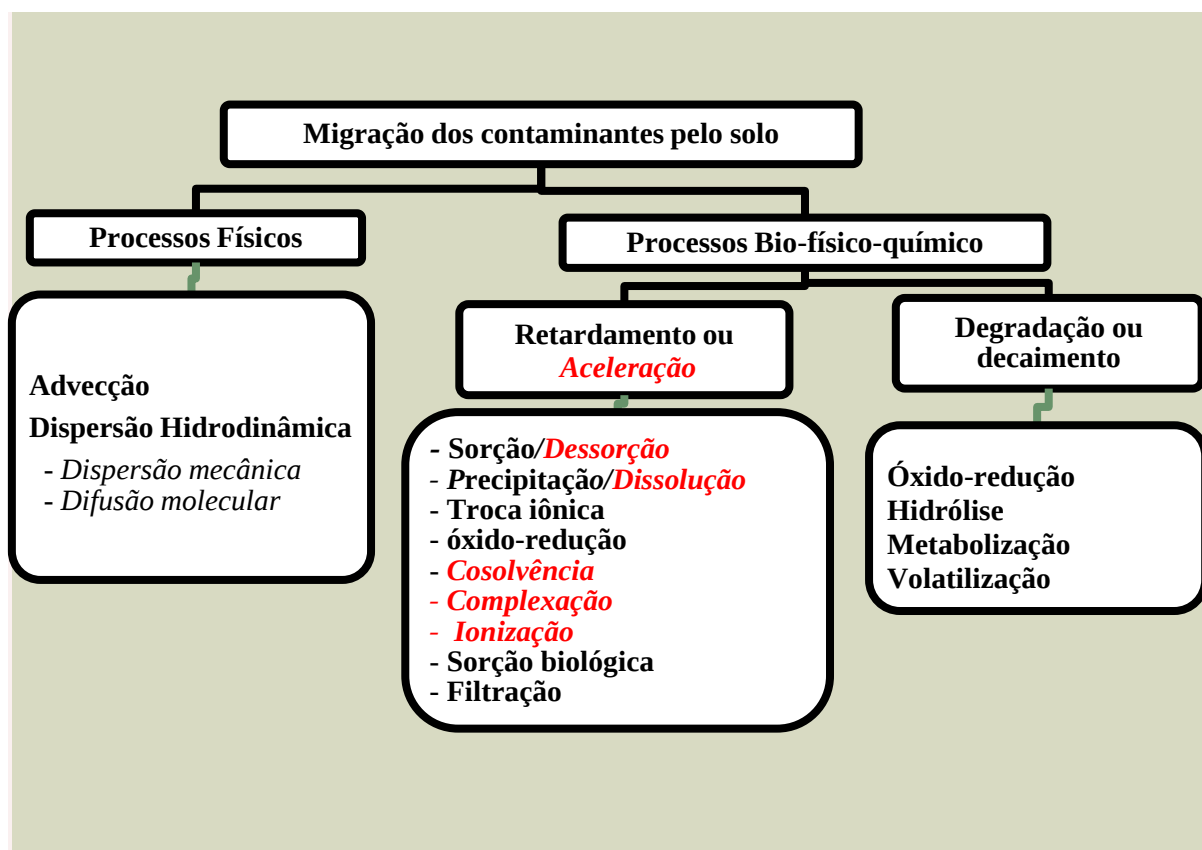
Figura 3 - Representação da distribuição da água da chuva em áreas de disposição de resíduos sólidos



Fonte: Soares, et, al, 2005, adaptado pela autora, 2014.

Os contaminantes presentes nos resíduos sólidos podem estar dissolvidos na água percolante, que é o principal agente transportador de substâncias para o interior do solo. A migração de contaminantes através de um meio poroso, como o solo, é influenciada por vários fatores que podem determinar maior, menor ou nenhuma movimentação do contaminante. Esses movimentos de contaminante no solo são descritos por processos físicos e bio-físico-químicos (YONG *et al.*, 1992; COSTA, 2002; MONCADA, 2004; KORF, et al, 2008). A Figura 4 destaca os diversos fenômenos de transportes decorrentes da migração de contaminantes para a superfície do solo, segundo Moncada, 2004.

Figura 4 - Mecanismos associados ao transporte de contaminante pela sub-superfície do solo



Fonte: Moncada, 2004

No âmbito desse trabalho, destacam-se os mecanismos que presidem o transporte de solutos em meio poroso, que também são aplicados ao transporte de metais no solo. De forma geral, o transporte de solutos no solo é afetado por dois mecanismos básicos: a difusão e a advecção. A difusão é o processo pelo qual as espécies dissolvidas movem-se devido ao gradiente - concentração existente em um fluido - cujo deslocamento do soluto dissolvido ocorre de uma região de maior concentração (atividade química) para as regiões de menor concentração. A advecção, por sua vez, é entendida como o transporte de contaminantes pelo movimento da água, acompanhando sua direção de fluxo, sendo que os solutos presentes na água se deslocam com uma velocidade que é igual à velocidade média da água e sem alterar a sua concentração na solução, deixando evidente que somente haverá advecção na ocorrência de gradientes hidráulicos (SOARES *et. al.*, 2005; THOMÉ; KNOP, 2006; HYPOLITO, ANDRADE, EZAKI, 2011).

Os processos bio-físico-químicos estão relacionados às interações físicas, químicas e biológicas que podem ocorrer entre o solo e o poluente. A interação entre as condições

ambientais, o contaminante e o meio poroso podem ocasionar retardamento, aceleração ou degradação. Assim, além da difusão e advecção, contribuem também para transporte de metais pesados no solo os fenômenos de dispersão e de atenuação ou retardo.

A dispersão mecânica é a movimentação desordenada dos solutos em todas as direções, influenciada pelo desenvolvimento de velocidades médias diferentes em canais diferentes do meio poroso devido às variações das dimensões dos poros ao longo das linhas de fluxo e do desvio da trajetória das partículas em decorrência da tortuosidade do solo. O espalhamento do contaminante na direção do fluxo da solução é denominado dispersão longitudinal, já o espalhamento na direção perpendicular ao fluxo da solução é denominado dispersão transversal (THOMÉ, KNOP, 2006, HYPOLITO, ANDRADE, EZAKI, 2011).

A sorção refere-se ao fenômeno da aderência e penetração de partículas (íons, átomos, moléculas, etc) ao sólido. O efeito inverso, isto é, a liberação de partículas para o fluido é denominado dessorção. Dentre os sub-fenômenos de sorção, destacam-se adsorção e a absorção (sorção hidrofóbica). A adsorção é o principal mecanismo de retenção de metais em solução e consiste na adesão superficial de partículas de natureza orgânica ou inorgânica à matriz sólida, geralmente por atração elétrica entre íons (normalmente cátions) e as cargas elétricas desta superfície. A absorção é um mecanismo típico de retenção de substâncias orgânicas, especialmente compostos orgânicos apolares, na matéria orgânica do solo. É um fenômeno em que ocorre difusão, penetração, incorporação do soluto através da matriz sólida. (SOARES *et. al.*, 2005, THOMÉ; KNOP, 2006, HYPOLITO; ANDRADE; EZAKI, 2011).

De modo comparativo, os solos argilosos tendem a possuir maior poder de sorção que os solos arenosos, características atribuídas às altas cargas elétricas das argilas, que adsorvem os íons metálicos (THOMÉ; KNOP, 2006). Além do efeito benéfico da sorção no sentido de frear o crescimento da pluma de contaminação, os solos argilosos possuem baixa permeabilidade, sendo, portanto, um tipo litológico a ser considerado na escolha de áreas para deposição de resíduos.

A vegetação pode também retardar ou impedir o transporte de metais adsorvendo e acumulando-os junto a suas raízes ou seus tecidos. Por isso, em áreas de solo contaminado a vegetação do local pode ser poluída por sucção pelas raízes ou por aderência às folhas de metais e outras substâncias tóxicas. Os animais que se alimentam dessa vegetação podem sofrer elevação do teor de certas substâncias nos tecidos e no sangue, com eventuais consequências deletérias à descendência e à cadeia alimentar (SOARES *et. al.*, 2005, BOSCOV, 2008).

3.6.3 A Poluição dos corpos hídricos por lixiviados de aterros

A água ocupa aproximadamente 75% da Superfície da Terra e é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, integrando aproximadamente dois terços do corpo humano. A água possui uma variedade de substâncias dissolvidas, advindas do intemperismo natural das rochas, do processo de precipitação de partículas atmosféricas como o ácido nítrico e sulfúrico e emissão de gases, ou ainda de contribuições humanas que introduzem íons e substâncias solúveis de atividades industriais, da mineração, despejos de esgotos e outros resíduos nos corpos d'água (LIBÂNEO, 2010, PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). De modo geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, uma vez que esta confere aos corpos d'água (rios, lagos ou córregos), muitas das suas características relativas à geologia, à pedologia, à morfologia, à hidrologia, à vegetação, ao clima predominante e, principalmente, às atividades antrópicas nela desenvolvidas. A capacidade de dissolução da água propicia que ela atue como meio de transporte, em escoamento superficial e subterrâneo, permitindo que as características de um mesmo curso d'água alterem-se no tempo e no espaço. (LIBÂNEO, 2010).

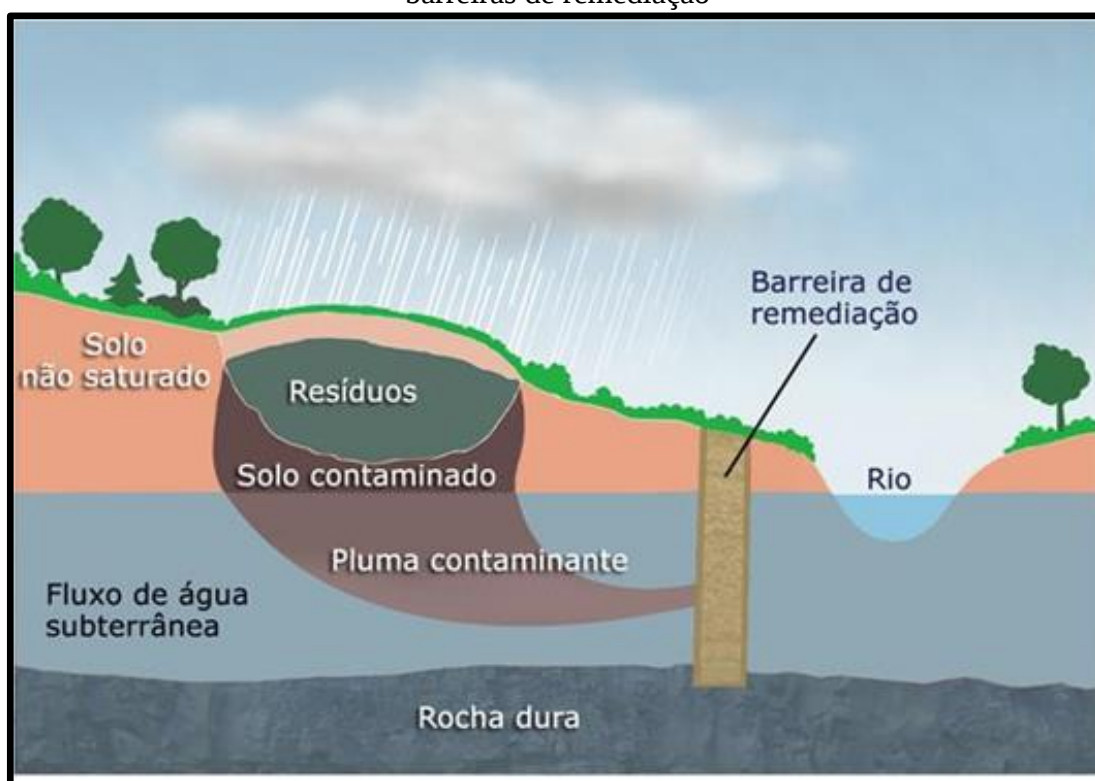
A água subterrânea, na sua maior parte, tem origem como água meteórica a partir da precipitação na forma de chuva ou neve. Se a água desta origem não for perdida por evaporação, transpiração ou deflúvio, ela pode infiltrar no solo. Os primeiros volumes de água de precipitação a cair no solo seco são retidos de maneira muito densa nas superfícies e nos microporos das partículas do solo, no chamado cinturão de umidade do solo. Em níveis intermediários, as partículas do solo são cobertas por filmes de água, juntamente com o ar que continua presente em vazios maiores do solo. A região em que a água fica contida é denominada de *zona não saturada ou zona de aeração* e essa água retida é conhecida como *água vadosa*. Em profundidades maiores, a água presente em uma *zona de saturação* e na chamada de água subterrânea. Por causa da tensão superficial, a água é atraída a uma região um pouco acima do aquífero freático por dutos de dimensões capilares, a chamada *franja capilar* (NANAHAN, 2013).

Os perfis naturais de subsolo possuem ativa capacidade de atenuarem muitos poluentes da água. A auto eliminação dos contaminantes durante o transporte subsuperficial na zona não saturada (vadosa) é consequência da degradação bioquímica e de reações químicas e dos processos de retardamento dos contaminantes, devidos aos fenômenos de

sorção. No entanto, nem todos os perfis de subsolo e camadas subjacentes são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes (BRAGA et. al., 2005, FOSTER, et. al., 2006, GIRARD, 2013).

Os poluentes, quando em contato com o fluxo subterrâneo, podem ser dissolvidos na água e carreados por ela ou fluírem como uma fase líquida não miscível adicional. Em consequência do efeito da dispersão hidrodinâmica, os poluentes vão se espalhando à medida que se movem pelo solo e volumes maiores vão sendo atingidos pelos poluentes a jusante da fonte. Forma-se assim a pluma de contaminação, que é a região contaminada por um ou mais poluentes a partir da fonte (SOARES, et, al, 2005; BOSCOV, 2008). A Figura 5 representa esquematicamente a formação da pluma de contaminação da água subterrânea sob o depósito de resíduos sólidos.

Figura 5 - Representação da formação de uma pluma de contaminação com aplicação de barreiras de remediação



Fonte: (SOARES, et. al. 2005; BOSCOV, 2008), adaptado pela autora.

Pelo exposto e ilustrado na figura 5, as águas subterrâneas, uma vez poluídas ou contaminadas, demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para sua remediação, por isso medidas preventivas para sua proteção, associadas ao controle da poluição são ações que necessitam ser implementadas continuamente.

4 INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL DO SOLO E DA ÁGUA

Com este capítulo pretende-se inicialmente fazer uma breve discussão sobre os conceitos de padrão de qualidade ambiental, para em seguida abordar sobre os principais parâmetros indicadores de qualidade do solo, efluentes e das águas superficiais e subterrâneas definidos por órgão de gestão ambiental brasileiros, destacando os seus respectivos valores máximos permitidos para determinados usos da água e do solo, buscando-se, dessa forma, estabelecer uma referência para a avaliação geo-ambiental integrada que se pretende realizar neste trabalho.

4.1 PADRÃO DE QUALIDADE AMBIENTAL

Um padrão de qualidade ambiental, segundo Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)⁴, é um limite – definido por leis, normas ou resoluções – para as perturbações ambientais, que determina a degradação máxima admissível no meio ambiente (OECD, 2007). Para a ABNT, NBR 9896/1993 os padrões de qualidade são constituídos por um conjunto de parâmetros e respectivos limites, estabelecidos com base em critérios científicos que avaliam o risco pela exposição a uma dose conhecida de um determinado poluente. O estabelecimento dos padrões de qualidade ambiental visa fundamentalmente o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana, como micro-organismos patogênicos, substâncias tóxicas e radioativas.

Os critérios de qualidade ambiental devem ser definidos para cada um dos meios como ar, água e solo e são baseados nos dados toxicológicos obtidos através de experimentos, estudos epidemiológicos e cenários genéricos de exposição, ou seja, são produtos do processo de avaliação de risco, podendo ser expressos em termos quantitativos pela determinação de concentrações ou em termos qualitativos através de uma especificação escrita (UMBUZEIRO; KUMMROW; REI, 2010). Entretanto, para muitos compostos utilizados em grande escala no território brasileiro, os valores de referências toxicológicos ainda não foram determinados.

⁴ A Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) Desde a década de 1980 vem publicando diversos métodos aprovados pela comunidade científica internacional, com o intuito de padronizar e promover a segurança química mundial (OECD, 2007).

Os instrumentos legais brasileiros destinados a regulamentar os indicadores de qualidade ambiental para água, ar e solo, são relativamente recentes. E, via de regra, esses instrumentos são adaptações de leis vigentes em países desenvolvidos, que em muitos casos não são convenientes aos problemas ambientais vivenciados no Brasil.

A resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, “dispõe sobre critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.” Esta resolução uniformiza os procedimentos a serem adotados pelos órgãos ambientais competentes, em todos os Estados e Municípios, e fornecem diretrizes visando à prevenção e o gerenciamento de áreas contaminadas (BRASIL, 2012).

Em decorrência da grande variabilidade geológica e pedológica do país, a implantação desta resolução requer que os órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal realizem o levantamento dos tipos de solos em seus territórios e definam os valores de Referência de Qualidade (VRQ) que são essenciais para definição de áreas contaminadas.

Do ponto de vista do controle da poluição de águas, a resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 estabeleceu normas padrão para a classificação dos corpos de água superficial e diretriz para o seu enquadramento, bem como estipulou as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os padrões ambientais de algumas substâncias constantes nessa resolução foram posteriormente alterados pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011 e complementados pela Resolução nº 393, de 2009. Quanto aos corpos de águas subterrâneas a resolução CONAMA nº 396 de 3 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, substituindo antiga Resolução CONAMA, 20/1986 (BRASIL, 2012). Outra norma vigente é a Portaria MS nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 que deliberou sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2012).

Essas resoluções do CONAMA fornecem alguns conceitos básicos relativos ao estabelecimento de valores limites de substâncias químicas que alterem o solo e a águas, como se descrevem a seguir: *Limite de Detecção do Método* (LDM) que corresponde a menor concentração de uma substância que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, pelo método utilizado; *Limite de Quantificação Praticável* (LQP) é definido

como a menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente, com precisão e exatidão, pelo método utilizado; *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 valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar 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 e *Valor Máximo Permitido (VMP)*, limite máximo permitido de um dado parâmetro, específico para uso da água subterrânea.

Portanto, uma área será considerada contaminada se, entre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de um dado limite denominado valor de intervenção.

4.2 PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO.

Os trabalhos científicos que tratam sobre a qualidade do solo, geralmente, estão direcionados para a finalidade agrícola, no entanto, como o foco dessa investigação é a análise ambiental da sub-bacia hidrográfica que tem como principal atividade antrópica o depósito de resíduos sólidos de Teresina, optou-se por trabalhar com os atributos do solo que podem interferir na mobilidade dos metais, que segundo Campos (2010) são: Matéria Orgânica do solo (MO), Potencial hidrogeniônico (pH), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), textura e Composição mineral das argilas. Acrescenta-se, a esses atributos, os metais pesados Cromo (Cr), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) considerados como poluentes inorgânicos tóxicos. A seguir descreve-se o significado ambiental de cada atributo analisado nessa pesquisa.

4.2.1 Textura /Granulometria

A textura é o termo empregado para designar o tamanho relativo das partículas sólidas no solo. A separação e quantificação dessas partículas, segundo suas dimensões, correspondem à análise granulométrica que pode ser efetuada por peneiramento e por

sedimentação para determinação da proporção das frações areia, silte e argila que o solo detém (HYPOLITO; ANDRADE, EZAKI, 2011). A textura do solo determina a capacidade do substrato de se deixar atravessar pelos efluentes e exerce influência sobre a capacidade de carga do solo. É uma propriedade que tem estreita relação com a retenção de contaminantes no solo e o transporte de água, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente os processos erosivos do solo. (ALMEIDA, 2009; ARAÚJO et al. 2012).

4.2.2 Mineralogia da fração argilas por difração de raios-X

A difratometria de raios X é considerada uma das principais técnicas para caracterização macroestrutural de materiais, sejam eles inorgânicos ou orgânicos, por isso, tem sido aplicada em várias áreas do conhecimento, particularmente, na engenharia, química, geociências, dentre outras. As rochas e sedimentos são exemplos de matérias geológicas que possuem na sua composição vários minerais, que podem ser caracterizados por difração de raios X em pó (XRD), visto ser uma ferramenta rápida e confiável para identificação mineral em atividade analítica de rotina (DULONG; JACKSON, 2000).

A difração de raios X baseia-se na interferência construtiva de raios X monocromáticos em uma amostra cristalina. Estes raios X são gerados em tubos de raios catódicos que ao serem dirigidos para a amostra produz uma interferência construtiva, ou seja, raios difratados. Os raios X difratados são então, detectados, processados e contados, sendo que o resultado deste tipo de análise é apresentado sob a forma de um gráfico, o difratograma, cujas variáveis são o ângulo 2θ versus a intensidade dos picos difratados (eixo vertical). Os picos do difratograma são produzidos quando, para um dado valor de θ , um dado plano atômico possui distância interplanar (d) que satisfaz a lei de Bragg (equação 6).

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta.$$

Equação (6)

Onde: λ corresponde ao comprimento de onda da radiação incidente;

“ n ” a um numero inteiro (ordem da difração),

“ d ” à distância entre os planos paralelos sucessivos na estrutura cristalina da amostra analisada e θ ao ângulo de incidência e difração de um feixe de raios X relativamente a um dado plano atômico

4.2.3 Matéria Orgânica do Solo (MO)

A matéria orgânica do solo é constituída por dejetos vegetais e animais em seus vários estágios de decomposição que geralmente são conhecidos como húmus. Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que dependendo da quantidade de resíduos depositados no solo poderá resultar em aumento no teor de carbono orgânico (CO) do solo (ASHAGRIE *et. al*, 2007)

A matéria orgânica atua nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, por isso tem sido considerada como indicador chave no estudo de sua qualidade. Ela influencia no aumento da capacidade de retenção de água e no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA), (SILVA; TORRADO; ABREU JÚNIOR, 1999, LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

4.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro importante na determinação da qualidade de solo e águas, pois expressa o grau de acidez, ou alcalinidade de uma solução, em valores de 0 a 14, sendo que valores inferiores a 7 indicam meios ácidos e valores superiores a 7 indicam meios alcalinos. O pH determina o grau de adsorção de íons por partículas do solo, afetando assim sua solubilidade, mobilidade, disponibilidade de formas iônicas de um contaminante e outros constituintes do solo. Valores baixos de pH aceleram a decomposição de materiais potencialmente tóxicos. Assim, a solubilidade de muitos contaminantes inorgânicos muda em função do pH e normalmente sua mobilidade diminui com altos valores de pH (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

4.2.5 Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC é definida como a quantidade de cátions adsorvidos reversivelmente por unidade de massa de material seco, expressando, portanto, a capacidade do solo de trocar cátions. A quantidade destes é fornecida pelo número de cargas positivas (centimol ou milimol) e a massa de solo seca, geralmente 100 g ou 1 kg. os valores encontrados para

minerais argilosos variam de 1 a 150 centimol. kg^{-1} , enquanto a CTC para matéria orgânica pode atingir 400 centimol. kg^{-1} , devido ao grande número de grupos oxigenados, particularmente carboxílicos ($-\text{COOH}$), os quais pode ligar e trocar cátions (BIRD; CANN, 2011).

4.2.6 Metais pesados

Segundo Malavolta (1994 citado por MACEDO, 2006), a expressão “metal pesado” se aplica a elementos que têm peso específico maior que 5g/cm^3 ou número atômico maior que 20. Os metais Cu, Fe, Mn, Mo, Zn são considerados essenciais e necessários em pequenas quantidades pelos organismos vivos, já os metais Co, Ni, V são benéficos e o Al, Cd, Cr, Hg e Pb são considerados não essenciais, pois não têm qualquer função fisiológica conhecida para plantas ou seres humanos e até mesmo as menores quantidades podem ter efeitos adversos sobre os organismos (KUMPIENE; LAGERKVIST; MAURICE, 2008).

A ocorrência natural de metais pesados em solos é fortemente influenciada pelo tempo dos processos de formação do solo (pedogênese e intemperismo) e pela composição química do material de origem. Além da geologia, outras características do solo podem influenciar no conteúdo de metais pesados, tais como composição mineralógica, os teores de matéria orgânica e as características físico-químicas dos solos (KLAMT; REEUWIJK, ALMEIDA, 2009, ANDRADE et al. 2012). Assim, a melhor maneira de se identificar áreas poluídas ou contaminadas de um solo, por ação antrópica, é a sua comparação com um solo do mesmo contexto pedológico, em condições naturais ou com o mínimo de interferências humanas.

As áreas de disposição de resíduos são ambientes potenciais à contaminação por íons de metais pesados, provenientes dos diversos tipos de materiais residuais, a exemplos têm-se: material orgânico (Pb, Ni e Zn), material metálico (Cd, Pb, Ni e Zn), plástico (Cd e Zn), vidro (Cr), baterias (Cd, Pb, Ni e Zn), borrachas (Zn), tecidos (Cr) e despejos domésticos (Cu, Pb e Zn), dentre outros (OLIVEIRA; PASQUAL 2004, BISINOTI, YABE, GIMENEZ 2004; KUMPIENE; LAGERKVIST; MAURICE, 2008).

Na tabela 6 são apresentados os valores de intervenção de metais pesados para solos, como o uso. Além, dos valores máximos de investigação para águas subterrânea, conforme a Resolução do CONAMA 420/2009 e a Portaria Ministerial MS 2.914 de 2011.

Tabela 6 - Concentrações máximas de metais pesados em solos e água subterrânea, segundo a Resolução CONAMA n° 420 de 2009 e Portaria Ministerial MS 2.914 de 2011.

Substâncias (Metais pesados)	SOLO (mg.Kg ⁻¹ de peso seco) (1)					Água
	Valor de Referencia	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção			Subterrânea Investigação (µg.L ⁻¹)
			Agrícola	Residencial	Industrial	
Arsênio (As)	E	15	35	55	150	5*
Bário (Ba)	E	150	300	500	750	700*
Cádmio (Cd)	E	1,3	3	8	20	5*
Chumbo (Pb)	E	72	180	300	900	10*
Cobre (Cu)	E	60	200	400	600	2000*
Cromo (Cr)	E	75	150	300	400	50*
Manganês (Mn)	E	-	-	-	-	400*
Mercúrio (Hg)	E	0,5	12	36	70	1*
Níquel (Ni)	E	30	70	100	130	20
Zinco (Zn)	E	300	450	1000	2000	1050**

Legenda:

E A ser definido pelo Estado.

(*) Padrão de potabilidade de substâncias químicas que apresentam risco à saúde, definidos na Portaria MS 2911/ 2011

(**) Valores calculados com base na Resolução Conama 420/2009

Fonte: (BRASIL, 2012)

Os valores apresentados na tabela 6 são usados, nessa pesquisa, como parâmetro comparativo com os dados obtidos no campo e nas análises laboratoriais, tendo em vista que no Estado do Piauí ainda não foram estabelecidos os valores de referência para os solos. Cabe aqui esclarecer que a Resolução CONAMA n° 420/2009 determinou o prazo, de até dezembro 2013, para que os Estados e Distrito Federal estabelecessem dos Valores de Referência de Qualidade de Solos (VRQs), com a indicação da concentração de dada substância que define a qualidade natural do solo. Sendo, esse prazo, alterado para dezembro de 2014, conforme a Resolução CONAMA n° 460/2011. O Estado de São Paulo foi o pioneiro, seguido de Minas Gerais, e recentemente o Estado do Rio Grande do Sul que através da Portaria n° 85/2014 define os valores de referência para nove elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológico-geológica do Estado (BRASIL, 2012).

4.3 PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.

A água possui uma variedade de substâncias dissolvidas, advindas do intemperismo natural das rochas, do processo de precipitação de partículas atmosféricas como o ácido nítrico e sulfúrico e emissão de gases, ou ainda de contribuições humanas que introduzem íons e substâncias solúveis de atividades industriais, da mineração, despejos de esgotos e outros resíduos nos corpos d'água (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). De modo geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A Resolução do CONAMA nº 357 de 2005, classifica as águas de todo território nacional, em águas doces, salobras e salinas. Águas com valores de salinidade iguais ou inferiores a 0,50‰ são consideradas doces; águas com valores entre 0,50 e 30,0‰ são classificadas como salobras e águas com valores iguais ou superiores a 30,0‰ são ditas salinas. Em função dos usos da água foram estabelecidos nove níveis de qualidade (classes) a serem alcançados e/ou mantidos em um segmento de um corpo d'água ao longo do tempo. As águas doces superficiais do país podem estar incluídas em uma das cinco classes de águas apresentadas no quadro 2

Quadro 2- Classes e respectivos usos das águas superficiais, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005.

CLASSES	PRINCIPAIS USOS
	Águas doces superficiais
Classe Especial	– Abastecimento humano, com desinfecção; – Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; – Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	– Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; – Proteção das comunidades aquáticas; – Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); – Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que são ingeridas cruas sem remoção de películas; – Proteção de comunidades aquáticas em terras indígenas.
Classe 2	– Abastecimento humano, após tratamento convencional; – Proteção das comunidades aquáticas; – Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); – Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; – Aquicultura e atividade de pesca.
Classe 3	– Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; – Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; – Pesca amadora; – Recreação de contato secundário; – Dessedimentação de animais.
Classe 4	– Navegação; – Harmonia paisagística.

Essa Resolução também preconiza que não poderá haver lançamento de efluentes em águas classificadas com classe especial e estabelece alguns valores básicos de indicadores de qualidade de água a serem obedecidas pelos lançamentos de efluentes em corpos de água das demais classes de águas doces. As medidas elencadas nessa Resolução apresentam-se como um instrumento de planejamento bastante interessante porque estabelece a qualidade que cada curso d'água deverá manter, de forma a atender aos usos específicos.

De modo semelhante, a o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 398/2008 classifica as águas subterrâneas, apontando as características e finalidades de cada classe, conforme detalhamento apresentado no Quadro 3

Quadro 3 - Classes e respectivos usos das águas subterrâneas, Resolução CONAMA nº 396, de 2008.

CLASSES	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E USOS
	Águas Subterrâneas (consideradas como águas de aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção de aquíferos)
Classe Especial	Águas destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e em aquíferos que contribuem diretamente para trechos de corpos de água superficial de classe especial.
Classe 1	Águas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 2	Águas, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidro geoquímicas naturais.
Classe 3	Águas, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidro geoquímicas naturais.
Classe 4	Águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
Classe 5	Águas que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Essa mesma Resolução, também prescreve que os órgãos competentes dos Estados e Distrito Federal deverão selecionar os parâmetros que subsidiarão a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em seus territórios, em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos relevantes. Nesse sentido, estipula como parâmetros mínimos os Sólidos Dissolvidos, Nitrato e Coliformes Termotolerantes. Nas atividades de monitoramento da qualidade da água subterrânea, deverão ser incorporados a esses parâmetros mínimos, os seguintes indicadores: Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, Condutividade Elétrica e medição de nível da água (BRASIL, 2012).

Assim, considerando os valores máximos permitidos para os parâmetros de qualidade da água estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357/05, 396/08 e Portaria MS 420/2011, este estudo analisa as características de natureza física, química e biológica de águas

superficiais/ e subterrâneas, e efluentes de aterro, considerando as duas sub-bacias de drenagem selecionadas. O significado ambiental de cada indicador de qualidade hídrica será descrito na sequência:

4.3.1 Temperatura

A temperatura é uma grandeza que define a condição térmica de uma substância ou de um sistema termodinâmico. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (energia solar, por meio de trocas de calor por condução, convecção e radiação) ou antropogênicas (efluentes industriais e águas de resfriamento de máquinas). A temperatura exerce influência marcante na solubilidade de substâncias, na velocidade das reações químicas e nas atividades metabólicas dos organismos. O aumento da temperatura da água favorece uma diminuição na solubilidade dos gases e um aumento na solubilidade dos sais minerais (MACÊDO, 2006). Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam em geral temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C (BRASIL, 2006, CETESB, 2009, BRASIL, 2014). A medida da temperatura da água pode ser realizada por um termômetro Celsius de mercúrio ou com sensores denominados termoelementos (VON SPERLING, 1995).

4.3.2 Turbidez.

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão de origem natural (areia, silte, argila, rocha, algas e micro-organismos.) ou de origem antropogênica (efluentes industriais e domésticos e processos erosivos rurais e urbanos). O turbidímetro é um equipamento específico para determinação da turbidez na água, que se baseia no método Nefelométrico⁵, cuja medida é expressa por meio de unidades de turbidez (uT), também denominadas unidades nefelométricas de Turbidez (UNT) (MACÊDO, 2006; CETESB, 2009).

A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades, dependendo da classe em que se enquadra. Para fins de potabilidade, a Portaria MS nº

⁵ Método Nefelométrico está baseado na comparação da intensidade da luz dispersada pela amostra em condições definidas (ângulo de 90° em relação ao raio de luz incidente) com a intensidade de luz dispersada por uma suspensão de referência padrão (imetil Formazina) sob as mesmas condições e com concentrações previamente conhecidas (APHA, 2001).

2.914/2011, estabelece que a turbidez para água subterrânea pós-filtração ou pré-desinfecção deve ser inferior a uma unidade (BRASIL, 2006; BRASIL, 2011).

4.3.3 Sólidos totais dissolvidos (STD)

É o resíduo resultante da evaporação da água a 104 –105°C e corresponde à soma dos sólidos solúveis e suspensos, ou seja, é a medida da concentração de todos os cátions, ânions de sais que se encontram dissolvidos na água e de materiais em suspensão. Corresponde, portanto, à fração dos solutos suspensos que passam por filtros com poros de 2,0 mm (0,002 cm) (HERMES e SILVA, 2004). O Padrão de potabilidade de água faz referência apenas aos sólidos totais dissolvidos e estipula um limite de 1000 mg.L⁻¹. Valores superiores a esse limite reflete a influência de lançamento de esgotos, com comprometimento da qualidade organoléptica da água (BRASIL, 2006). A Organização Mundial da Saúde fixa um teor desejável de sólidos totais de 500 mg/l e o teor máximo permissível de 1500 mg/l.

4.3.4 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica da água é a medida da capacidade de condução de corrente elétrica, em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em íons (ânions e cátions). É uma propriedade que varia em função da concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, da temperatura, da mobilidade e valência dos íons (BRASIL, 2006, MACÊDO, 2006, CETESB, 2009).

A condutividade elétrica pode ser expressa por diferentes unidades e, principalmente, por seus submúltiplos, sendo no Sistema Internacional de Unidades (SI) referida por Siemens por metro (S/m). Entretanto, em medições realizadas em amostras de água, utiliza-se, preferencialmente, micro Siemens (µS/cm) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm) (PINTO, 2007). As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 µS/cm. Em geral, níveis superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados, e ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a até 1.000 µS/cm (CETESB, 2009).

4.3.5 Potencial de hidrogênio iônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida do equilíbrio entre as cargas de hidroxilas (OH^-) e íons hidrogênio (H^+). É uma grandeza que varia de 0 a 14, sendo utilizada para identificar se determinada água é ácida, neutra ou básica. Em soluções neutras, como a água pura, o pH é 7, enquanto, em soluções alcalinas, os valores variam de 8 a 14, e, em soluções ácidas a variação é de 1 a 6. (HERMES e SILVA, 2004). É um parâmetro fundamental no controle de unidades de tratamento de efluentes e de abastecimento, tendo em vista que quase todos os processos químicos e biológicos são dependentes do pH.

O pH da água depende de sua origem e características naturais (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese etc.), mas pode ser alterado pela introdução de despejos domésticos ou industriais (RECESA, 2008). Segundo a resolução CONAMA 357/05, o pH para águas doces pode variar entre 6 e 9, para águas salinas são estabelecidas os limites entre 6,5 e 8,5 e para águas salobras os limites estabelecidos são 6,5 a 8,5 (BRASIL, 2005).

4.3.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

A determinação da concentração de OD é de importância fundamental na avaliação da qualidade das águas, uma vez que o oxigênio está envolvido praticamente em todos os processos químicos e biológicos. Os sistemas aquáticos produzem e consomem o oxigênio, que são retirados da atmosfera na interface água-ar, e das atividades fotossintéticas de algas e plantas. Por isso, a descarga de material orgânico em excesso na água pode resultar no esgotamento de oxigênio do sistema. (SANTOS, 2008). A quantidade de oxigênio presente na água em condições normais depende da temperatura, uma vez que solubilidade dos gases aumenta com a diminuição da temperatura, portanto, águas mais frias retêm maior quantidade de oxigênio. (BRASIL, 2006, SANTOS, 2008).

4.3.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são comumente utilizadas para quantificação da matéria orgânica que é a principal responsável pela diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água.

A DBO é a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água necessária à oxidação da matéria orgânica biodegradável, por ação de bactérias aeróbias. A DBO padrão é determinada em laboratório, através de técnicas que medem o consumo de oxigênio necessário para oxidação da matéria orgânica em 5 dias de incubação, na ausência de luz e a 20 °C, por isso é indicada como DBO_{5,20} (MACÊDO, 2006, HYPÓLITO, ANDRADE e EZAKI, 2011, MANAHAN, 2013).

4.3.8 Série Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato)

O nitrogênio pode estar presente na água, sob várias formas: molecular (N₂), amônia (quer na forma livre NH₃ ou ionizada NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) ou nitrato (NO₃⁻). É elemento indispensável ao crescimento de algas, quando em grandes quantidades, pode levar a um processo de eutrofização de lagos e represas. Macêdo (2003), citando Glaglianome e Bastos, (1988) afirma que o nitrogênio amoniacal pose esta nas formas de NH₃ (amônia) e do íon NH₄⁺ (amônio), em equilíbrio em solução aquosa. A amônia pode ser oxidada através de bactérias (nitrosomonas) a nitrito e, dando continuidade ao processo oxidativo, as nitrobactérias, o transformam em nitrato. Por isso, águas com predominância de nitrogênio orgânico ou amoniacal caracterizam poluição por descarga de esgoto recente. Já os nitratos indicam poluição remota, porque os nitratos são o produto final de oxidação de nitrogênio. Os nitritos posem causar a Mataglobinemia, que é a perda da capacidade de oxigenação do sangue. (MACEDO, 2003)

Os nitratos e nitritos são encontrados em águas naturais em níveis baixos. Em Teresina a média de Nitratos de 4 poços utilizados na irrigação de hortas comunitárias é de 2,35 mg/L, e a média de nitritos é de 2,5 x 10⁻⁴ (LIMA et. al, 2014).

A resolução 357//2005 - CONAMA preconiza valores de nitratos de 10 mg de N/L e de 2 mg de N/L para água doce, classe 3. As águas de abastecimento público Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde considera que o VMP (Valor Máximo Permitido) de nitratos é de 10 mg de N/L, para nitritos 1 mg de N/L e para amônia 1, 5 mg de N/L.

4.3.9 Cloretos

O íon cloreto (Cl⁻) é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais. É extremamente abundante, nos esgotos e resíduos sólidos, tendo a particular propriedade de

possuir alta mobilidade no solo. Dessa maneira é um eficiente indicador de contaminação ambiental. Isso ocorre devido a sua alta mobilidade e ao lento movimento das águas no aquífero, sendo ele um indicador de poluição para aterros sanitários e lixões. (TROLEIS, 2009). Em recursos hídricos, a Resolução 357/2005 – CONAMA permite 250 mg de Cl⁻/L para água doce da classe 3. Esse valor, também foi denominado pela Portaria 2914/2011, como VMP para águas de abastecimento público.

4.3.10 Coliformes totais e coliformes fecais

As bactérias coliformes são um grupo de organismos que podem ser encontrados no solo, nas águas naturais e residuais domésticas e no intestino do homem e de outros animais de sangue quente, portanto, são consideradas como referência na indicação de contaminação fecal. O subgrupo dos coliformes totais incluem os bacilos gram-negativos, que podem ou não necessitar de oxigênio (Aeróbicos ou Anaeróbicos) durante a fermentação da lactose com produção de ácido, gás e aldeído a 35°C em 24-48 horas. O subgrupo dos Coliformes Fecais, também conhecido por Coliformes Termotolerantes suportam temperaturas de até 44°C $\pm$ 0,2 °C e reproduzem-se nessa temperatura em menos de 24 horas, a partir da fermentação a lactose, tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal. (MACÊDO, 2003; BRASIL, 2013). Os valores permitidos pelo CONAMA de coliformes fecais e totais para águas doces da classe 2 são 1000 N.M.P/100mL e 5000 N.M.P/100mL, respectivamente (BRASIL, 2012).

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo, reflete-se a cerca da trajetória da pesquisa, seus fundamentos e procedimentos técnicos operacionais que deram suporte ao alcance dos objetivos pretendidos. Foram importantes as contribuições de Guerra, Silva e Botelho (1999), Botelho e Silva (2007), Teodoro (2007), Machado e Torres (2012) e Silva e Corrêa (2007) para instaurar uma discussão acerca da sub-bacia de drenagem como unidade sistêmica de planejamento, pesquisa e gestão. Buscou-se, também, subsídios nos trabalhos de Macêdo (2002), Raij *et al* (2001), Hipólito, Andrade e Ezaki (2011), nos manuais da EMBRAPA (2011), FUNASA (2010), dentre outros, que deram suporte à definição das técnicas analíticas apropriadas às caracterizações físicas, químicas e biológicas do solo e águas.

5.1 A BACIA DE DRENAGEM COMO UNIDADE DE ESTUDOS AMBIENTAIS

Na literatura técnica-científica há uma variedade de conceitos para definir bacia hidrográfica, entre eles, destaca-se a definição apresentada por Botelho e Silva (2007) que a consideram como um sistema hidrogeomorfológico concebido como áreas que drenam água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto do canal fluvial. Numa concepção mais geomorfológica, tem-se o conceito apresentado por Lima e Zakia (2007) quando consideram as bacias hidrográficas como sistemas abertos, que recebem energia através dos eventos climáticos e perdem através de deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis independentes, que oscilam em função de um padrão, e mesmo sofrendo influências de ações antrópicas, se encontram em equilíbrio dinâmico.

Teodoro *et al* (2007) ao fazerem uma análise histórica das definições de bacia hidrográfica concordam que existe uma convergência entre os vários conceitos adotados, mas o mesmo não ocorre com as suas subdivisões sub-bacia e micro bacia, que aparecem na literatura com diferentes abordagens, englobando fatores que vão do físico ao ecológico.

Independentemente da discussão teórica em torno do conceito de bacia hidrográfica, esta, é uma unidade espacial considerada por Guerra; Silva; Botelho (1999) como a melhor unidade territorial de investigação, pesquisa e planejamento, devido à possibilidade de estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação. Em relação à sub-bacia hidrográfica como unidade de estudos, Silva e Corrêa (2007) pontuam que a sub-bacia de drenagem é uma unidade espacial compatível com

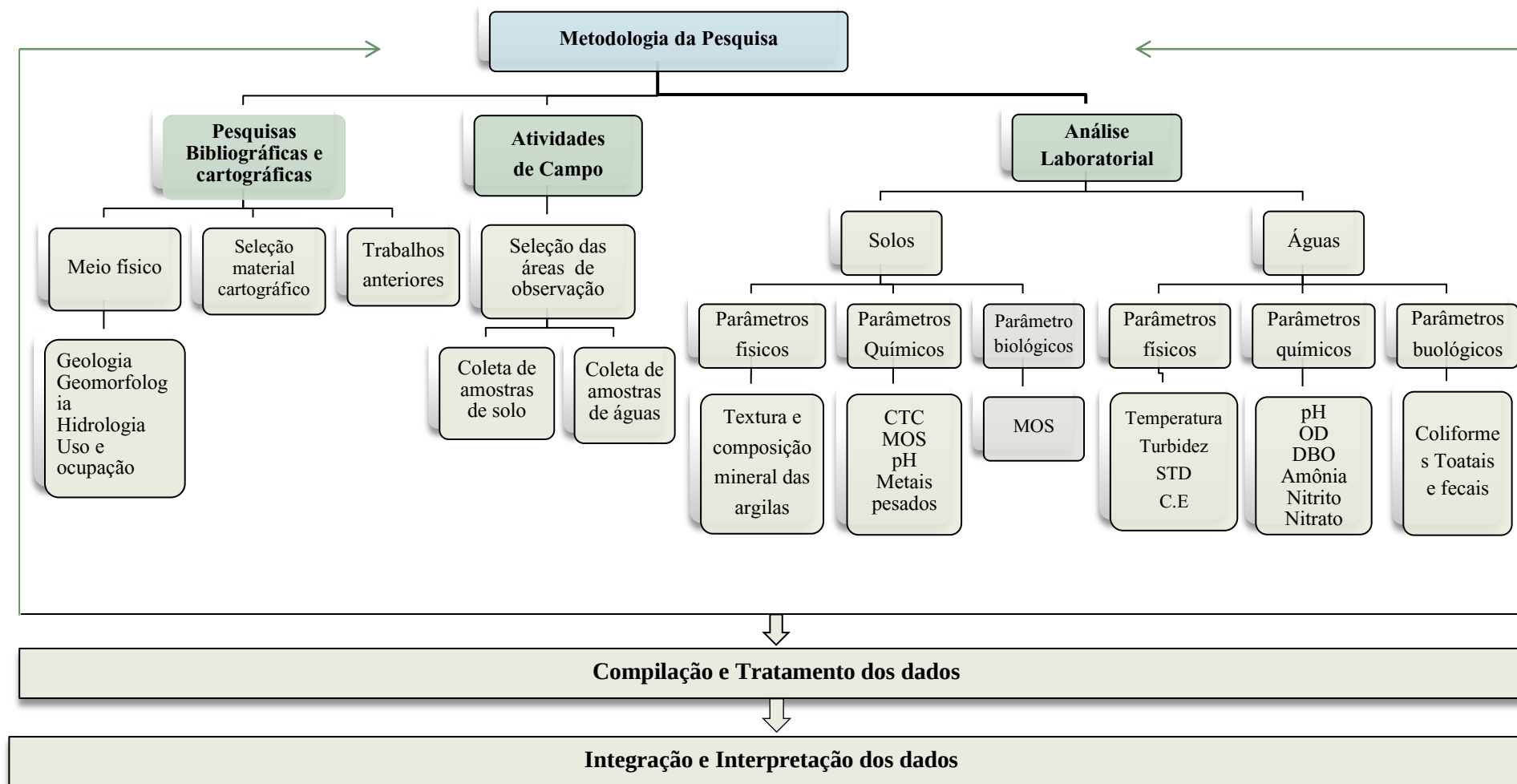
o planejamento em escala local e com a gestão ambiental descentralizada, apresentando dentre outras vantagens, a facilidade de identificação dos seus limites, permitindo uma percepção detalhada de seus fenômenos estruturadores, a possibilidade de tratar sua dinâmica e processualidade de forma sistêmica e a maior facilidade de execução das etapas de implementação de um projeto e avaliação dos resultados, quando comparada a escalas espaciais maiores.

Essas concepções de sub-bacia de drenagem subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho em se aplicou a visão geo-ambiental integrada para compreender e analisar a sub-bacia de drenagem urbana que contempla o aterro controlado de Teresina, com ênfase em sua dinamicidade e inter-relações entre os elementos do potencial ecológico, biológico e social.

5.2 PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS DA PESQUISA

Os indicadores para a análise geo-ambiental em áreas de disposição de resíduos sólidos foram tomados a partir do recorte espacial das sub-bacias, B1 (unidade onde está localizado o aterro controlado de Teresina) e B2 (unidade de controle, localizada ao Sul da sub-bacia 1), considerando-se as mesmas como unidades de organização do espaço, para fins de escoamento de materiais a um vertedouro comum e, portanto, de significado crucial para a compreensão das dinâmicas físico-ambientais, superficiais, de um determinado recorte de paisagem. Este tipo de abordagem metodológica assume a categoria paisagem como elemento para a análise da organização do espaço geográfico, tomando como objetivo da investigação a elucidação de algumas de suas propriedades físicas e químicas que retratam as condições de funcionamento desta unidade. Com esse propósito, o estudo foi conduzido a partir de etapas correntemente articuladas, denominadas: Pesquisas Bibliográficas e Cartográficas; Atividades de Campo, Análise Laboratorial, Compilação e Tratamento dos dados e Integração e Interpretação dos dados, conforme o organograma apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Organograma da metodologia aplicada na pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora, 2015.

5.2.1 Pesquisas bibliográficas e cartográficas

A primeira fase de elaboração da tese consistiu de pesquisas em bibliotecas, institutos e bases de dados que subsidiaram a revisão bibliográfica dos conceitos relacionados ao tema, do meio físico da região e dos métodos que seriam empregados na obtenção dos dados descritos nos objetivos do trabalho. Foram feitos levantamentos de informação em instituições governamentais, tais como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMAR) e Prefeitura Municipal de Teresina (PMT), dentre outras. Também foram consultadas as normas técnicas da ABNT, a legislação ambiental do CONAMA e Ministério da Saúde (MS).

Realizou-se também, a coleta e seleção de materiais cartográficos disponíveis nos órgãos de pesquisa e governamentais, o que permitiu a delimitação da área de estudo, em duas sub-bacias denominadas B1 e B2. Isso proporcionou a observação das formas e nível de ocupação das sub-bacias selecionadas, oferecendo subsídios aos trabalhos de campo, e, posteriormente, à confecção dos mapas gerais e específicos das áreas de estudo.

Após o detalhamento da rede de drenagem, foi possível a identificação e análise das principais propriedades fisiográficas das sub-bacia B1 e B2. Foram analisados as propriedades: área de drenagem (A), densidade de drenagem (Dd) e amplitude topográfica (Hm), que se correlacionam com os processos de escoamento superficial e infiltração, e que também permitiram a elaboração da curva hipsométrica para cada bacia.

5.2.1.1 A área de drenagem (A)

A área de drenagem (A) da bacia, também designada área de contribuição, corresponde à toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, em projeção horizontal, inclusa entre seus divisores topográficos (MACHADO; TORRES, 2012). A área de uma bacia hidrográfica é um parâmetro básico para a obtenção das outras características físicas, podendo expresso em m^2 , hectares ou em Km^2 , cuja medida foi obtida utilizando-se a carta planialtimétrica, SRTM, com apoio dos sistemas de informação geográfica *ArcGIS*

5.2.1.2 Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem corresponde ao comprimento dos canais fluviais, em quilômetros, que drenam uma unidade de área (Km²) de uma bacia hidrográfica, podendo ser descrita pela equação proposta por Horton (1945), citado por Machado e Torres (2012), conforme a equação 1:

$$Dd = L_t \div A \quad \text{equação (1)}$$

- Onde: Dd é a densidade de drenagem; L_t, é o comprimento total dos canais e A é a área da bacia hidrográfica.

Após o cálculo estimado da densidade de drenagem, as duas sub-bacia estudadas, foram qualificadas comparando-se os valores encontrados com a classificação de valores proposta por Beltrame (1994, p.84) que apresenta cinco classes: Baixa (Dd < 0,50 Km/Km²); Moderada (Dd variando de 0,50 a 2,00 Km/Km²); Alta (Dd entre 2,01 e 3,50 Km/Km²) e Muita alta (Dd >3,30 Km/Km²). Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade (CARVALHO *et al.* 2009).

5.2.1.3 A Amplitude topográfica (Hm)

A Amplitude topográfica (Hm) corresponde à diferença entre o ponto mais elevado da bacia hidrográfica e a foz do canal fluvial principal, sendo facilmente visualizada na curva hipsométrica, que é um gráfico que representa a distribuição do relevo de acordo com a sua altitude, indicando a porcentagem de área de drenagem que existe acima ou abaixo de um determinado valor de elevação (OLIVEIRA, OLIVEIRA; CRESTANI, 2011). A definição desse índice é importante pela relação que se estabelece com vários processos hidrológicos como: a infiltração, o escoamento superficial e a umidade do solo.

Com relação ao uso atual da terra e à cobertura vegetal, nas sub-bacia analisadas foram adquiridas imagens de satélite multiespectrais do satélite *Landsat 5* dos anos de 1990, 2000 e 2010, com a finalidade de comparar qualitativamente o crescimento da cidade, principalmente nas proximidades do aterro controlado. Também foram realizadas observações no entorno dos pontos amostrados para identificação de características quanto ao manejo atual

do solo e das espécies vegetais mais frequentes, considerando-se o seu porte, grau de adensamento e sua conservação.

5.2.2 Atividades de Campo

Para os trabalhos de campo foram necessárias várias campanhas com os seguintes propósitos: reconhecimento exploratório das sub-bacias B1 e B2; Identificação e cadastro de poços na área; definição dos pontos de amostragem solo e água; coleta de amostras de solo, água subterrânea e de lixiviados do aterro controlado. Nessa etapa, também foram realizadas observações do entorno dos pontos de amostragem e entrevistas não estruturadas com os moradores, principalmente, para identificar o tipo de uso que fazem da água dos poços na área da pesquisa.

Os pontos de amostragem escolhidos no presente estudo estão localizados no alto, médio e baixo curso das sub-bacias hidrográfica B1(aterro) e B2 (controle), com intenção de verificar o comportamento das características do solo e água nas áreas à montante e à jusante do aterro controlado de Teresina (PI), e ainda a comparação das características do solo e água desta sub-bacia com a de controle. Nesses pontos, fez-se registro fotográfico e utilizou-se o GPS *Garmim 76 CSx* (cedido pela Universidade Federal do Piauí) para a identificação das suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes.

5.2.2.1 Amostragem de solo

As amostras de solo foram coletadas a 0,20 m de profundidade, com auxílio de uma escavadeira, em várias campanhas realizadas entre os meses de outubro e novembro. Foram efetuadas coletas de 14 amostras de solo na sub-bacia B1(aterro) e 3 amostras na sub-bacia B2 (controle), perfazendo um total de 17 amostras. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados e levados para o laboratório de pesquisas minerais do CETEM, em Teresina, onde as amostras foram secas à temperatura ambiente. Em seguida, procederam-se à maceração dos grãos com auxílio do almofariz e pistilo, e à homogeneização e quarteamento das amostras, sendo uma separada para análises químicas, outra para a avaliação granulométrica e as outras duas estocadas para contraprova.

As coordenadas geográficas e os principais aspectos físicos dos pontos de amostragem de solo nas duas sub-bacias (B1 e B2) estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7- Pontos de amostragem de solo nas sub-bacias B1(aterro) e sub-bacia B2 (controle).

Ponto	Amostras	Coordenadas	Altitude (m)	Características do ponto de amostra
1	B1-S1	05° 09' 42,3'' S 42° 44' 44,1' W	102	À montante do aterro controlado.
2	B1-S2	05° 09' 39,6 S 42° 45' 5,5" W	92,41	Material de transbordo usado na cobertura do lixo, antes da selagem.
3	B1-S3	05° 09' 39,6" S 42° 45' 5,4" W	93,37	O solo úmido de coloração se úmido de cor escura, correspondendo à segunda camada do aterro.
4	B1-S4	05° 09' 42,0" S 42° 45' 25,2'' W	104,19	Base do aterro, correspondendo à primeira camada.
5	B1-S5	05° 09' 44,6'' S 42° 44' 54,9' W	102	Margem da lagoa de chorume 1.
6	B1-S6	05° 09' 43,5'' S 42° 44' 56,6'' W	91	Primeira camada do aterro.
7	B1-S7	05° 09' 46,7'' S 42°44' 56,7'' W	100	Perfil do solo com rocha parcialmente alterada a 4, 90 metro do topo.
8	B1-S8	05° 09' 46,3'' S 42°44' 59,7'' W	107	Solo de cobertura da segunda camada do aterro
9	B1-S9	05° 09' 45,7'' S 42°45' 00,5'' W	111	Solo de cobertura da terceira camada de resíduos sólidos urbano.
10	B1-S10	05° 09' 45,8'' S 42°45' 01,9'' W	121 m	Solo de cobertura da sexta camada do aterro.
11	B1-S11	-----	-	Material de selagem a ser utilizado na compactação dos resíduos.
12	B1-S12	05° 09' 36,9'' S 42°45' 23,6'' W	115	Base da área de disposição de resíduos de Serviços de Saúde sem o devido tratamento.
13	B1-S13	05° 09' 32,7'' S 42°45' 02,5'' W	92	Lixão clandestino usado para descarte de resíduo gerado por um abatedouro.
14	B1-S14	05° 09' 36,7'' S 42° 4' 48,8'' W	80	Localizado à jusante do aterro , correspondendo a um Vale de um grotão de escoamento da água pluvial, onde funcionava uma granja.
15	B2-S1	05° 11' 21,2'' S 42° 45' 36,7'' W	124	Cabeceira de drenagem da sub- bacia B1(controle) controle. Posto Shell, Entrada do Bairro Porto Alegre BR 316.
16	B2-S2	05° 11' 04,7'' S 42° 45' 04,7'' W	98	Médio curso da sub-bacia B2 (controle), margem esquerda do córrego, que também serve de fluxo para os esgotos.
17	B2-S3	05° 0,9' 10,5'' S 42° 44' 24,1'' W	87	Baixo curso da sub-bacia B2 (controle)

Fonte: Dados obtidos no Campo, 2014 – 2015.

5.2.2.2 Amostragem de águas subterrânea

Foram realizadas coletas de água subterrâneas em 3 poços existentes na sub-bacia SB1 (aterro), sendo 2 poços de monitoramento situados na área do aterro e um poço à jusante, fora do limite do aterro. cujos pontos de coleta foram denominados B1-P1, B1-P2, B1-P3. Também, foram realizadas coletas de água subterrânea em dois poços da sub-bacia SB2 (controle), nos pontos B2-P1 e B2-P2 (Tabela 8). A coleta de água e efluentes aconteceu em fevereiro e março de 2015. O procedimento de coleta seguiu as orientações contidas no manual de coleta de amostras da CETESB (2011), exceto em relação ao dispositivo de amostragem. Para este trabalho, os amostradores foram construídos com um cano de PVC de aproximadamente 70 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, com uma válvula de PVC acoplada em umas das extremidades e na outra extremidade uma corda fina. Também foram construídos os medidores de nível freático, com canos de PVC de 2 cm de diâmetro e aproximadamente 40 cm de comprimento, em uma das extremidades foi colocado uma tampa de vedação, na qual foi feito um furo e colado um apito, com resina epóxi e nessa mesma extremidade amarrou-se uma linha. Quando a parte inferior do cano entrou em contato com a água subterrânea o apito soou, então marcou-se a linha com uma fita adesiva e depois procedeu-se à medida com uma trena (Fotografia 7).

Fotografia 7 – Imagens da coleta de águas subterrâneas: a) procedimentos de amostragem de água; b) procedimentos de medição do nível freático dos poços



Fonte: autora, 2015

No local da coleta foram medidos os parâmetros pH, temperatura da água, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito e amônia, com uma sonda multiparâmetro Horiba 23-XR, cedida pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI). Também foram coletadas amostras de águas para análises em laboratório. Imediatamente após a coleta, as amostras foram armazenadas em caixas térmicas e, posteriormente encaminhadas ao laboratório de Química e de microbiologia da Universidade Estadual do Piauí, onde foram realizadas as análises, turbidez, cloretos e demanda química de oxigênio. Não foi possível medir o nível freático dos poços B1-P3, B2-P1 e B2-P3, pois os mesmos são fechados por tubulações.

Tabela 8 - Pontos de amostragem de águas subterrâneas de poços das sub-bacias B1(aterro) e B2 (controle)

Pontos	Amostras	Coordenadas geográfica	Altitude (m)	Profundidade do nível freático
1	B1-P1	05° 10' 57,9 S 42° 44' 58,9 W	137,0	4,3 m
2	B1-P2	05° "10' 42,5" S 42° 44' 55' W	93,0	11,4 m
3	B1-P3	05° "10' 35,1" S 42° 44' 52,4' W	87,0	Não determinado
4	B2-P1	05° 11' 24,7" S 42° 44' 55,3' W	128	Não determinado
5	B2-P2	05° 01' 5,4 " S 42° 45' 0,08' W	94,0	Não determinado

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

5.2.2.3 Amostragem de lixiviados do aterro

A coleta de amostras de lixiviados foi realizada na sub-bacia B1 com o objetivo de avaliar os potenciais contaminantes presentes neste material. Foram coletadas amostras de chorume em 4 lagoas localizadas nas proximidades das células de disposição de resíduos, nos pontos denominados B1-L1, B1-L2, B1- L3 e B1-L4. (Tabela 9). De modo semelhante ao processo descrito para amostragem de água subterrânea, foram realizadas determinações no local de coleta, com o uso da sonda multiparâmetro, sendo parte das amostras enviadas ao laboratório de Química e de Microbiologia da Universidade Estadual do Piauí e a outra parte para Universidade Federal do Piauí.

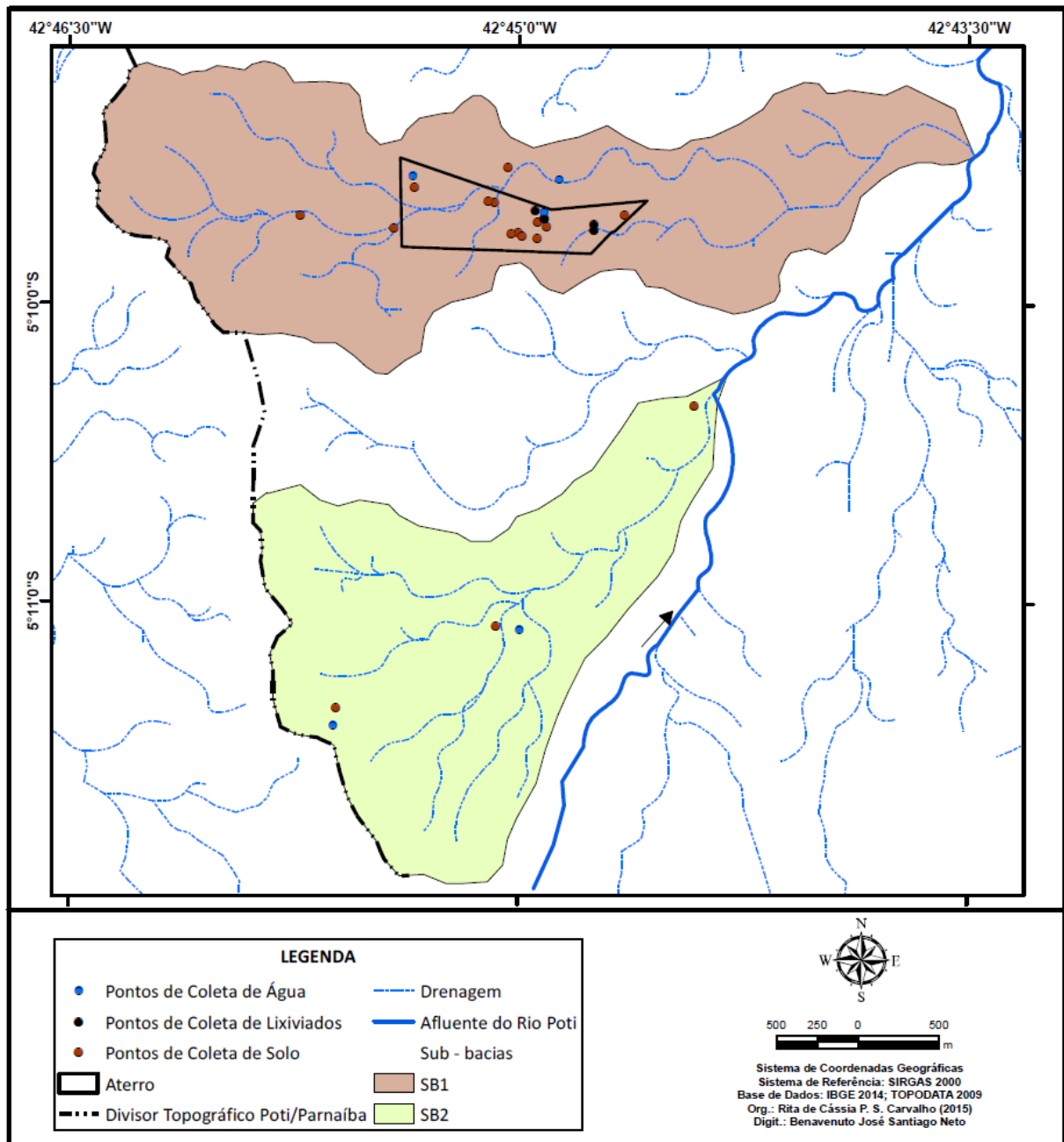
Tabela 9 - Pontos de amostragem de lixiviados do aterro (sub-bacia B1) e de água superficial da sub-bacia B2

Amostras	Coordenadas	Altitude (m)
B1-L1	05° 09' 42,5" S 42° 44' 55,7' W	91
B1-L2	05° 09' 42,9" S 42° 44' 55,3' W	85,0
B1-L3	05° 10' 42,7" S 42° 44' 38,5' W	91,0
B1-L4	05° 10' 42,3" S 42° 44' 39,1' W	85,0
B2-C1	05° 11' 4,3" S 42° 45' 1,0' W	95,0

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

O Mapa 4 apresenta a distribuição espacial dos pontos de coleta de amostras de solos, águas subterrâneas e superficiais e lixiviados nas duas sub-bacias analisadas a B1(aterro) e a B2 (controle).

Mapa 4 - Localização dos pontos de amostragem do solo, água e lixiviados nas sub-bacias B1(aterro) e B2(controle)



5.2.3 Análise Laboratorial

5.2.3.1 Métodos e técnicas utilizadas nas determinações dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo.

5.2.3.1.1 *Ensaio de Granulometria*

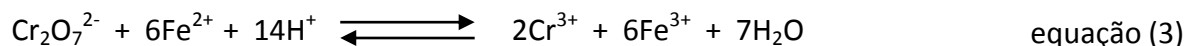
A análise granulométrica foi realizada com base na NBR 7181(ABNT, 1984) em duas etapas: peneiramento a seco e sedimentação (método da pipeta). Para o peneiramento a seco utilizou-se uma massa total inicial de 100g de solo e um conjunto de peneiras de números 6, 10, 28, 48, 65, 200 270 e prato. O solo foi então colocado na peneira de maior abertura, procedendo-se uma agitação manual. Após esse procedimento, foi determinada a massa retida em cada peneira e no prato final.

O ensaio de sedimentação foi realizado para determinar a distribuição granulométrica da fração fina dos solos, ou seja, partículas com diâmetros inferiores a 0,075 mm. Assim, em 20 g de amostras de solo, foram adicionados água destilada e hidróxido de sódio, como dispersante químico. A suspensão permaneceu em repouso por 24 horas, sendo posteriormente levada a um dispersor em um tempo de agitação de 15 minutos.

Após a dispersão a solução foi transferida para uma proveta de 1000 mL, passando antes por duas peneiras de 20 cm de diâmetro com malhas de 0,210 mm (nº 70) e 0,053 mm (nº 270). O material retido nas peneiras foi lavado e colocado em pequenas cápsulas de peso conhecido. O volume da proveta foi completado para 1000 mL. Após 3 horas e 19 minutos, uma alíquota de 10 mL da suspensão foi coletada e transferida para uma cápsula. Todas as cápsulas foram para uma estufa, onde permaneceram por 5 h, a uma temperatura de 105 °C. Depois de secas, as amostras foram pesadas, e os resultados expressos em porcentagem de areia, silte e argila (EMBRAPA, 2011). Para a apresentação dos resultados utilizou-se como recurso o SYSGRAM, para confeccionar o diagrama de Shepard, visto que segundo Hypolito; Andrade; Ezaki, (2011) esse diagrama é o mais indicado para projeções das frações de argila, silte e areia de solos com características sedimentares.

Todos os demais parâmetros determinados nesse estudo foram utilizadas a Terra Fina Seca ao Ar – TFSA, que corresponde a uma fração de solo menor que 2 mm, obtida passando a amostra na peneira nº 10.

íons Fe^{2+} obtidos a partir de uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), conforme equação 3.



O procedimento analítico foi realizado colocando-se 1 cm^3 de terra em um erlemeyer, acrescentando-se em seguida 10 mL de solução $0,167 \text{ mol. L}^{-1}$ de dicromato de potássio, e rapidamente adicionando-se 20 mL do ácido sulfúrico concentrado. Essa mistura foi agitada manualmente por 1 minuto e resfriada por 30 minutos. Posteriormente, adicionou-se 200 mL de água deionizada, filtrou-se e transferiu-se o filtrado para o balão volumétrico de 500 mL, completando o seu volume com água deionizada. Dessa mistura foi retirada uma alíquota de 200 mL e transferida para um erlemeyer de 500 mL, no qual foram adicionados 10 mL de ácido fosfórico e 5 gotas de indicador difenilamina a 1%. Em seguida o excesso de dicromato foi titulado com solução $0,4 \text{ mol. L}^{-1}$ de sulfato ferroso amoniacal, até a viragem de azul para verde. Realizou-se um branco, utilizando-se o mesmo procedimento descrito, porém sem o volume de terra.

A metodologia para o cálculo do teor de matéria orgânica foi realizada, primeiramente determinando a concentração da solução de sulfato ferroso amoniacal padronizada por meio da titulação da prova em branco (equação 4). Em seguida, foi realizado o cálculo da matéria orgânica presentes nas amostras, em conformidade com a equação 5.

$$C_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{10 \times 0,167 \times 6}{V_{br}} \quad \text{equação (4)}$$

Onde :

$C_{\text{Fe}^{2+}}$ → Concentração, em mol.L^{-1} de Fe^{2+} na solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal, para a reação com dicromato de potássio.

V_{br} → O volume de sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação do branco

(10) → Fator multiplicativo correspondente ao volume de dicromato, em mL

(0,167) → Corresponde à concentração da solução de dicromato em mol. L^{-1}

(6) → Número de elétrons transferidos no processo de redução $\text{Cr(IV)} \rightarrow \text{Cr(III)}$

$$M.O = \frac{(V_{br} - V_{am}) \times C_{\text{Fe}^{2+}} \times 0,003 \times 1,33 \times 1,724 \times 1000}{V_{solo}} \quad \text{equação (5)}$$

Onde:

- M.O → Teor de matéria orgânica, em g.dm³
- V_{am} → Volume de sulfato ferroso amoniacal, em mL, gasto na titulação da amostra com solo
- V_{solo} → Volume do solo medido em cm³
- 0,003 → Fator multiplicativo, em g. mmol⁻¹, referente à razão [(0,001 x 12)/ 4], onde. 12 é a massa molar do carbono (g. mol⁻¹), 0,001 é o fator para transformar em g.mmol⁻¹ e 4 é o número de elétrons da oxidação da M.O [C(0)→C(IV), na forma de CO₂];
- 1,33 → Fator de correção para oxidação apenas parcial da matéria orgânica
- 1,724 → Fator proposto por Van Bemmelen, para converter o teor de C orgânico em teor de matéria orgânica.
- 1000 → Fator para transformar cm³ em dm³ de solo.

5.2.3.1.4 Determinação da capacidade de troca catiônica

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$). Assim a sua determinação foi conduzida por várias etapas descritas a seguir:

- I. Extração e determinação da acidez: A acidez do solo é decorrente das concentrações de ($\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$) e a sua extração das amostras de solo foi realizada colocando-se 10 gramas de solo em um erlenmeyer e adicionando-se 150 mL de acetato de cálcio, tamponado a pH 7,0, agitou-se várias vezes movimento circulares e deixou-se decantar por uma noite. Em seguida uma alíquota do sobrenadante foi titulada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol. L⁻¹, usando como indicador a fenolftaleína. (EMBRAPA, 2011).
- II. Os cátions trocáveis: cálcio, magnésio e alumínio – foram extraídos com solução de cloreto de potássio (KCl) a 1 mol. L⁻¹, com procedimento similar ao item anterior. O ensaio para determinação do teor de cálcio + magnésio consistiu em transferir 25 mL do sobrenadante para um erlenmeyer. Adicionaram-se 6,5 mL de solução tampão, pH 10 e 4 gotas de indicador negro de eriocromo e titulou-se com solução 0,0125 mol. L⁻¹ de EDTA (ácido etileno diamina tetra acético). A viragem da coloração de vermelho arroxeado para azul indicou o ponto final da titulação. Com esse procedimento foi possível determinar conjuntamente a concentração desses dois íons, ou seja, ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). A determinação de cálcio foi conduzida transferindo-se uma alíquota do

extrato de KCl para um erlenmeyer, no qual foram adicionados 2 mL de trietanolamina a 50%, 2 mL de KOH a 10% e uma pitada de murexida (indicador) até a viragem da cor róseo para roxo. O teor de magnésio foi obtido subtraindo o teor de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ do teor de cálcio (EMBRAPA, 2011).

- III. O potássio trocável foi extraído das amostras de solo com solução diluída de ácido clorídrico (HCl a 0,05 mol. L⁻¹) e com o sobrenadante foram realizadas leituras no fotômetro de chama, comparando-se com a cor da solução padrão. No fotômetro de chama a solução a ser analisada é atomizada e as minúsculas partículas da solução são projetadas sobre uma chama, ocorrendo uma excitação dos átomos, em outras palavras, acontece o deslocamento de certos elétrons para níveis energéticos mais elevados; quando os elétrons voltam ao nível energético normal, há a emissão da energia absorvida sob a forma de radiação. A intensidade das radiações emitidas num determinado comprimento de onda ($\lambda = 766$ a 767 nm para o potássio), é relacionado com a cor dos elementos quando comparado com a cor da solução padrão. Com esse procedimento pode-se determinar o K⁺ e Na⁺, mas considerando que em solos tropicais o teor de Na⁺ é mínimo, para o cálculo da CTC ele foi desprezado. Com a cor dos elementos quando comparado com a cor da solução padrão. Com esse procedimento pode-se determinar o K⁺ e Na⁺, mas considerando que em solos tropicais o teor de Na⁺ é mínimo, para o cálculo da CTC ele foi desprezado.

5.2.3.1.5 Mineralogia da fração de argilas por difração de raios-X

As análises de Difração de Raios-X foram realizadas para a identificação dos principais minerais argilosos presentes nas amostras de solo estudadas, o que possibilitou inferir se o tipo de mineral presente possuía menor ou maior poder de atenuação de contaminantes. Com esse propósito, as amostras foram peneiradas de modo a obter uma fração menor que 200 mesh, e posteriormente, foram colocadas no porta amostras e levemente pressionados, seguida da análise de difração de raios X, com o uso do equipamento PANalytical, com tubo de cobalto e velocidade do goniômetro de 1°/min. Utilizou-se o software Pert HighScore Plus para identificação dos minerais de argilas nos difratogramas gerados na análise, com o auxílio, das informações contidas no padrão de difração (PDF - Pattern Diffraction Data) .

5.2.3.1.6 *Determinação de metais pesados*

Para determinação de metais pesados nas amostras de solo das sub-bacia estudadas foi utilizada a técnica de Fluorescência de Raio –X, por Dispersão de Energia (ED- XRF) do Laboratório de Ciências dos Materiais do Instituto Federal de Educação Tecnológica (IFPI).

A fluorescência de raios-X (XRF) utiliza sinais de raios-X para excitar uma amostra desconhecida. Os elementos individuais presentes na amostra emitem linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra. Assim, conhecendo-se os ângulos de reflexão e as intensidades dessa radiação é possível, a partir de cristais analisadores e detectores específicos, a determinação qualitativa e quantitativa de todos os elementos constituintes. Quando os espectros de fluorescência de raios X são medidos por instrumentos que funcionam com base no princípio de dispersão de energia, como, por exemplo, o espectrômetro de dispersão de energia (EDS - Energy Dispersive Spectrometer), oferece a vantagem de que todas as frequências que vão compor o espectro de fluorescência são medidas simultaneamente (HIGSON, 2009).

A escolha dessa técnica para determinação de metais pesados em amostras de solo se embasou nas considerações de Higson (2009, p. 170) ao afirmar que as determinações quantitativas com o uso da técnica de fluorescência de raios X são obtidas para elementos mais pesados, com número atômico aproximadamente maior que 40. Isto porque esses elementos possuem elétrons suficientes para gerar transições eletrônicas das camadas mais internas para os orbitais eletrônicos de valência mais externos, que correspondam à absorção/emissão da radiação de raios X. Também, levou-se em consideração a versatilidade que a técnica oferece, a não necessidade de qualquer preparação da amostra e a rapidez da análise. Desse modo, os ensaios de fluorescências de raios – X por dispersão de energia (ED- XRF) foram realizados com fração de solos menor que 0,074 mm, sem nenhum tratamento, apenas colocando a fração do solo no porta amostra e procedendo-se a leitura no aparelho Epsilon 3XL X-ray Spectrometers da PANalytical.

5.2.3.2 Métodos e técnicas utilizadas nas determinações dos indicadores físico, químico e biológicos das águas.

As análises físico-químicas das águas subterrâneas de 4 poços da sub-bacia B1(aterro) e 2 poços da sub-bacias B2 (controle), os lixiviados de 3 (três) Lagoas do aterro (sub-bacia B1) e a água superficial de 1(um) córrego da (sub-bacia B2), foi utilizada a sonda multiparâmetros da marca Horiba® modelo w-22XD.23XD., na determinação das variáveis Temperatura, Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Nitrito, Nitrato e Amônia, que foram realizadas, diretamente no campo, após a coleta das amostras.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) foi determinada pelo método Respirômetro, descrito por Macêdo (2003) e realizada no Laboratório de Bromatologia do Instituto Federal de ensino Tecnológico do Piauí – IFPI. Para as determinações de concentrações de Cloretos utilizou-se o método colorimétrico de Mohr (BRASIL, 2013) , sendo a mesma realizada no laboratórios de Tecnologia Mineral (CETEM) localizado no campus Poeta Torquato Neto da Universidade Estadual do Piauí (UESPI).

Na análise microbiológica as amostras de águas e lixiviados foram realizadas no Núcleo de Estudos, Pesquisas e Processamento de Alimentos (NUEPA), localizado no campus Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Os parâmetros microbiológicos analisados foram: Coliformes Totais (CT), *Escherichia Coli* (E. Coli) e Bactérias Heterotróficas Mesófilas. A determinação de Coliformes Totais e *Escherichia Coli* (E. Coli) foram feitas através do método do substrato cromogênico Colilert (sistema patenteado por IDEXX Laboratories), seguindo-se às normas descritas pelo fabricante. Para a quantificação de bactérias heterotróficas mesófilas utilizou-se o meio de cultura “Plate Count Agar” (PCA), seguida por semeadura em profundidade com incubação de 35 °C por 24 h. (SILVA, 2010)

Os valores de máximos permitidos para os indicadores de qualidade de água subterrânea, e apresentados na Tabela 10 embasaram as análises dos indicadores de qualidade das águas e efluentes de aterro encontrados na nessa pesquisa. Para os parâmetros não definidos pelo CONAMA, fez-se o uso dos valores de referência estabelecidos pelo CETESB (2009).

Tabela 10 - Valores máximos permitidos das variáveis físico químicas de qualidade de águas subterrâneas e superficiais

	Águas doces e efluentes Conama 357/05 430/11			Água subterrânea Conama 396/08 Classe 2	Padrão de abastecimento Portaria 2914/11 VMP
	Efluente final	Classe 2	Classe 3		
Temperatura (° C)	≤ 40	—	—	—	
Turbidez (UNT)		100	100	—	1,0
Condutividade elétrica (μS.cm-1)	—	—	—	—	-
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg/L)	—	≤ 500	≤ 500	—	-
pH	—	6 a 9	6 a 9	—	-
Oxigênio Dissolvido- OD (mg/L)	—	≥ 5	≥ 4		-
DBO ₅ ^{20° C} (mg/L)	120,0	≤ 5	≤ 10	—	-
Cloretos (mg/L Cl)	—	≤ 250	≤ 250	—	250
Nitrato (mg /L)		≤ 10	≤ 10	-	10
Nitrito (mg/L)		≤ 10	≤ 10	-	1
Amônia (mg/L)		2,0 para pH entre 7,5 e 8,0	5,6 para pH entre 7,5 e 8,0	-	1,5
Coliformes Totais	-	5.000	20.000	—	Ausência em 100 mL
Coliformes Fecais	-	1.000	4.000	-	Ausência em 100 mL

Fonte: (BRASIL, 2011, 2012).

5.2.4 Confecções dos mapas

A rede de drenagem e as sub-bacias foram extraídas da imagem SRTM/TOPODATA, com resolução espacial de 30 m, dentro da plataforma SIG do *ArcGIS* com o auxílio do pacote de ferramentas de análise espacial hidrológica chamado *Hydrology*. A partir da extração da rede de drenagem, as sub-bacias foram delimitadas, em seguida realizou-se a elaboração de diversos mapas temáticos através da sobreposição de arquivos vetoriais no formato *shapefile* dentro do ambiente SIG do *ArcGIS* 10.1.

O mapa de adequabilidade à construção de aterros em função da proximidade dos canais foi gerado a partir da sobreposição do arquivo da rede de drenagem, sobre esta, por meio da utilização da ferramenta *buffer* do *ArcGIS* estabeleceu-se uma distância de 200 m da linha de drenagem, sendo esta correspondente à faixa considerada inadequada para a

construção de aterro. O mapa de adequabilidade em função da declividade foi construído a partir da imagem SRTM/Topodata (INPE, 2010) com curvas de nível de 30 m de equidistância, interpoladas a 90 metros, criando-se faixas de declividades adequadas ou inadequadas à construção de aterros, conforme a NBR 13.896 (ABNT, 1997)

Os mapas de isovalores foram confeccionados em ambiente ArcGis mediante a interpolação por krigagem dos valores relativos à concentração de metais pesados e contaminantes na camada superficial do solo, dos pontos de amostragem devidamente georreferenciados. As isolinhas interpolam a hipotética diferença entre valores encontrados para a sub-bacia B1, e a sub-bacia de controle.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é dedicado aos resultados da pesquisa, e para conferir uma melhor organização aos temas abordados, o mesmo está estruturado em três partes. A primeira consiste de uma caracterização da sub-bacia de drenagem, em cuja área está instalado o aterro controlado de Teresina, PI, que foi conduzida por meio da comparação desta, com a sub-bacia de controle. A segunda parte está dedicada a uma caracterização dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e água nos contextos analisados, e a terceira e última parte é destinada às correlações entre as diversas variáveis investigadas na busca de compreensão da qualidade ambiental da sub-bacia de drenagem, enquanto um sistema holístico.

6.1 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE TERESINA E A DINÂMICA DE OCUPAÇÃO NO ENTORNO DO ATERRO CONTROLADO

A cidade de Teresina teve seu início em 1852, quando foi instituída a nova capital do Estado do Piauí. Inicialmente, a cidade foi projetada pelo Conselheiro José Antônio Saraiva, a partir de “[...] um rígido formato de xadrez com ruas paralelas partindo do rio Parnaíba, a Oeste, em direção ao rio Poti, contendo um espaço urbano inicialmente delimitado por 18 quadras no sentido norte-sul e 12 sentido Leste-Oeste” (LIMA 1996, p.18). Segundo Nascimento (2010), durante os 100 primeiros anos da criação de Teresina a cidade permaneceu estagnada, com moradias de palhas espalhadas pelas periferias, carentes de infraestrutura básica de saneamento.

O processo de urbanização se intensificou a partir da década de 1960, quando a população urbana ultrapassou o dobro da população rural, podendo esse crescimento ser observado pelos dados apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - População de Teresina no período de 1940 a 2010

Anos	População Total	População Urbana	População Rural	Taxa de crescimento (%)
1940	67.641	34.695	32.946	-
1950	90.723	51.417	39.306	34,12
1960	142.691	98.329	44.362	57,28
1970	220.487	181.062	39.425	54,52
1980	377.774	339.042	38.732	71,34
1991	599.272	556.911	42.361	58,63
2000	655.473	613.767	41.706	9,38
2006	715.360	677.470	37.890	9,14
2007	779.939	735.164	44.775	9,03
2010	814.230	767.557	46.673	25,88

Fonte: IBGE, 2010b; TERESINA, 1993, organizado pela autora.

A evolução espacial da capital foi guiada, principalmente, pela Implantação do Programa Nacional de Construção de Estradas - a partir da década de 1960, e Políticas Públicas de investimentos em saúde, educação, energia elétrica, abastecimento de água e habitação popular implantadas na década de 70 (BATISTA, 2006; OLIVEIRA, 2012). Também não se pode deixar de contemplar um outro fator histórico, o fluxo migratório campo-cidade, que teve sua parcela de contribuição para um incremento na população urbana, tanto do Estado do Piauí, como da sua capital. Façanha (1998) faz essa reflexão afirmando que:

O processo de urbanização do Piauí acentuou-se na década de 1950, tendo a cidade de Teresina a sua maior expressão urbana. Na década de 1960, verificou-se um acentuado processo de urbanização, com aumento do fluxo migratório campo-cidade e o consequente assentamento das populações [...], de forma não planejada. Espaços vazios foram sendo ocupados progressivamente, determinando um quadro marcado por **profundas contradições sociais** (FAÇANHA, 1998, p. 69, grifo nosso).

As ações e políticas efetivadas contribuíram para que a cidade se tornasse um polo de atração populacional, quando em meados dos anos 80 a população urbana alcança os 339.042 habitantes, contra 38.732 habitantes da zona rural (TERESINA, 2000). O rápido crescimento populacional foi responsável por um expressivo déficit habitacional que veio acompanhado do processo de exclusão social, como ocorria em outras capitais brasileiras (VIANA, 2013).

Nesse contexto, o Governo Federal coloca em prática a política habitacional no país, criando, em 1964, o Banco Nacional de habitação (BNB) e o Serviço Federal de Habitação

(SFH) objetivando a construção de conjuntos habitacionais populares. Em 1967, Teresina foi contemplada com a construção de 05 conjuntos habitacionais, totalizando 2.950 unidades. Essa política habitacional continuou, com maior ou menor intensidade, nas décadas subsequentes, sendo construídas 7.043 unidades, na década de 70 e 23.862 unidades habitacionais, na década de 80 (LIMA, 2010; VIANA, 2013). Na década de 90, a crise no setor habitacional inibiu a produção de habitações destinadas à população de baixa renda, sendo construídas apenas 347 unidades habitacionais nas zonas Norte, Sul e Sudeste do município. No período de 1995 a 2000, a então Companhia de Habitação do Piauí (COHAB-PI) readquire sua capacidade produtiva por meio de parcerias com a iniciativa privada (pelo sistema de autofinanciamento), pelo sistema de Autogestão (construção contratada pelo adquirente com utilização do FGTS), e por meio de recursos públicos estaduais (IAPEP) e federais (Habitar Brasil) (VIANA, 2013).

É inegável que a ampliação da ocupação do espaço urbano contribuiu também para o aumento de vilas e favelas na cidade. O Censo de Vilas e Favelas de 1999 realizado pela Prefeitura Municipal revelou a existência de 150 vilas e favelas com 37.820 domicílios, onde residiam 38.852 famílias, perfazendo uma população de 133.857 habitantes que em geral residiam em habitações precárias, em áreas de risco ou em terrenos irregulares, sem arruamento definido, sem saneamento básico, com carências de equipamentos urbanos e de serviços públicos de uso coletivo, ocorrendo o agravamento das condições de vida dessa população socialmente excluída. (TERESINA, 2000).

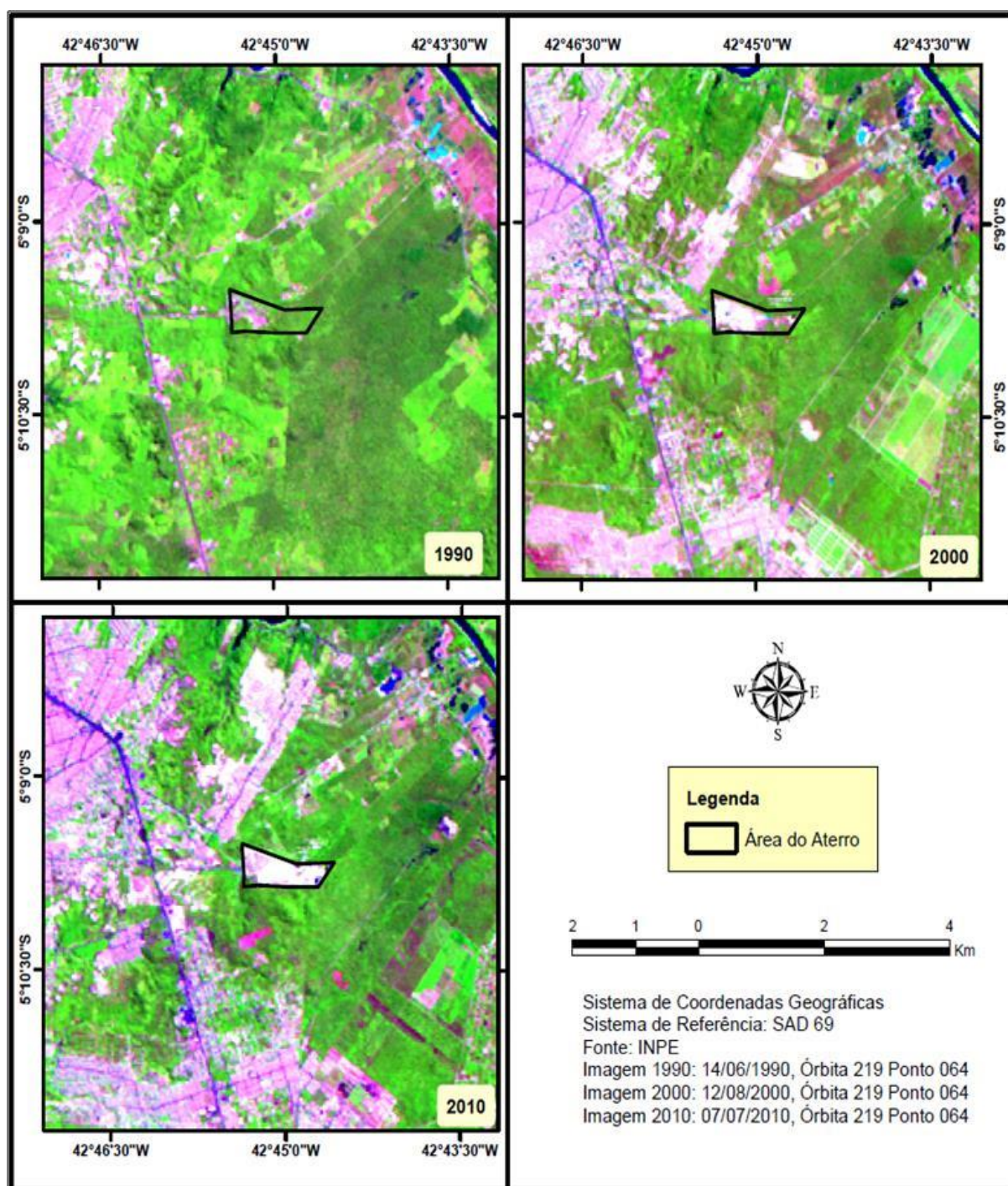
Esse mesmo documento destaca a Zona Sul como uma região com maior número de vilas e favelas, visto que no ano de realização da referida pesquisa foram identificadas 45 vilas, o que correspondia a 30% do total de vilas e favelas presentes no município. Destaque-se, ainda que, algumas dessas vilas ocupavam o entorno do aterro controlado, como é o caso do Bairro Santo Antônio em que foram levantadas 10 vilas e favelas, cuja média de domicílios por núcleo era de 156 unidades, tendo destaque o Parque Dagmar Mazza, com 455 unidades e a Vila São Francisco I, II e III, com 195 unidades (TERESINA, 2000).

Em 2010, Teresina alcança uma população aproximada de 814.339 habitantes, com 767.777 habitantes residindo em área urbana (94,27%) e 46.662 habitantes vivendo na zona rural (5,73%). Nesse período, a Agência de Desenvolvimento Habitacional (ADH - PI), passou a contar com nos recursos do Pró-Moradia, vinculado ao FGTS e ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), disponibilizando 1320 unidades habitacionais à população

teresinense (VIANA, 2013). Ainda assim, o IBGE contabilizou a carência de 31.731 moradias no município no ano de 2010 (IBGE, 2010b).

No Mapa 5, são apresentadas as imagens de satélite *Land Sat* dos anos de 1990, 2000 e 2010, referentes à área de estudo, na qual é possível observar a dinâmica de incremento da urbanização no entorno do aterro controlado de Teresina.

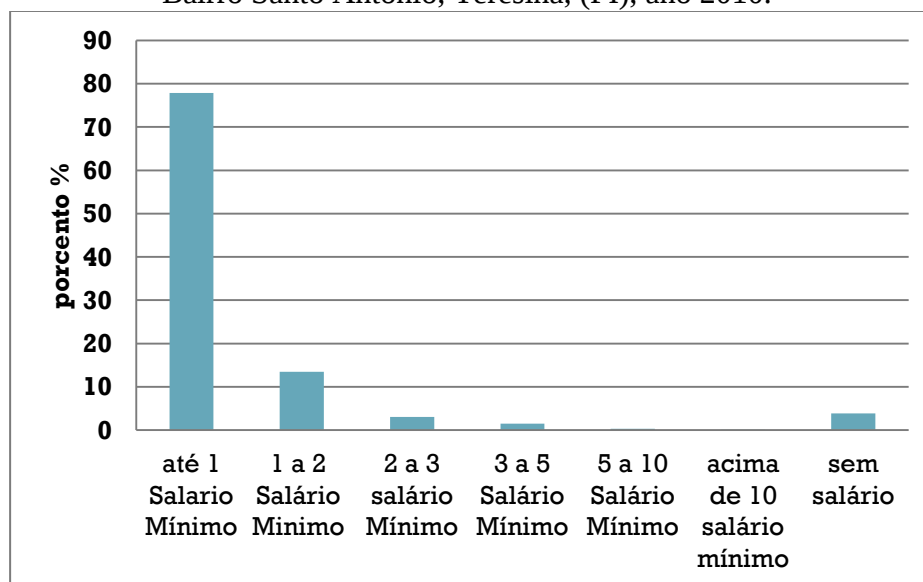
Mapa 5 - Imagens de satélite *Land Sat* da área do aterro controlado de Teresina (1990-2010)



Fonte: INPE, 2013, organizado pela autora.

Como se percebe, é alta a tendência de crescimento urbano na direção do vetor Sul da cidade. Entre os anos de 2000 e 2010 se consolida a ocupação no entorno do aterro controlado de Teresina, sendo o Bairro Santo Antônio o de maior contingente populacional. Segundo dados da publicação *Teresina em Bairros* da Prefeitura Municipal, o referido bairro possuía em 2010, uma população de 21.879 habitantes distribuída em 6.088 domicílios, com média de 3,59 moradores por domicílios e rendimento médio domiciliar de R\$ 836,00 (oitocentos e trinta e seis reais). Do total de domicílios, 77,84% possuem renda mensal de até 1 salário mínimo e 3,87% dos domicílios sem nenhum rendimento, conforme demonstra o Gráfico 5 (TERESINA, 2013a).

Gráfico 5 - Porcentagens de domicílios por faixa de rendimento médio mensal, Bairro Santo Antônio, Teresina, (PI), ano 2010.



Fonte: Teresina, 2013c, organizado pela autora.

O processo de crescimento e expansão urbana das cidades - em países em desenvolvimento como o Brasil - é extremamente excludente, sendo a população de menor renda mais afetada, que passa a ocupar as áreas periféricas em que as moradias possuem menor valor imobiliário e em muitos casos essa ocupação ocorre através dos loteamentos produzidos para famílias de baixa renda, ou mesmo por ocupação irregular desprovida de adequada infraestrutura em áreas impróprias para o estabelecimento humano - como é o caso de residências a menos de 500 metros do limite de um aterro de resíduos sólidos. As Fotografia 8 e 9 ilustram alguns dos problemas de ordem estrutural no Bairro Santo Antônio, detectados em campo no ano de 2014.

Fotografia 8 – Imagens de ruas sem pavimentação, destacando a presença de esgotos a céu aberto, Bairro Santo Antônio, Teresina, PI



Fonte: Autora da pesquisa, 2014.

Fotografia 9 – Imagens destacando problemas de escoamento de águas pluviais em ruas do Bairro Santo Antônio, Teresina, PI.



Fonte: Autora da pesquisa, 2014.

Embora a região circunvizinha ao aterro controlado esteja em gradual e contínuo processo de ocupação, há uma considerável quantidade de ruas não pavimentadas e sem um sistema de captação de esgoto doméstico, colocando essa comunidade numa condição de vulnerabilidade socioambiental, pois coexistem riscos ambientais e a população em situação de vulnerabilidade social.

6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSIOGRÁFICAS DAS SUB-BACIAS B1 (ATERRO) E B2 (CONTROLE)

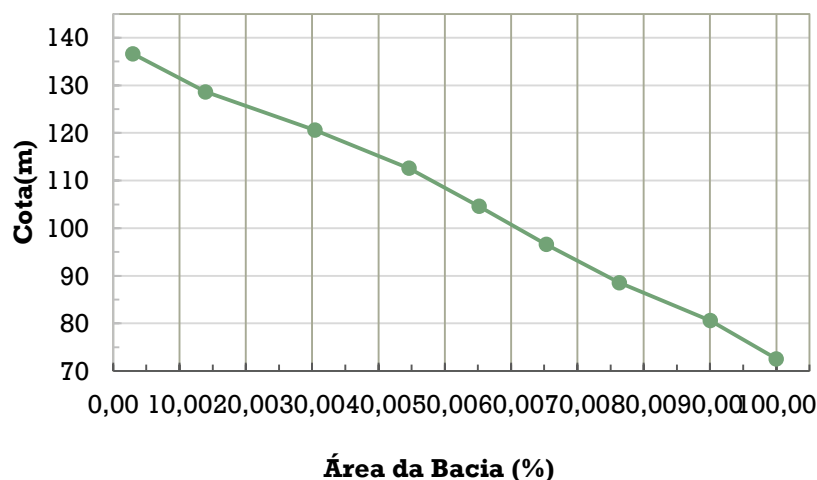
6.2.1 Sub-bacia B1 (aterro)

A sub-bacia B1 localiza-se na zona sul de Teresina, em uma região de gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 142 m, junto às cabeceiras, aos 70m em sua foz, tendo sua porção no interior da área urbana do município. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de um dos grandes afluentes da margem esquerda do rio Poti uma bacia maior, que demanda o rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município. O Bairro Santo Antônio ocupa cerca de 20% da sub-bacia I, enquanto que o Aterro Controlado Municipal para descarte de lixo urbano ocupa aproximadamente 10% da área da sub-bacia (Gráfico 6).

A sub-bacia BI apresenta forma retangular, um perímetro de 14,224 Km e uma área de drenagem de 5,78 Km². Possui uma densidade de drenagem de 2,59 Km/Km², valor que segundo Beltrame (1994) identifica uma alta densidade de drenagem, neste caso, influenciada tanto pelo tipo de solo predominante, o latossolo, quanto pela topografia.

A amplitude topográfica (Hm) pode ser facilmente visualizada na curva hipsométrica (Gráfico 6), sendo a maior altitude de 140 metros e a menor de 68 metros, perfazendo uma diferença (Hm) de 72 metros. Em termos absolutos essa amplitude parece pequena, no entanto, como a extensão entre esses dois pontos, também, é pequena, o gradiente torna-se grande, identificando maior declividade da bacia hidrográfica do que a da drenagem que é identificada pelo perfil longitudinal do rio principal da drenagem, em cujo vale se encontra o aterro controlado de Teresina.

Gráfico 6 – Curva Hipsométrica da Sub- bacia B1 (aterro)



Na sub-bacia B1 observou-se uma área considerável de solo exposto, correspondendo a cerca de 20% da área total, decorrente da abertura de áreas de exploração mineral (seixos e areias), algumas já abandonadas e outras em funcionamento (Fotografia 10). A exposição de solo nu, sobretudo nas proximidades das cabeceiras da bacia, contribui sobremaneira para o avanço do processo erosivo na área, e consequente colmatação dos cursos de drenagem, configurando uma área intensamente impactada pelas ações antrópicas.

Fotografia 10 – Imagens de terrenos expostos na sub-bacia B1 decorrente da atividade mineradora.



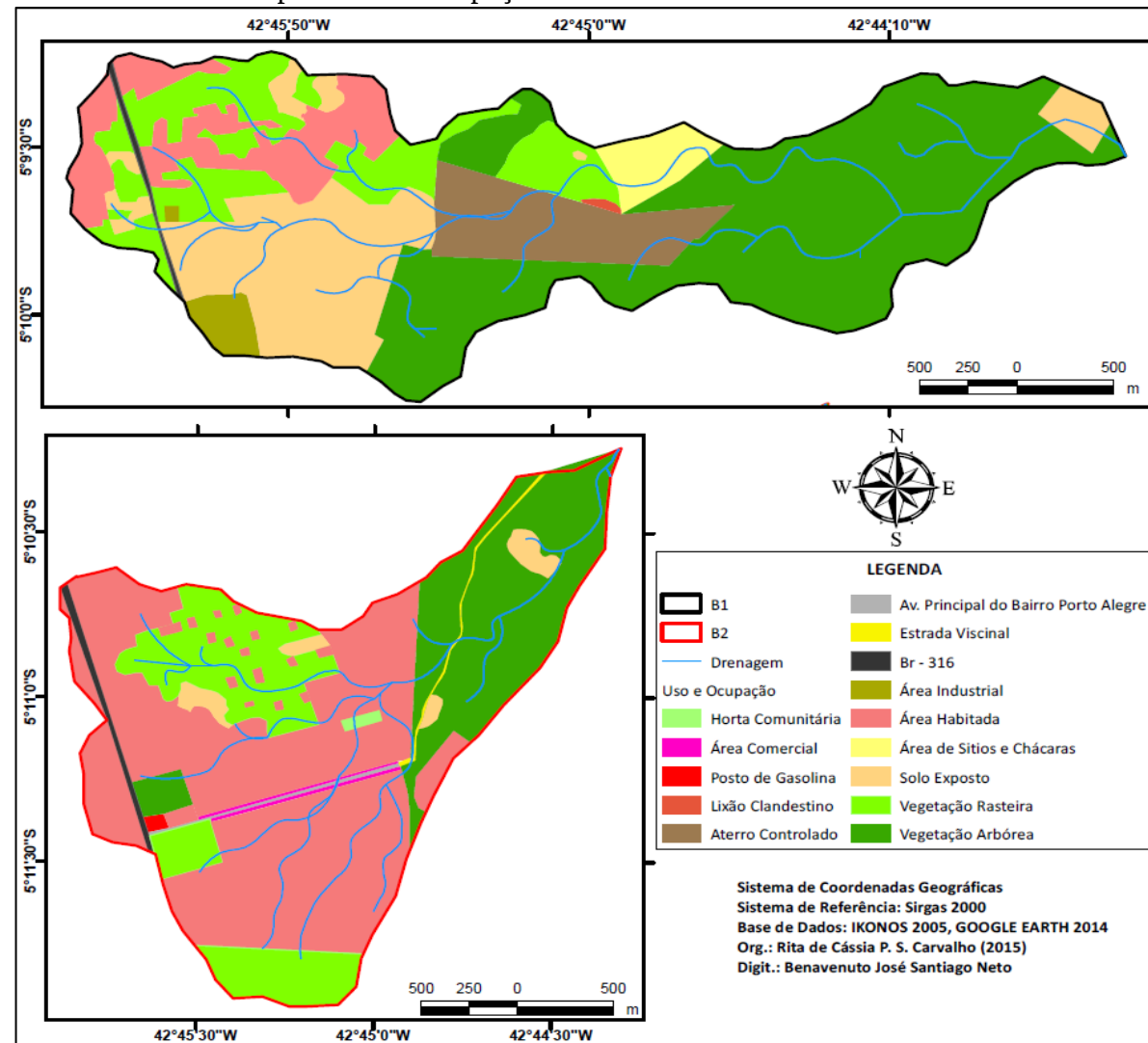
Fonte: Autora da pesquisa, 2014

Esta sub-bacia apresenta baixa urbanização, sendo observável uma maior ocupação na sua porção noroeste. Ao longo do seu médio e baixo curso a ocupação é bastante rarefeita,

com a presença de alguns sítios, onde há um predomínio de vegetação secundária remanescente. (Mapa 6)

Na sub-bacia hidrográfica B1 área de cobertura arbórea, a jusante do aterro, é maior do que na sub-bacia B2 (de controle), porém, em termos dessa cobertura, são relativamente, semelhantes, no baixo curso das sub-bacias analisadas.

Mapa 6- Uso e ocupação da terra nas sub-bacias B1 e B2.

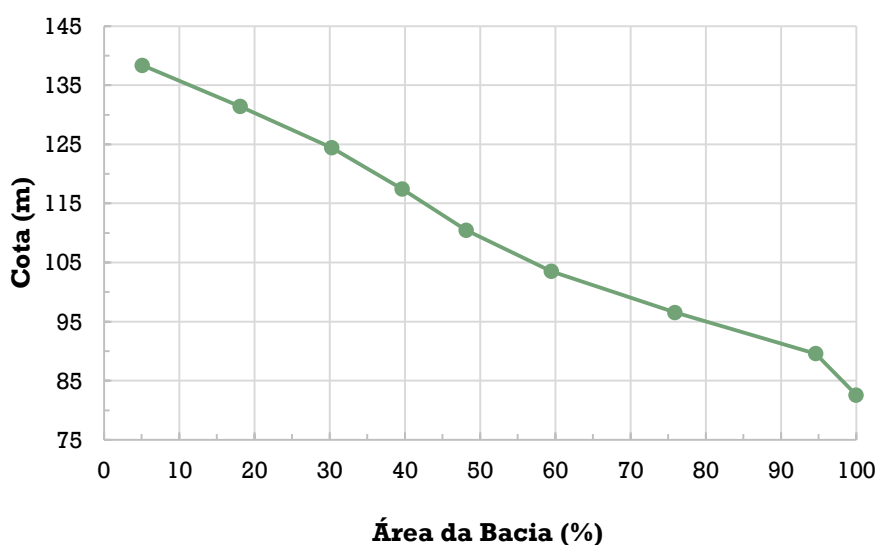


6.2.2 Sub-bacia B2 (Controle)

A sub-bacia B2 (controle) possui características físicas semelhantes à sub-bacia B1. Localiza-se na zona sul da Teresina e está parcialmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente alto com cotas que variam dos 142 m, junto à cabeceira, aos 70 m, na foz, desaguando em uma bacia maior, tributária da margem esquerda do rio Poti (Gráfico7).

Esta sub-bacia possui uma forma triangular, indicando uma pequena tendência à inundação, uma vez que a drenagem converge para um ponto situado próximo ao eixo central da bacia. O perímetro da sub-bacia B2 é de 10,34 km, com uma área de 4,34 Km² e uma alta densidade de drenagem, correspondendo a 2,79Km/Km². A amplitude topográfica (Hm) é de 72 metros (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Curva Hipsométrica da sub-bacia B2 (Controle)



Com relação ao uso do solo, constata-se uma intensa urbanização na zona central da sub-bacia, sendo essa ocupação realizada ao longo de várias rupturas artificiais do relevo, por meio da criação de patamares de ocupação, o que produz a falsa impressão de superfícies planas. Os knick-points residuais situados entre os patamares urbanizados são eventualmente desestabilizados durante a estação chuvosa, configurando-se em risco potencial à população (Fotografia 11). A ocupação é mais rarefeita no baixo curso, onde foi possível observar áreas vegetadas, principalmente nas margens dos cursos d'água (Mapa 5).

Fotografia 11 – Imagem da Avenida Ayrton Sena, Bairro Esplanada, destacando os patamares de ocupação na sub-bacia B2 (controle)



Fonte: a autora, 2014.

Nas observações de campo verificou-se que alguns canais de drenagem foram retificados e seus taludes impermeabilizados. Consequentemente nos trechos artificializados e sob o domínio das estruturas de contenção de concreto, a erosão é mínima embora o fluxo ganhe velocidade. Além disso, os esgotos domésticos brutos são lançados diretamente nesses canais.

6.2.3 Adequabilidade das sub-bacias à construção de aterros de resíduos sólidos

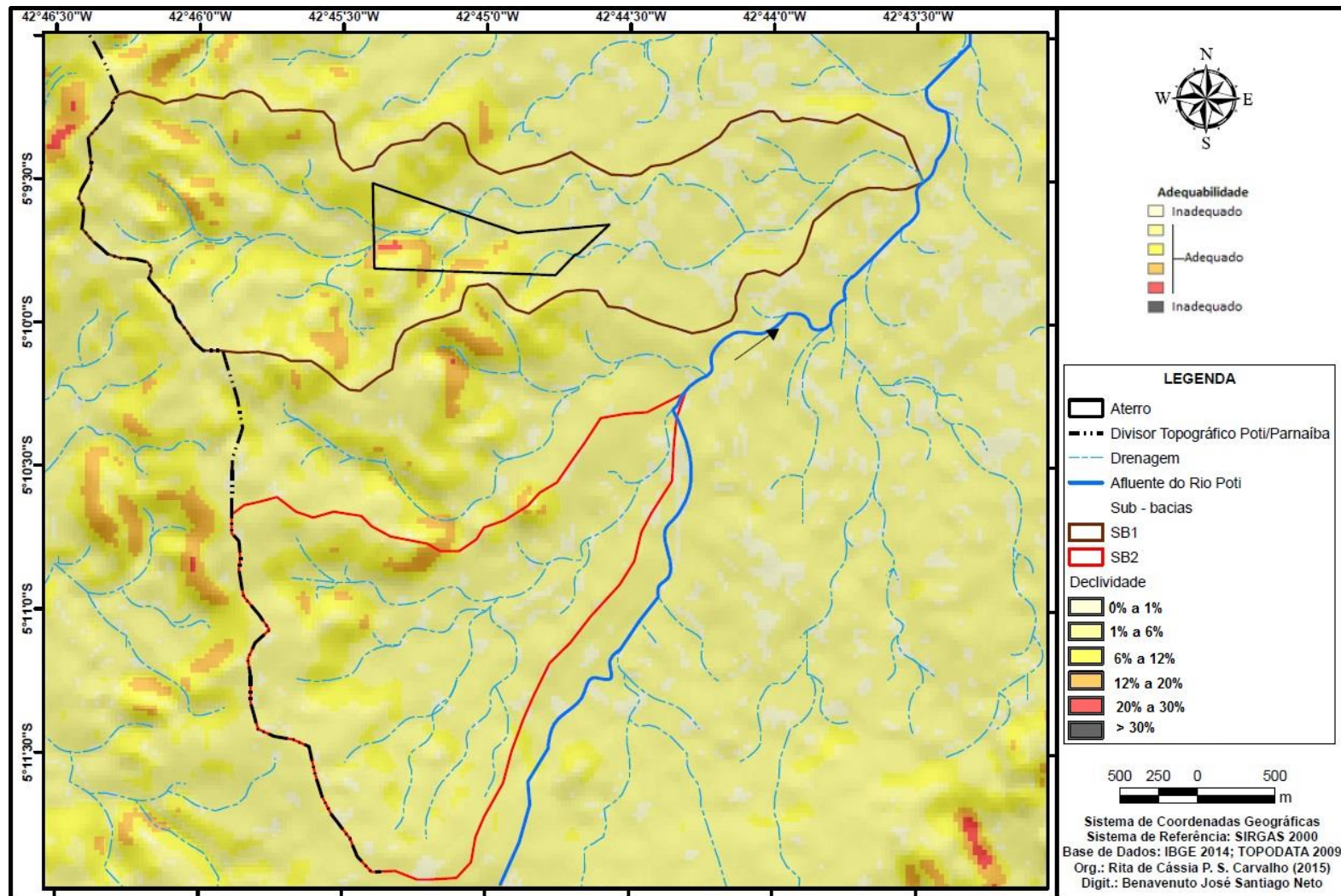
Os resíduos sólidos urbanos ao serem inadequadamente depositados no solo geram novos ambientes, denominados tecnogênicos, alterando a paisagem em todos os seus aspectos, principalmente o relevo e os corpos hídricos. Como já abordados no capítulo 2, as formas adequadas de disposição final dos resíduos sólidos gerados são os aterros sanitários, cuja construção segue, dentre outros critérios, os geológicos, geomorfológicos e pedológicos (ABNT, 1997).

A declividade é um dos critérios estabelecidos pela norma da ABNT NBR 13.896/97 a ser considerada em áreas de implantação de aterros de resíduos sólidos não perigosos. Áreas

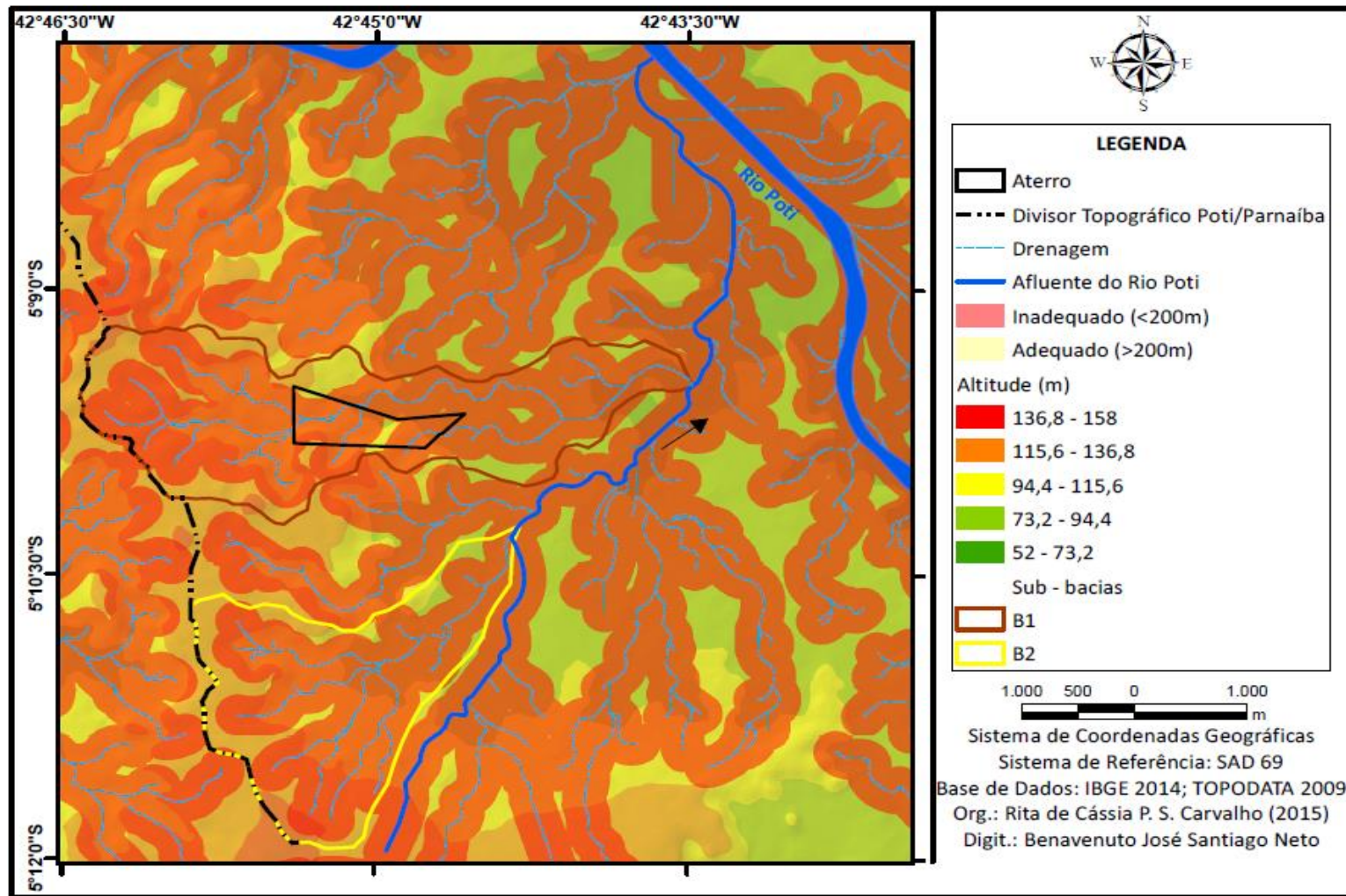
com declividades abaixo de 1% e acima de 30% são impróprias à construção de aterro. Observando a carta clinográfica, contemplando as duas sub-bacias B1 e B2. No Mapa 7 observa-se a predominância de baixas declividades, normalmente inferiores a 30%, e superiores a 1%, configurando numa condição de adequabilidade à construção de aterros sanitários.

No entanto, quando se considera o critério de distância mínima de 200 metros do aterro aos corpos d'água, observa-se no Mapa 8 que o aterro controlado de Teresina, na sub-bacia B1, possui a maior parte da sua área fora dos padrões estabelecidos pela Legislação, ou seja, o aterro encontra-se em sua maior parte dentro da faixa dos 200 metros da área de proteção obrigatória. Além do mais, destaca-se que a posição do aterro na bacia hidrográfica se dá no seu médio curso, nos vales dos rios, e não nas altas encostas.

Mapa 7 – Carta de adequabilidade à construção de aterros, conforme o critério declividade estabelecidos pela NBR 13. 896/1997 da ABNT.



Mapa 8 – Carta de adequabilidade à construção de aterros, conforme o critério da distância dos cursos hídricos, estabelecidos pela NBR 13.896/1997 ABNT.



6.3 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DAS SUB-BACIAS B1 (ATERRO) E B2 (CONTROLE)

6.3.1 Atributos físicos dos solos

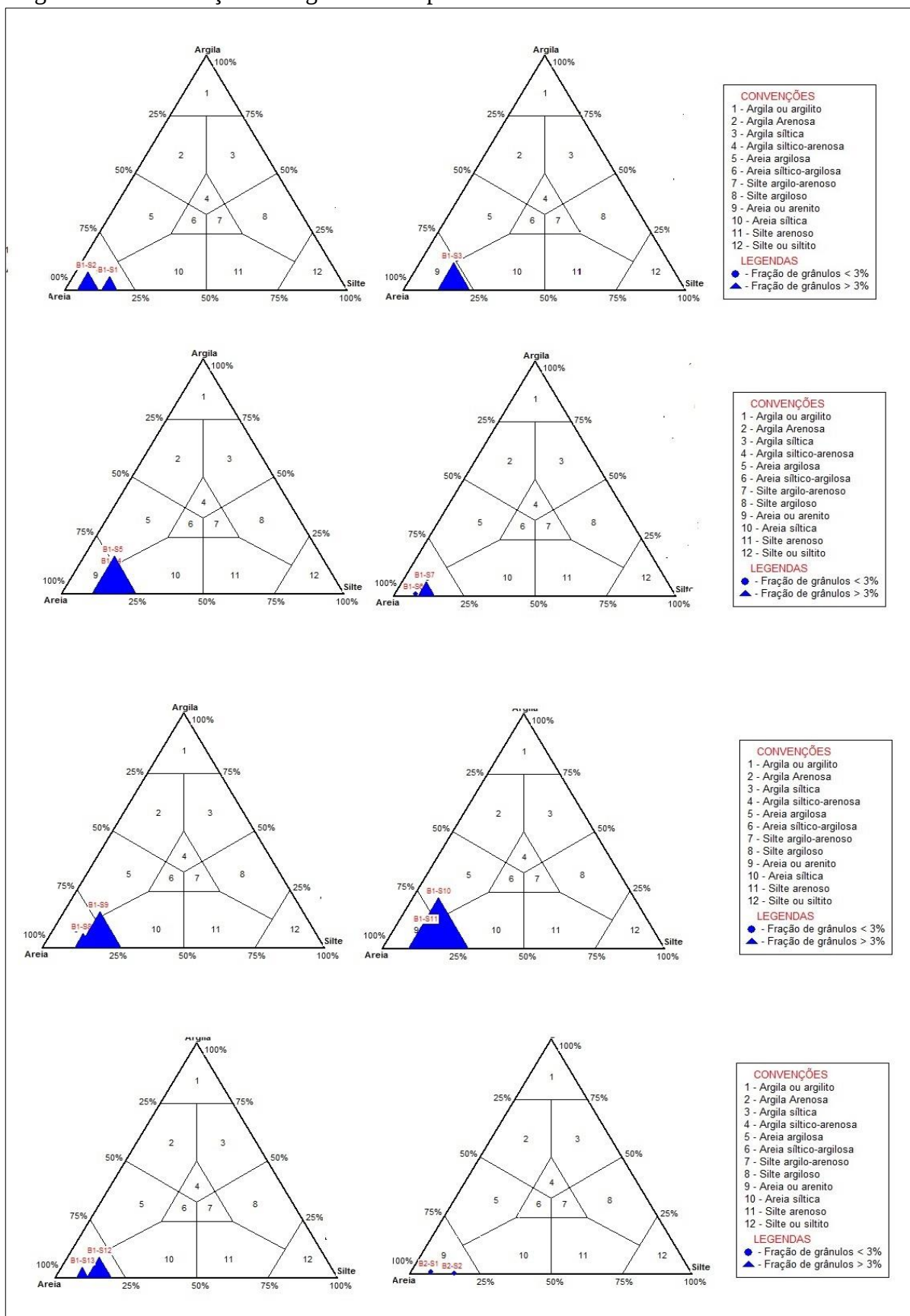
A classificação Textural das amostras de solos das sub-bacias B1 e B2 foi realizada conforme a classificação triangular de Shepard (1954 apud Cruz et al., 2013). Os diagramas triangulares são de grande aplicação em estudos de sedimentologia, pois, além de representam atributos granulométricos também representam características mineralógicas (SANTOS 2011; CRUZ et al., 2013). Os ensaios granulométricos permitiram a definição das porcentagens em peso de cada fração do solo em relação à massa total da amostra, que foram plotados no software SYSGRAN, gerando os diagramas de classificação apresentados na Figura 7, na página seguinte.

Os diagramas triangulares da figura 7 indicam que todas as amostras de solo das sub-bacia B1(aterro) e B2(controle), são classificadas como areia ou arenitos e que as amostras B1-S1, B1-S5, B1-S9 e B1-S11 da sub-bacia B1(aterro) também apresentaram uma porcentagem de areia argilosa e areia siltica. Chama-se a atenção para a amostra de solo B1-S11 que corresponde ao material de empréstimo, utilizado na cobertura dos resíduos sólidos, que em relação às demais amostras, se destacou, apresentando características de areia argilosas.

Nos solos arenosos os lixiviados perolam facilmente, pois a granulometria e a estrutura apresentam influência direta sobre a porosidade, favorecendo o movimento da água e a percolação dos lixiviados do aterro (MESQUITA, 2001; SAMAPAIIO et al., 2006) exigindo, portanto, medidas de monitoramento da qualidade dos solos, notadamente em áreas com potenciais riscos de contaminações, como um aterro de resíduos sólidos urbanos

Os solos residuais e materiais alúvio-coluviais encontrados na área de estudo são decorrente da intemperização de arenitos paleozoicos, resultantes de processos de compactação e litificação de materiais com grão da dimensão das areias, compostos normalmente por quartzo (MOREIRA, 1972). O que foi constatado nos difratogramas das amostras de solo e apresentados nos Apêndices A, B e C, nos quais se constata altas concentrações de quartzo, representadas pelas intensidades dos picos de difração. Também se pode observar na mineralogia dos solos a caulinita, hematita, silicatos e alguns óxidos de ferro e alumínio.

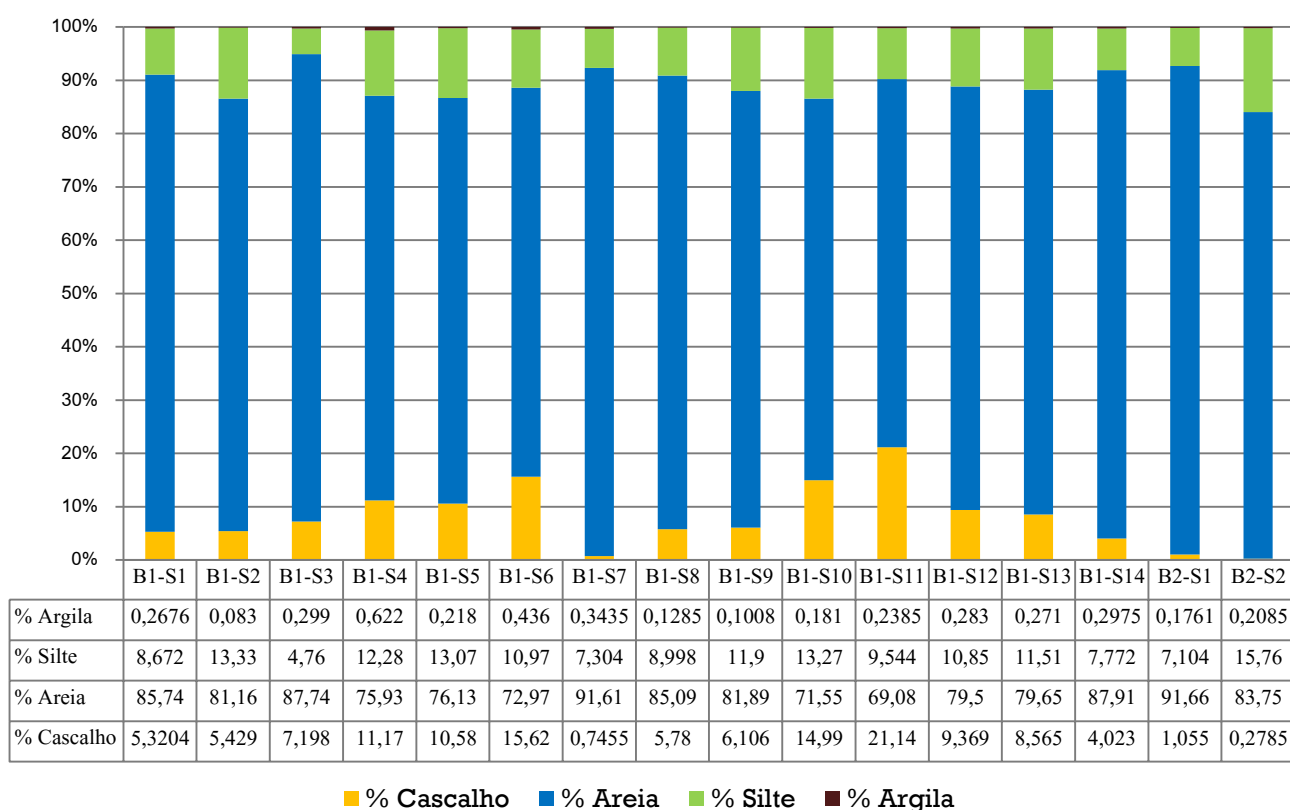
Figura 7 - Classificação Triangular de Shepard das amostras de solo das sub-bacias B1 e B2



Fonte: elaborado com os dados da pesquisa e uso do Software SYSGRAM, 2015.

Comparando-se as porcentagens das frações cascalho, areia, silte e argila entre todas as amostras de solo coletadas nas su-bacias B1(aterro) e B2(controle) e apresentadas no Histograma do Gráfico 8, pode-se inferir há predominância da fração areia, cujas porcentagens variaram de 71% a 91%, o que demonstra uma filiação direta dos elúvios com a rocha mãe, no caso os arenitos da Formação Pedra de Fogo, base da geologia das áreas estudadas (MOREIRA, 1972).

Gráfico 8 – Percentagem das frações cascalho, areia, silte e argilas em amostras de solos das sub-bacias B1 (aterro) e B2 (controle)



Fonte: Dados da Pesquisa, 2015

classe textual afeta de forma significativa a adsorção e consequentemente a mobilidade de metais. (ALEMIDA,2009). A análise granulométrica mostrou que os solos das su-bacias B1(aterro) e B2 (controle) são bastante arenosos, o que torna inadequado para sua utilização em áreas de aterro sanitários, pois nesse material os lixiviados percolam facilmente.

6.3.2 Atributos químicos e biológicos dos solos

Existe uma relação diretamente proporcional entre as concentrações de metais pesados e o teor da fração fina dos solos e a concentração da matéria orgânica dos solos (CRUZ et al. (2013). Tal relação caracteriza propriedades geoquímicas importantes no processo de mobilização dos metais no solo. Nas sub-bacia B1 (aterro) e B2 (controle) os teores de Matéria Orgânica (MO), obtidos da fração total dos solos superficiais podem ser usados para fazer um prognóstico das concentrações possíveis de metais pesados nesse material. Como se pode observar na Tabela 12 as amostras de solos da sub-bacia B1 que apresentaram altos teores de matéria orgânica foram B1-S1, B1-S2, B1-S3, B1-S4, B1-S5, B1-S6, B1-S13 e B1-S14.

Tabela 12 - Resultados das análises química e biológica de solos das sub-bacias B1(aterro) e B2 (controle)

Amostras	pH (H ₂ O)	K	Ca+Mg	Ca	Mg	Acidez Potencial H + Al	CTC Total	Al	P	Matéria orgânica
			mg/dm			cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	mg/dm ³		g/dm ³
B1-S1	5,01	45,16	1,50	0,80	0,70	4,62	6,24	0,30	0,34	21,54
B1-S2	7,41	102,27	7,30	5,50	1,80	0,00*	7,56	0,00	9,18	39,97
B1-S3	9,08	136,80	4,10	2,10	2,00	0,00*	4,45	0,00	17,17	30,15
B1-S4	5,14	136,80	3,00	1,50	1,50	1,65	5,00	0,10	0,56	13,20
B1-S5	7,77	147,42	6,00	1,60	4,40	0,00*	6,38	0,00	10,06	25,41
B1-S6	4,94	13,28	1,10	0,20	0,90	0,33	1,46	0,20	0,26	20,73
B1-S7	8,68	147,42	3,20	1,50	1,70	0,00*	3,58	0,00	6,33	2,84
B1-S8	8,47	73,05	2,10	0,60	1,50	2,15	4,43	0,40	0,21	16,95
B1-S9	7,17	33,20	2,00	0,20	1,80	1,32	3,41	0,40	0,30	9,70
B1-S10	4,82	148,75	3,80	2,30	1,50	3,63	7,81	0,00	0,17	6,87
B1-S11	6,05	63,75	3,30	1,70	1,60	6,27	9,73	0,30	0,26	6,86
B1-S12	8,33	13,28	3,70	1,60	2,10	9,08	12,81	0,40	0,02	12,08
B1-S13	4,13	82,34	3,30	1,40	1,90	4,29	7,80	0,40	2,23	21,34
B1- S14	7,06	146,09	4,00	2,80	1,20	0,50	4,87	0,10	0,13	20,21
B2- S1	4,82	18,59	1,20	0,40	0,80	6,27	7,52	1,00	0,21	30,89
B2- S2	5,45	31,88	4,00	1,40	2,60	1,65	5,73	0,10	0,11	18,21
B2- S3	5,01	45,16	1,50	0,80	0,70	4,62	6,24	0,30	0,34	26,21

Fonte: Dados da Pesquisa, Janeiro, 2015.

Destaca-se a amostra B1-S2 que corresponde a um material de transbordo, oriundo de varrição de esgotos, que depois de seco é colocado sobre os resíduos sólidos, antes da sua compactação final com material selante e apresentou o maior Teor MO ($39,37 \text{ g/dm}^3$). Segundo os administradores do aterro, esse material é utilizado para melhorar o tráfego de caminhões sobre os resíduos.

Destaca-se, também, que duas amostras de solo (B1-S5 e B1-S6), localizadas dentro do aterro, apresentaram valores MO mais alto que as demais amostras coletadas no terreno do aterro controlado. Amostra B1-S5 apresentou $25,41 \text{ g/dm}^3$ de MO e foi coletada na proximidade da Lagoa de lixiviados, podendo ser um indicativo da influência dessa Lagoa no valor de MO dessa amostra. Já a amostra B1-S6 foi coletada na base do aterro, correspondendo à primeira camada, obteve um valor de MO foi de $20,71 \text{ g/dm}^3$. Esse incremento na concentração da MO da amostra B1-S6 poderá está associado ao escoamento de parte do lixiviado das camadas superiores do aterro. A Fotografia 12 ilustra o escoamento de resíduos sólidos e lixiviados das camadas superiores para inferiores.

Fotografia 12- Imagem do aterro controlado de Teresina, evidenciando o escoamento de materiais residuais



Fonte: autora da pesquisa, 2014

Nos pontos de amostras de solo B1-S13 e B1-S14 da sub-bacia B1 localizados à jusante do aterro, também foi observado um incremento de MO, quando comparados os demais solos amostrados nessa sub-bacia. Esses pontos de coleta correspondem a um lixão clandestino, onde foi presenciada grande quantidade de restos de animais (B1- S13) e ao vale de um grotão localizado em um terreno onde funcionou por muito tempo uma granja (B1-S14).

Na sub-bacia B2 (controle) todas as amostras de solos indicaram valores altos de MO, quando comparados com os pontos da sub-bacia B1(aterro). Chama-se atenção para a amostra B2-S1 que revelou uma concentração de MO de 30,89 g/dm³. Essa amostra foi coleta na cabeceira de drenagem da sub- bacia B2, ao lado de posto de combustível, em um terreno próximo a curso de água, onde foi possível observar a disposição de resíduos com vestígios da prática de queima.

A matéria orgânica tem contribuição com capacidade de troca de cátions metálicos no solo, visto que os compostos orgânicos têm ação na complexação e ligação superficial com os metais, facilitando a retenção do metal no solo e evitando a sua lixiviação.

Em relação ao potencial hidrogeniônico (pH) dos solos verificou-se na Tabela 12, citada anteriormente, que todas as amostras de solos da sub-bacia B2 (controle) apresentaram pH ácido, variando de 4,82 a 5,45. Enquanto que as amostras de solos da sub-bacia B1 (aterro) que apresentaram pH ácido encontram- se na região central da bacia hidrográfica, onde o aterro está localizado. Os baixos valores de pH associados às condições mineralógicas dos solos classificado como arenoso favorecem a percolação dos lixiviados com possibilidade de mobilidade de metais pesados para camadas mais profundas podendo chegar aos lençõs freáticos.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo, com valores superiores a 5 cmolc/dm³ indicam alta capacidade de troca de cátions do solo com o meio, significando uma maior retenção no número de cátions (MATIAS E COSTA 2012). As amostras da sub-bacia B1 que apresentaram maiores CTC foram as B1-S2 e B1-S12 com valores de 7,56 cmolc/dm³ e 12,81 cmolc/dm³, respectivamente, configurando-se em materiais com maior poder de retenção de cátions.

Silveira et. al C (2003) e Campos (2010) afirmam que a baixa capacidade de troca de cátions é condicionada pela mineralogia oxídica (óxido de ferro e alumínio) ou silicática 1:1 (caulinita) comum em ambiente tropicais, quando associada a condições de baixo pH favorecem a lixiviação e a disponibilidade de metais pesados no solo. Essas condições são

também apresentadas na área de estudo, cujos difratogramas dos Apêndices A, B e C que mineralogia dos solos analisados é composta, principalmente de caulinita e hematita, silicatos e alguns óxidos de ferro e alumínio.

6.3.3 Metais pesados dos solos

O solo, como já definido no capítulo 2 é um sistema complexo que se constitui em uma das fontes de metais, sejam eles denominados elementos-traços, que são essenciais para plantas, ou como elementos potencialmente tóxicos, ou seja, os metais estão presentes no solo, mesmo que não haja perturbação antrópica (KABATA; PENDIAS, 2004). No entanto, o principal motivo para o aumento da concentração de metais no solo são as fontes antropogênicas, associadas, principalmente, às atividades industriais, de mineração e da geração de efluentes, como os lixiviados de aterros e os lodos gerados nas estações de tratamento sanitário.

Considerando o potencial tóxico dos metais pesados, a Resolução do CONAMA 420/2009 estabeleceu os valores de intervenção que corresponde à concentração acima do qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. Os dados da Tabela 13 se comparados com a referida Resolução e a comparação destes com a referida Norma, constatou-se que os teores de metais pesados cromo, zinco, arsênio, chumbo e níquel, em amostras de solo da sub-bacia B1 (aterro) ficaram acima dos valores de investigação para específicos usos do solo, aqui tomados como de uso agrícola, industrial e residencial. De forma geral, na sub-bacia B1 (aterro) observa-se um incremento nos teores de metais pesados em relação aos teores encontrados nas amostras de solo da sub-bacia B2 (controle). Este resultado mostra que a sub-bacia B1(aterro) encontra-se contaminada, principalmente por Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. Os maiores teores encontram-se na região central dentro do aterro controlado

Os metais pesados estão presentes, principalmente, em plásticos, papel, borracha, resíduos eletrônicos e metais ferrosos que são depositados no aterro controlado de Teresina. Esse incremento nas concentrações de metais pesados nos solos do aterro controlado pode ser decorrente dos vários tipos de resíduos sólidos ali depositados, uma vez que a coleta seletiva, no município, ainda não foi universalizada. Além disso, o aterro controlado não possui sistema de impermeabilização do solo.

Tabela 13 - Teores totais de metais pesados de solos das sub-bacias B1(aterro) e B2 (controle), obtidos por Fluorescência de Raios - X.

Pontos de Amostragem		Cr mg/Kg	Mn mg/Kg	Cu mg/Kg	Zn mg/Kg	As mg/kg	Pb mg/Kg	Ni mg/Kg	Sn mg/Kg	Ba mg/Kg	S mg/Kg
Conama 420/2009	Residencial	300	n.d	400	1000	55	300	100	n.d	n.d	n.d
	Industrial	400	n.d	600	2000	150	900	130	n.d	750	n.d
	Agrícola	150	n.d	200	450	35	180	70	n.d	300	n.d
B1-S1		281,8	361,4	81,9	92,3	8,4	93,6	< LQ	182,2	< LQ	< LQ
B1-S2		400,6	552,6	183,4	579,7	< LQ	322,0	< LQ	< LQ	< LQ	780,2
B1-S3		848,0	149,0	272,6	822,5	< LQ	388,9	99,8	171,3	< LQ	< LQ
B1-S4		367,1	157,1	187,1	212,4	26,8	239,6	86,7	150,8	< LQ	< LQ
B1-S5		685,8	<LQ	214,4	947,9	< LQ	492,6	135,7	<LQ	< LQ	4.310,0
B1-S6		490,9	274,2	151,7	186,6	< LQ	463,0	< LQ	163,2	< LQ	< LQ
B1-S7		373,0	182,7	938,5	1.490,0	467,6	1.270,0	228,8	< LQ	520,5	< LQ
B1-S8		484,4	312,3	265,9	708,1	< LQ	470,4	77,8	201,5	< LQ	< LQ
B1-S9		750,0	322,4	225,7	238,0	< LQ	696,3	< LQ	< LQ	< LQ	1.290,0
B1-S10		578,2	353,5	149,4	146,5	< LQ	505,4	< LQ	< LQ	< LQ	1.160,0
B1-S11		418,9	61,2	111,3	103,6	< LQ	244,9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
B1-S12		655,2	118,1	279,6	1.210,0	< LQ	621,8	200,1	< LQ	< LQ	< LQ
B1-S13		312,9	226,6	< LQ	102,2	25,7	122,0	< LQ	220,8	< LQ	< LQ
B1-S14		453,2	382,2	241,5	232,9	< LQ	369,7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
B2 -S1		418,9	302,3	105,7	197,8	< LQ	255,2	176,8	< LQ	< LQ	< LQ
B2 -S2		222,9	512,7	61,9	106,6	8,1	89,0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
B2 -S3		305,2	1050,0	106,1	171,5	11,2	< LQ	44,9	204,7	< LQ	< LQ
LQ ⁽¹⁾		0,9	0,3	15,0	0,4	5,0	6,4	2,5			10,65

(1) Limite de quantificação do método

(nd) não determinado pela Resolução CONAMA

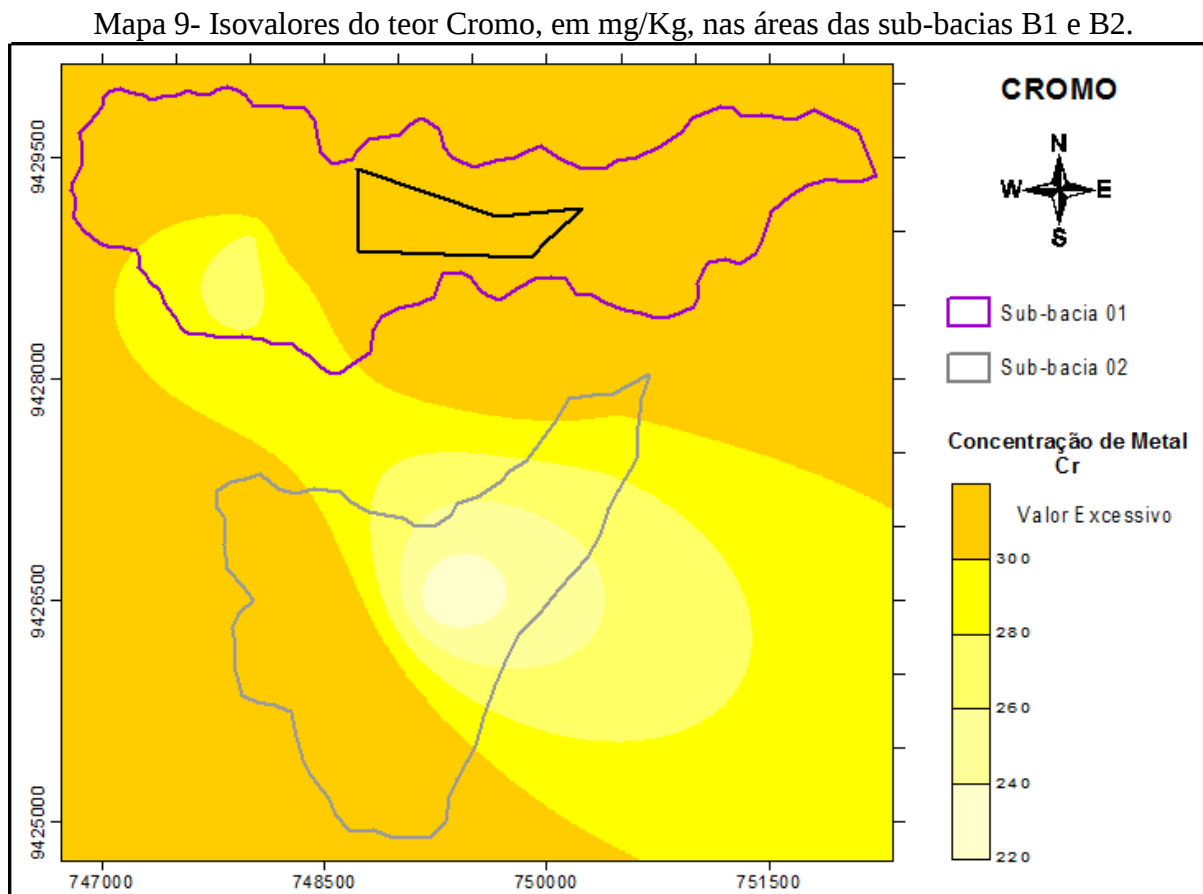
Fonte: Dados da Pesquisa, 2014

Com base nos dados de concentrações de metais pesados da Tabela 13 foi possível fazer a distribuição espacial dos teores de Cr, Pb, Cu, Ni, Zn nos dois contextos de estudo, as sub-bacias B1 (aterro) e sub-bacia B2 (controle).

6.3.3.1 Distribuição espacial do cromo (Cr)

O Mapa 9 mostra a distribuição dos teores de cromo em solos das sub-bacias B1 e B2, na área urbana de Teresina, (PI). Por esse mapa, é possível observar que as maiores concentrações de cromo nos solos fazem parte da sub-bacia B1, mas precisamente na área de instalação do aterro e áreas à jusante. Comparando-se os teores de cromo encontrados na sub-

bacia B2, observa-se que esta sub-bacia apresenta menores concentrações, principalmente no seu médio curso.



Fonte: Elaborado a partir dos resultados de Fluorescência de raios X, 2015.

O cromo na forma trivalente é essencial ao metabolismo humano, entretanto, na sua forma hexavalente, possui efeitos toxicológicos, dermatológicos, e possivelmente mutagênicos. Esse metal pode ser encontrado em minerais, como a cromita, e ainda em aços especiais, em ligas para eletrodos, resistências elétricas e pigmentos verdes (MUELLER, 2012). Portanto, a contaminação do solo em áreas de aterros é proveniente, da disposição indiscriminada de resíduos sólidos formados por misturas de diversos materiais, de origem orgânica, metálica, vidros, tintas e eletroeletrônicos.

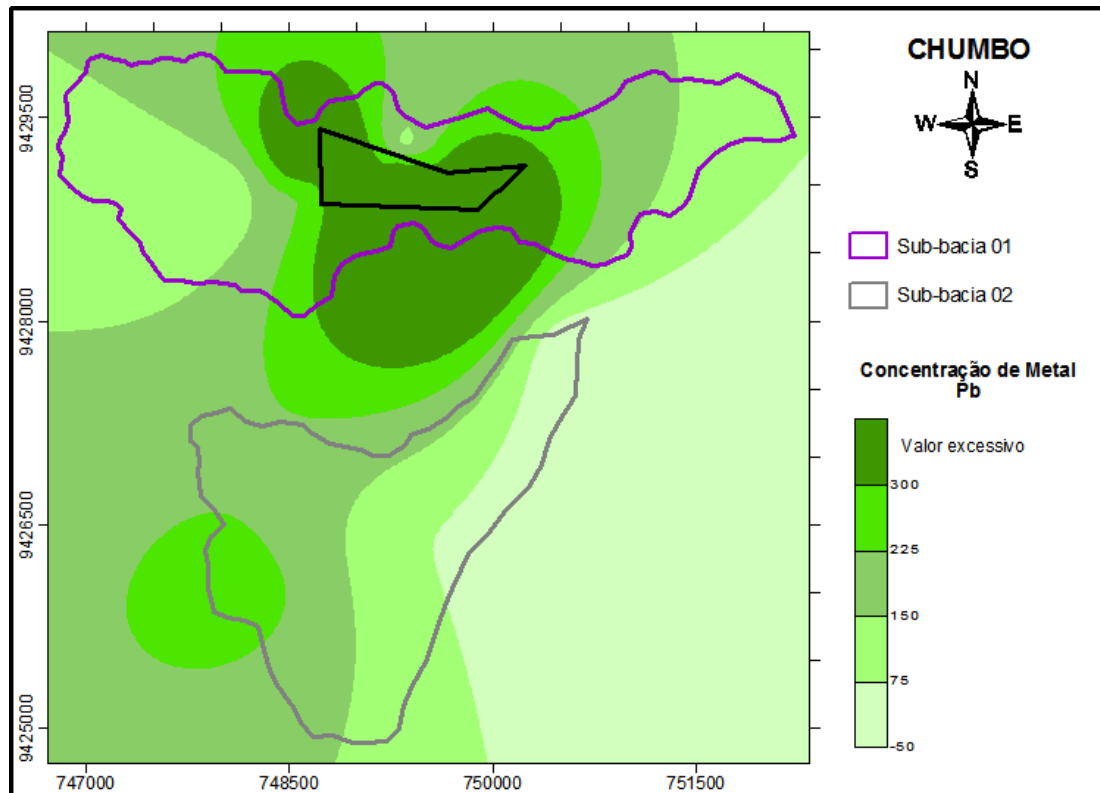
6.3.3.2 Distribuição espacial de chumbo (Pb)

No Mapa 10, observa-se que os maiores teores de chumbo são encontrados em solos do aterro controlado, e à medida que se distancia do perímetro do aterro, as concentrações de

chumbo diminuem, mas ainda assim, são superiores às concentrações encontradas nos solos da sub-bacia B2. Portanto, a sub-bacia B1 se apresenta como um ambiente extremamente impactado, visto que o chumbo em sua forma iônica é bastante perigoso, mesmo em pequenas concentrações. É um metal extremamente tóxico ao homem e aos animais, que pelo seu efeito cumulativo, podem causar lesões, nos sistemas neuromusculares e cérebro. Sua principal ocorrência provém dos minerais como galena, ligas metálicas, baterias, na indústria de tintas, vernizes e esmalte (MUELLER, 2012).

Observa-se também, à montante da sub-bacia B2 teores de chumbo variando entre 150 e 300 mg/Kg de chumbo, acima dos valores de referência, podendo ser decorrente da estrutura de serviços oferecidos nessa área, como por exemplos o polo industrial Sul, a concentração de vários postos de combustíveis, nessa área, por se tratar de uma região que margeia a BR, 316. Outro aspecto, que também pode ter sido determinante no crescimento dos teores de chumbo nesse ponto, referem-se ao descarte de resíduos, principalmente as sobras da construção civil que são jogados em remanescentes de florestas.

Mapa 10 - Isovalores do teor de chumbo, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2.

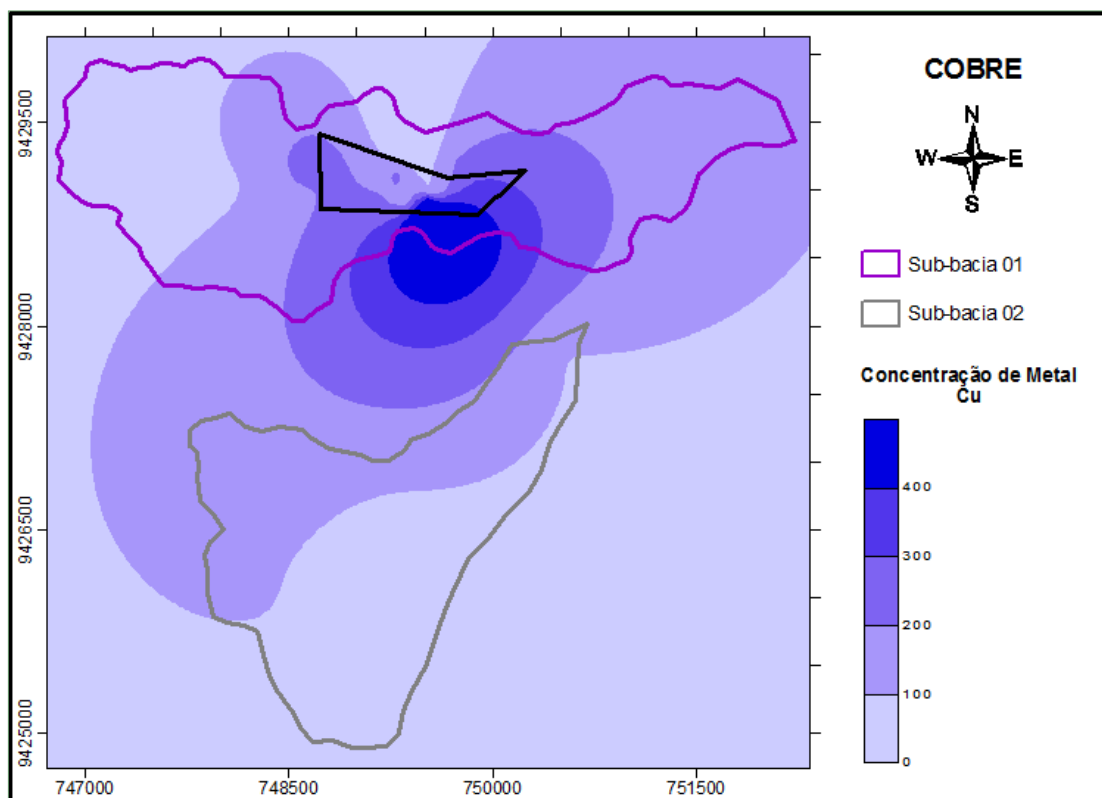


Fonte: Elaborado a partir dos resultados de Fluorescência de raios X, 2015.

6.3.3.3 Distribuição espacial de cobre (Cu)

Quanto ao metal cobre, observa-se no Mapa 11 que as maiores concentrações desse elemento no solo são encontradas na área do aterro de resíduos, ocorrendo uma diminuição na concentração quando se afasta do seu limite em áreas à montante e à jusante. Conforme a tabela 11, as concentrações de cobre acima do limite máximo estabelecido, ocorreram em 7 das 11 amostras coletadas dentro da área do aterro. No entanto, quando se compara os teores de cobre nas duas sub-bacias, observa-se no Mapa 11, que a sub-bacia B2 (controle), mesmo com maior grau de urbanização, os teores de cobre nos solos são inferiores.

Mapa 11 - Isovalores do teor Cobre, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2.



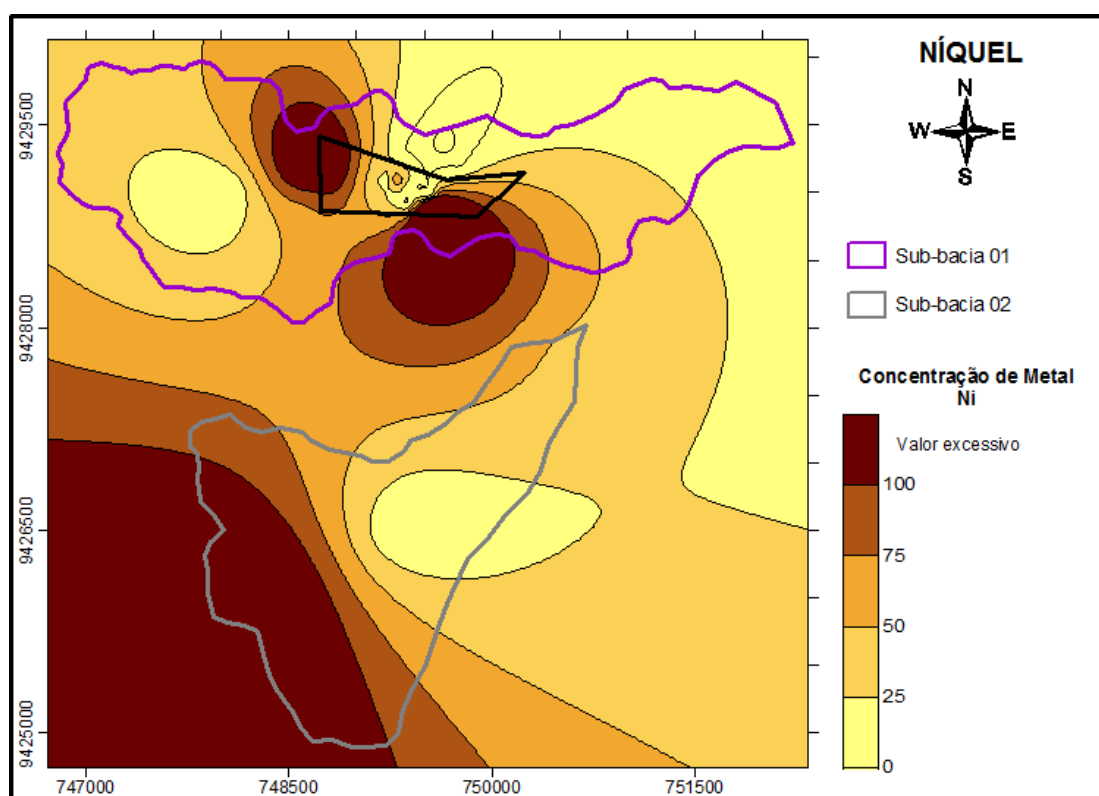
Fonte: Elaborado a partir dos resultados de Fluorescência de raios X, 2015.

O cobre é elemento essencial para os sistemas biológicos, encontrado em concentrações traço, atuando como componente de metalenzimas e proteínas. Porém, em caso de intoxicação por ingestão de sais de cobre ou ainda, por trabalhadores industriais, a consequência será irritação e corrosão da mucosa, danos capilares e problemas renais. É um elemento que pode estar associado a diversos metais, como também, aos fungicidas, às tintas de impressão, pinturas de submarinho e em banhos de galvanoplastia. (BIR; CANN, 2011)

6.3.3.4 Distribuição espacial de níquel (Ni)

No Mapa 12, observa-se que as maiores concentrações de níquel ocorrem na região Noroeste e Sul do aterro de resíduos, na sub- bacia B1, porém, se desloca para à montante e à jusante do aterro, observa-se uma diminuição das concentrações de níquel. Ressalta-se que a região Noroeste do aterro corresponde à área de disposição de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), que durante vários anos foram sendo depositados, sem o devido tratamento para esses tipos de resíduos. Somente no ano de 2011 que se iniciaram os processos de tratamento dos resíduos, sendo evidentes as dificuldades das Instituições de saúde de adequação à Política Nacional de Resíduos sólidos e ainda do próprio órgão municipal no estabelecimento de medidas de gestão e controle para essa classe especial de resíduos.

Mapa 12- Isovalores do teor Níquel, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2.



Fonte: Elaborado a partir dos resultados de Fluorescência de raios X, 2015.

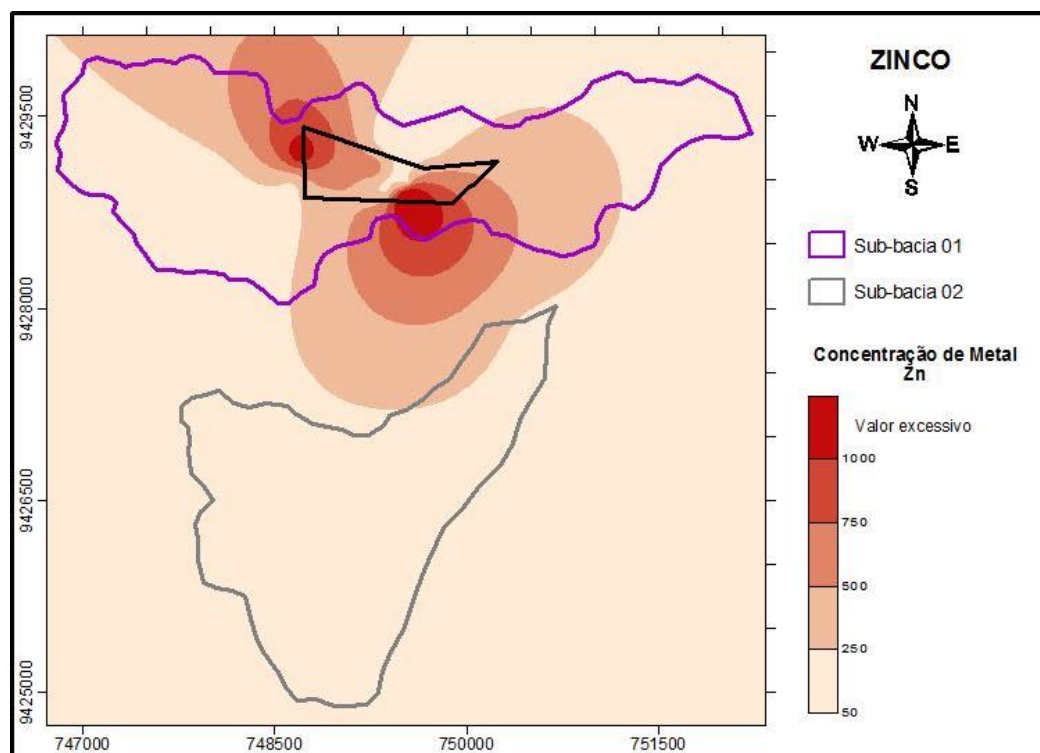
Segundo a CETESB (2012) o níquel pode ser depositado nos sedimentos por processos de precipitação, complexação, adsorção em argila e agregado à biota, podendo atingir a hidrosfera por deposição seca e úmida de particulados atmosféricos, erosão dos solos e rochas, resíduos sólidos municipais e efluentes industriais. Outras atividades que também

contribuem para o aumento da contaminação por níquel no ambiente são; queima de combustíveis fósseis e os processos de mineração e fundição de ligas metálicas. Provavelmente, o incremento nas concentrações de níquel na sub-bacia B1 está associado à deposição de materiais metálicos no aterro, em decorrência de um programa de coleta seletiva que não atende à demanda populacional.

6.3.3.5 Distribuição espacial do zinco (Zn)

O zinco é um elemento essencial ao ser humano, mas só é prejudicial se ingerido em concentrações muito altas, o que é muito raro. O zinco é produzido no meio ambiente por processos naturais e antropogênicos, entre os quais, destacam-se a combustão da madeira, incineração de resíduos, produções de aço e efluentes domésticos. (ATHAYDE JÚNIOR; ATHAYDE, SANTOS, 2008). Analisando as concentrações de zinco, no Mapa 13, observa-se que os maiores índices são encontrados em solos da sub-bacia B2, sendo que as concentrações extremas ocorreram nos pontos correspondentes ao perfil da rocha em alto grau de alteração e na área do aterro onde durante muito tempo foram descartados os resíduos de serviços de saúde.

Mapa 13 - Isovalores do teor Zinco, em mg/Kg, nas áreas das sub-bacias B1 e B2.



Fonte: Elaborado a partir dos resultados de Fluorescência de raios X, 2015.

Quando se compara os teores de zinco nas duas sub-bacias, observa-se que na sub-bacia B2 (controle) os solos apresentam teores de zinco inferiores aos valores de intervenção prescritos pela Resolução CONAMA. Portanto, o processo erosivo da rocha, quanto o próprio aterro podem ter contribuído para a alteração nos valores das concentrações de zinco na sub-bacia B1.

Pelos os mapas de isovalores apresentados, há uma influência direta do aterro controlado de Teresina na ampliação dos teores de metais pesados no solo, com a possibilidade de alcançar os lençóis de águas subterrâneas da região, visto que o nível freático dos poços de monitoramento do aterro foi medido no período de coleta, constatando-se valores de 4,30 metros para o poço B1-P1 e 11,70 metros para o poço B1-P2.

6.4 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DAS SUB-BACIAS B1(ATERRO) E B2 (CONTROLE)

Os resultados das análises físico-químicas de amostras de águas subterrâneas e amostras de lixiviados no contexto das duas sub-bacias analisadas foram interpretados por meio de comparação com os valores máximos permitidos estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 para águas subterrâneas (BRASIL, 2012) Para os parâmetros não definidos por essas Resoluções tomou-se como referência valores orientadores definidos pela CETESB (2009), pela Organização Mundial de Saúde, e Libâneo (2010). Os resultados gerais dessas análises estão dispostos nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Resultados das análises físico-químicas das águas subterrânea das sub-bacias B1(aterro) e B2 (controle)

Parâmetros	Sub-bacia B1			Sub-bacia B2		Conama 396
	B1-P1	B1-P2	B1-P3	B2-P1	B2-P2	
Temperatura (°C)	33,8	32,2	29,2	30,5	30,30	
Sólidos Totais Dissolvidos (g. L ⁻¹)	0,9	0,42	0,5	0,34	0,24	500
Turbidez (UNT)	0,72	0,77	1,2	0,85	6,7	
Condutividade elétrica (CE) (µS)	0,135	66,0	78,6	53,7	36,60	
Ph	7,19	7,24	7,58	7,89	7,25	6- 9
Oxigênio dissolvido (OD) (mg. L ⁻¹)	0,9	2,0	1,5	1,8	1,60	≥ 5
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mg. L ⁻¹)	200	900	100	500	100	≤ 5
Nitrito (mg. L ⁻¹)	5,0	5,4	0,23	0,10	6,30	
Nitrato (mg. L ⁻¹)	12,0	7,4	5,7	15,0	0,16	
Amônia (mg. L ⁻¹)	21,0	3,9	0,10	0,45	6,70	
Cloretos (mg. L ⁻¹ Cl)	0,038	0,115	0,754	0,025	0,02	≤ 250

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

Tabela 15 – Resultados das análises físico-químicas dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2).

Parâmetros	Sub-bacia B1 Lagoas de chorume				Sub-bacia B2 (Córrego)
	B1-L1	B1- L2	B1-L3	B1-L4	B2-C1
Temperatura (°C)	32,1	33,3	34,2	31,6	29,9
Sólidos Totais Dissolvidos (g. L ⁻¹)	2,7	2,6	2,0	7,0	0,32
Turbidez	330,00	490,00	300,00	6600	75
Condutividade elétrica (CE) (µS)	0,428	0,396	0,306	1,19	50,0
Ph	7,28	7,84	7,83	8,85	7,35
Oxigênio dissolvido (OD) (mg. L ⁻¹)	0,7	0,7	0,8	0,7	1,10
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mg/L)	8.181,82	51.200,00	60. 800,00	88.636,36	400
Nitrito (mg. L ⁻¹)	6,4	10,0	17	22,0	5,30
Nitrato (mg. L ⁻¹)	17,0	20,0	18	48,0	41,0
Amônia (mg. L ⁻¹)	1,3	32,0	40	22,0	0,20
Cloretos (mg/L)	0,64	0,57	0,48	3,74	0,015

Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

A partir dos dados dispostos nas tabelas 14, e 15 será realizada, a seguir, uma discussão dos resultados por cada parâmetro analisado.

6.4.1 Caracterização física das águas e lixiviados

6.4.1.1 Temperatura

A temperatura da água é influenciada por vários fatores, tais como radiação solar disponível, latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (CETESB, 2009). Considerando esses agentes influenciadores na temperatura das águas, a Resolução CONAMA 357/05 não menciona um limite de temperatura para águas doces. Entretanto, fixa que não poderá haver lançamentos de efluentes nos cursos d'água com temperatura superior a 40°C. Assim, os valores de temperatura registrados nas amostras de águas e lixiviados analisados evidenciaram águas relativamente quentes, variando entre 29,2 e 34,2°C no período de coleta, porém ainda dentro dos limites de tolerância.

6.4.1.2 Turbidez

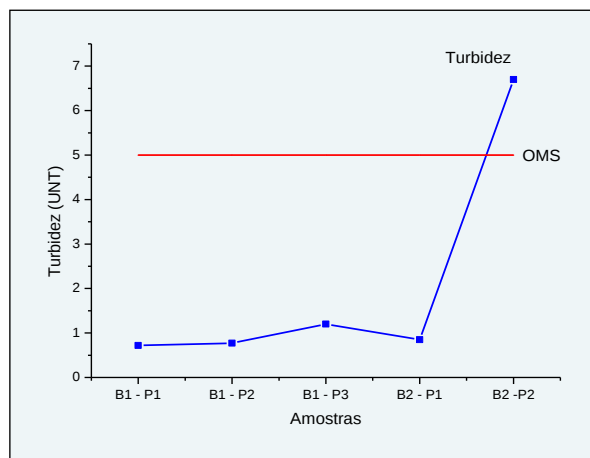
Segundo Libâneo (2010), o conjunto de elementos, como fragmentos de argilas, silte, plâncton, micro-organismos, e matéria orgânica e inorgânica particulada respondem pela turbidez das águas naturais, por isso, essa grandeza acaba por se constituir em uma inferência da concentração de partículas suspensas. Esgotos domésticos e diversos efluentes industriais e de aterros, também provocam elevações de turbidez.

A Portaria Ministerial nº 2.914/2011 estabelece o valor máximo de 5,0 UNT de turbidez para a água potável. De forma geral, as amostras de águas subterrâneas analisadas não apresentaram problemas de excesso de turbidez. (BRASIL, 2012, SANTOS: MOHR, 2013). Para águas superficiais das classes 2 e 3, a Resolução CONAMA 357/ 2005, estabelece como valor máximo de turbidez de 100 UNT. Já para efluentes industriais valor máximo aceitável é de 500 UNT (LIBÂNEO, 2010).

Nas amostras de águas subterrâneas coletadas nas sub-bacias B1(aterro) e B2(controle) ocorreu uma excepcionalidade na amostra B2-P2, em que a turbidez ultrapassou o limite de 5 UNT estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (Gráficos 9 e 10). Tal exceção poderá ser decorrente da presença de sais dissolvidos, visto que água neste ponto possui

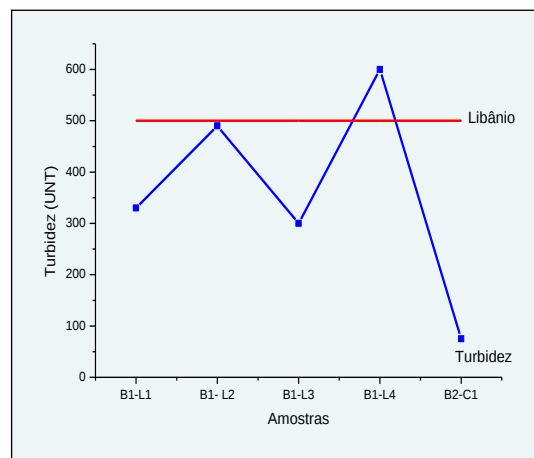
concentrações apreciáveis de nitritos e nitratos. Também foi observado que esse poço abastece uma horta comunitária, mas também, em casos de situações de falta de fornecimento de água pela AGESPISA, a população utiliza-se dessa água para consumo humano.

Gráfico 9 – Turbidez das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da pesquisa, (2015)

Gráfico 10 - Turbidez dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



Fonte: Dados da pesquisa, (2015)

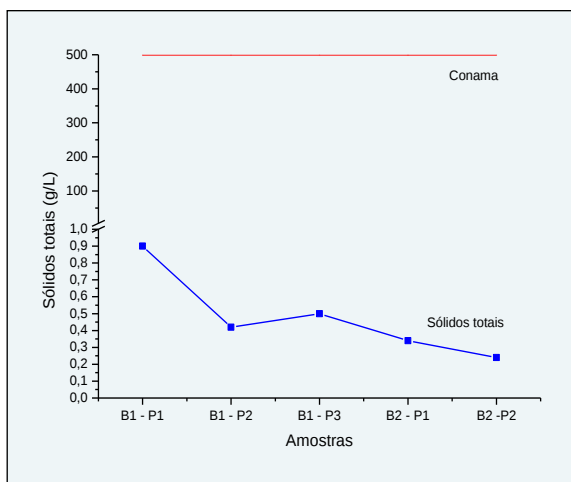
Em relação aos lixiviados gerados no aterro controlado, observa-se que as amostras B1-L2 e B1-L4 apresentaram turbidez acima de 500 UNT, que corresponde ao valor limitante para efluentes. Também se deve considerar que na Lagoa de lixiviados B2-L2, recebe os lixiviados do aterro, bem como efluentes sanitários. Durante os trabalhos de campo foi possível presenciar caminhão despejando efluentes sanitários nessa Lagoa.

6.4.1.3 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Outro importante parâmetro para definição das condições de ambientes aquáticos é a determinação de Sólidos Totais Dissolvidos, uma vez que esses sólidos em elevadas concentrações podem provocar danos aos peixes e outras formas de vida aquática, como também provocar a retenção de bactérias e resíduos orgânicos no fundo, resultando em decomposição anaeróbica. (HERMES e SILVA, 2004). De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde 2.914/2011, valor máximo recomendado de STD, para água potável, é de 1.000 mg/L. Para água doce a resolução CONAMA 396/3008 estipula valor de até 500 mg/L.

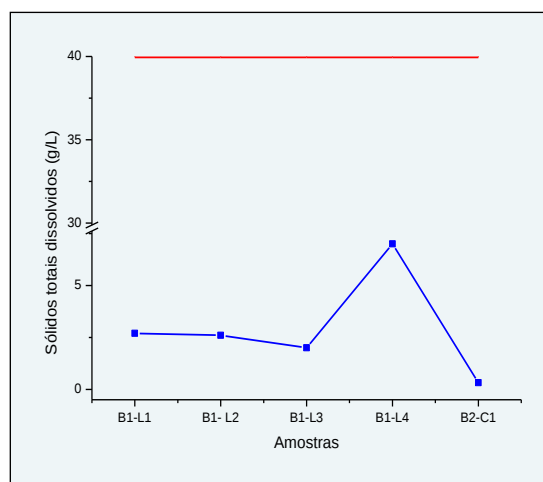
Os gráficos 11 e 12 indicam os valores da concentração de Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas e superficiais. Em todos os casos foi percebido que os valores obtidos apresentam-se abaixo dos limites estabelecidos na Portaria nas Resoluções do CONAMA.

Gráfico 11– SDT das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da Pesquisa, (2015)

Gráfico 12 – STD dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



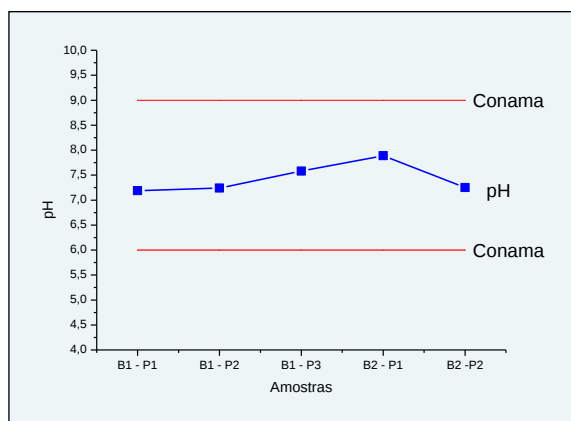
Fonte: Dados da pesquisa, (2015)

6.4.2 Caracterização química das águas e lixiviados

6.4.2.1 Potencial hidrogênionico (pH)

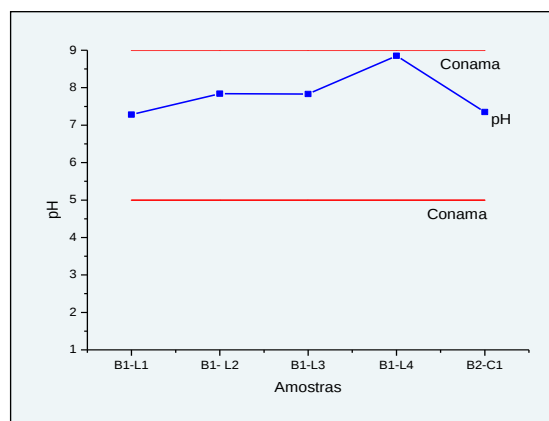
Os valores de pH amostras águas subterrâneas encontraram-se na faixa da neutralidade, variando de 7,19 para a amostra B1-P1 a 7,89 para amostra B2- P1 (Gráfico 13). Quanto aos lixiviados de aterros, o pH sofreu uma maior variação, onde constatou-se pH de 7,28 em amostra B1-L1 (neutro) e de 8,85 na amostra B1- L2, configurando-se em um meio mais alcalino (gráfico 14).

Gráfico 13 - pH das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da pesquisa, (2015)

Gráfico 14 - pH dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



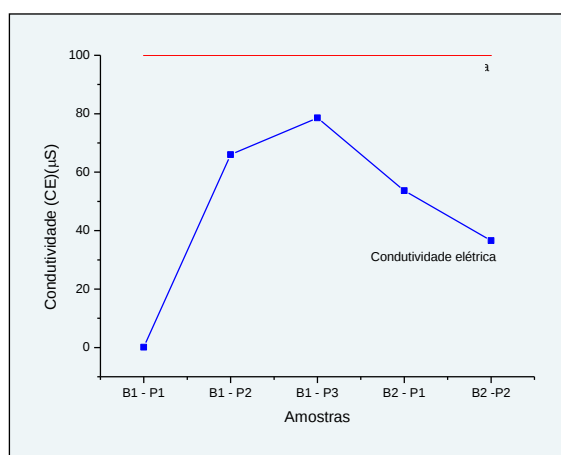
Fonte: Dados da pesquisa, (2015).

Os dados dos gráficos 13 e 14, indicam que águas subterrâneas encontram-se dentro da faixa de pH estabelecida pela resolução CONAMA, nº 357/05, e os efluentes de aterros dentro dos valores limitantes da resolução CONAMA n 430 de maio de 2011, que dispõe sobre o lançamento de efluentes

6.4.2.2 Condutividade elétrica (CE)

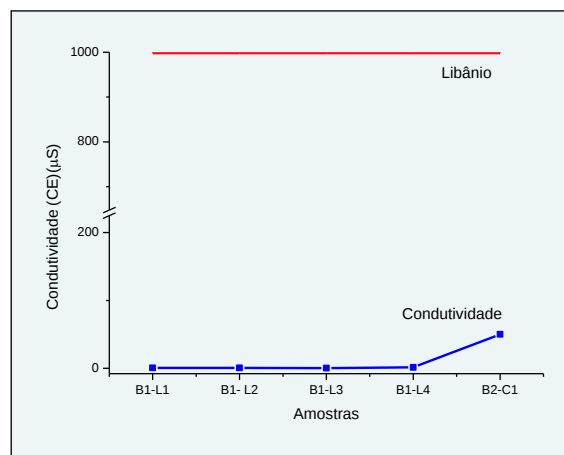
A condutividade elétrica relaciona-se diretamente ao teor de salinidade de mananciais subterrâneos e águas superficiais. Usualmente a condutividade elétrica das águas naturais é inferior a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, podendo chegar a $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes. Dentre as amostras de águas subterrâneas analisadas, a que apresentou menor condutividade elétrica foi a amostra B1-P1, correspondente ao poço de monitoramento, localizado á montante do aterro (Gráfico 15). O poço de monitoramento, denominação é B1-P2, localizado à jusante do primeiro, dentro do próprio aterro, apresentou uma condutividade mais elevada, no valor de $66,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, quando comparada com os valores observados nos poços da sub-bacia B2 (Gráfico 16).

Gráfico 15 – Condutividade elétrica das água subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da Pesquisa (2015)

Gráfico 16 – Condutividade elétrica dos lixiviados (sub-bacias B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Os valores de condutividade, embora abaixo do limite de referência estabelecido pela evidenciam um incremento nos teores de íons dissolvidos na água, indicando que os lixiviados do aterro chegaram ao lençol freático, tendo em vista que a lagoa de chorume1, denominada B1-L1, não possui qualquer tipo de impermeabilização do solo, como também,

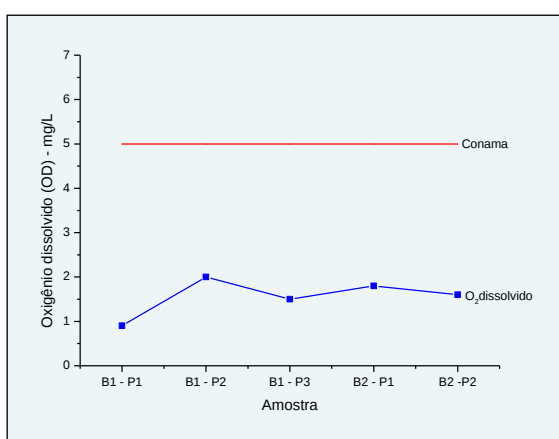
localiza-se ao lado do poço B1-P2, que apresentou condutividade de $66 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Acrescenta-se que em virtude do ambiente climático situar-se na faixa tropical úmida, com mais de 1200 mm anuais de precipitação, não é de fato surpreendente que os teores de sais dissolvidos na água sejam relativamente baixos, pois sob essas condições biopedoclimáticas não ocorre de fato a concentração desses elementos no solo.

6.4.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

O Oxigênio Dissolvido é um fator importante para os processos de manutenção da vida aquática em corpos de águas superficiais e em estações de tratamento de esgotos, pois maioria dos organismos aeróbicos necessita desse elemento para a respiração. O valor mínimo de OD para preservação da vida aquática foi estabelecido o limite mínimo de 5,0 mg/L para águas doce da classe 2, conforme.. Nas águas subterrâneas a quantidade de OD é muito baixa, visto ser um ambiente, com menor grau de areajamento, em relação as águas superficiais e lixiviados

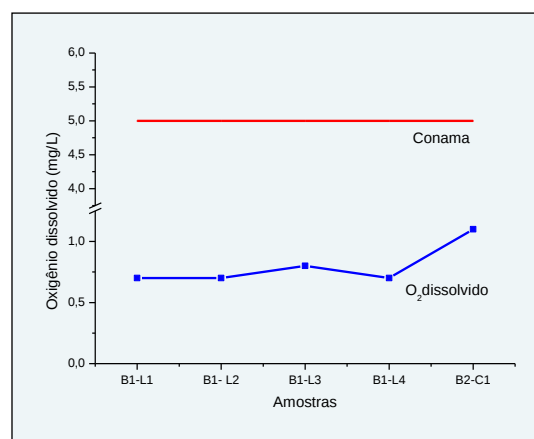
Analizando os dados de OD apresentados no Gráfico 17, observa-se que todos os poços analisados possuem baixos valores de oxigênio dissolvido, com já esperado para águas subterrâneas, devido à menor aeração em relação às águas superficiais em canais aberto. As águas subterrâneas de poços da sub-bacia B1 (aterro) apresentaram baixas concentrações de OD, porém, estão dentro da normalidade

Gráfico 17 - OD das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



fonte: dados da pesquisa (2015)

Gráfico 18 - OD dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



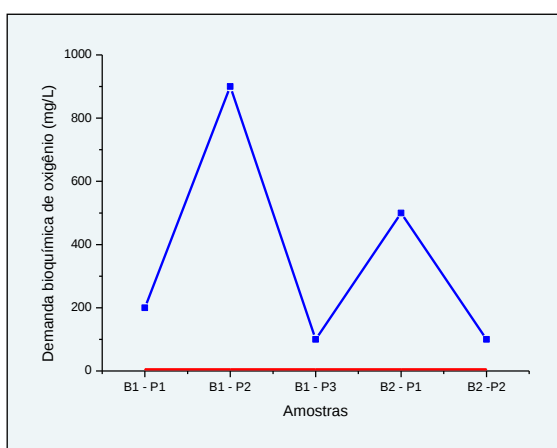
Fonte: dados da pesquisa, 2015

Quando se analisa os valores de OD para os efluentes (lixiviados) e o córrego, observa-se, no Gráfico 18, uma carência de oxigênio dissolvido, pois em todas as amostras analisadas o teor de OD não alcançou o limite mínimo de 5,0 mg de O₂/L. Essa deficiência de oxigênio nos lixiviados provoca o acúmulo de matéria orgânica, dificultando a ação dos microrganismos aeróbicos não exercem as suas atividades de remoção da carga orgânica solúvel nesses ambientes.

6.4.2.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

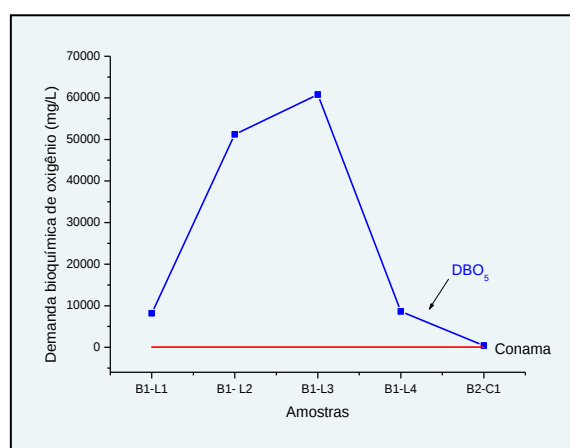
A Demanda Bioquímica de Oxigênio expressa presença de matéria orgânica, constituindo-se, portanto, em um importante indicador de qualidade das águas naturais. Os dados de DBO das águas subterrâneas e de lixiviados do aterro encontram-se dispostos nos Gráficos 19 e 20, que de forma geral, se mostram acima do limite exigido pelo CONAMA (2005) e CETESB (2009), confirmando, de certo modo, um nível de concentração de matéria orgânica tanto nas águas subterrâneas, quanto nas superficiais, destacando-se os lixiviados com valores entre 8.181,82 a 60.800,00 UNT.

Gráfico 19 – DBO₅ das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Gráfico 20 – DBO₅ dos lixiviados (sub-bacias B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



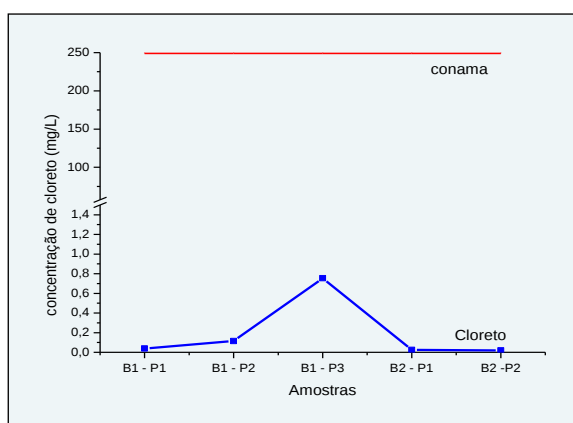
Fonte: Dados da pesquisa (2015)

As elevadas concentrações de DBO em todas as amostras analisadas, caracterizam ambientes altamente impactados, principalmente as lagoas de chorume, designadas de B1-L1, B1-L2, B1-L3 e B1-L4. Neste sentido, observa-se, também, que a própria bacia de controle, sob situação uso da terra de expansão da frente de urbanização, apresenta valores também elevados de DBO que caracterizam um ambiente já negativamente impactado.

6.4.2.5 Cloretos

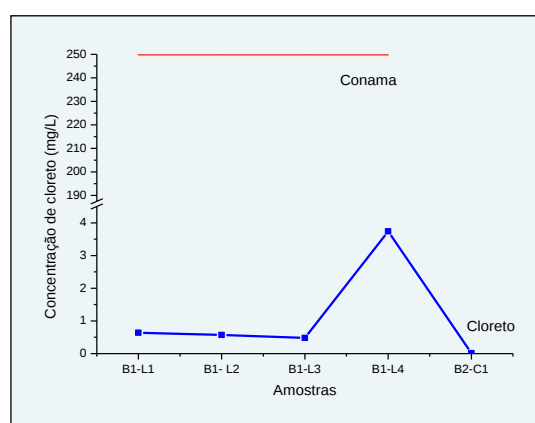
O cloreto é um ânion Cl^- que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, as fontes de cloreto são as descargas de esgotos sanitários e efluentes industriais. Nas águas subterrâneas, geralmente as concentrações de cloretos são maiores do que em águas superficiais. Analisando os dados do Gráfico 21 observa-se que os níveis de cloretos em todas as amostras de água subterrânea ficaram abaixo do valor de referência de 250 mg de Cl^-/L . Em todas as amostras de lixiviados e da água superficial do córrego (Gráfico 22) o conteúdo de cloretos variam entre 0,02 mg/L a 0,0754 mg /L, indicando valores abaixo do máximo, prescrito pela legislação.

Gráfico 21 - Concentrações de Cloretos das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Gráfico 22 – Concentrações de Cloretos dos lixiviados (sub-bacia B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



Fonte: Dados da pesquisa (2015)

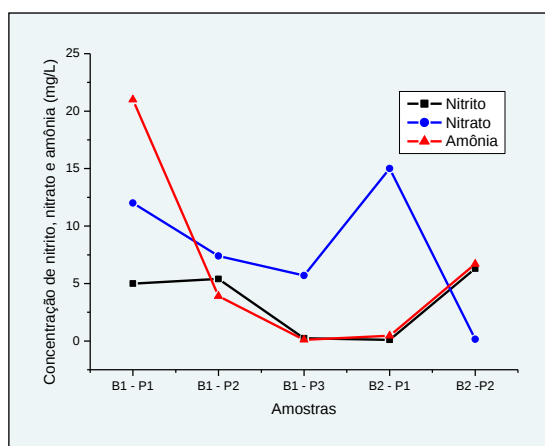
6.4.2.6 Nitratos, nitritos e amônia

Na sub-bacia B1, três poços apresentaram níveis de amônia acima do permitido pela Portaria nº 2914/11/MS (1,5 mg/L de NH_3). Nos dois poços de monitoramentos (B1-P1 e B1-P2), localizados na área de instalação do aterro, as concentrações de amônia excederam ao VMP em 18 e 2 vezes, respectivamente (Gráfico 23 e 24) . O poço B2-P2, na sub-bacia B2, também apresentou excesso de amônia, com taxa 4 vezes maior que o limite permitido. Quanto ao conteúdo de nitrato, o VMP é de 10 mg de NO_3^-/L , onde se observa , que o poço de monitoramento B1-P2 apresentou níveis de nitrato de 12 mg de NO_3^-/L , e o poço B2-P1 da

sub-bacia B2, também, excedeu o valor máximo permitido, apresentando um conteúdo de nitrato de 15 mg de NO_3^-/L .

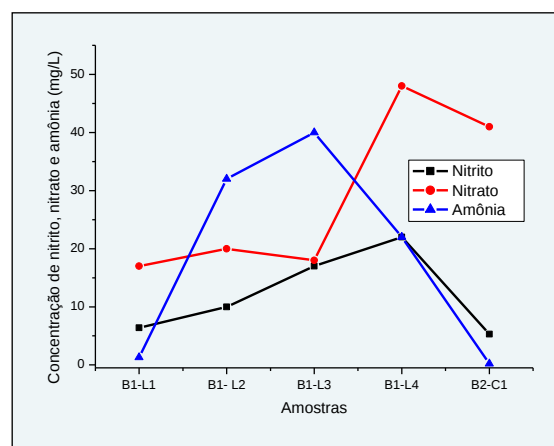
O teor de nitrito permitido para consumo humano é de 1,0 mg de NO_2^-/L . Os resultados apresentados nos gráficos 23 e 24, indicam que nos dois poços de monitoramento na sub-bacia B1, o teor de nitrito excedeu em 5 vezes o VMP. No poço B2-P1, sub-bacia B2, a concentração de nitritos foi 15 vezes maior que o permitido para consumo humano. Os resultados indicam uma possível poluição por despejos de efluentes de aterro nos poços de monitoramento, por despejos de efluentes domésticos no poço B2-P2, sub-bacia B2.

Gráfico 23 - Concentrações de Nitritos, Nitratos e Amônia das águas subterrâneas das sub-bacias B1 e B2



Fonte: Dados da pesquisa, 2015.

Gráfico 24 - Concentrações de Nitritos, Nitratos e amônia dos lixiviados (sub-bacias B1) e da água superficial (sub-bacia B2)



Fonte: Dados da pesquisa, 2015

Os teores de amônia, nitritos e nitratos nas amostras de lixiviados foram analisados, conforme valores estabelecidos para águas de classe 3 (CONAMA, 357/05). Assim, observa-se no Gráfico 24, que o conteúdo de amônia nas Lagoas de chorume 2, 3 e 4 foram superiores limite de 2,0 mg de NH_3/L , tendo a lagoa 3 (B2-L3) atingido um teor de amônia, 9 vezes maior que o limite fixado. Os teores de nitritos e nitratos fixados pela Norma, para águas de classe 3 é de 10 mg/L. Dessa forma, observa-se que todas as amostras de lixiviados e a amostra de água do córrego apresentaram excesso de nitratos. Observa-se que a amostra de lixiviado (B1-L1) e amostra de água do córrego (B2-C1) os teores nitritos foram inferiores ao limite estabelecido, no entanto, todas as demais amostras de lixiviados excederam ao limite máximo.

Os elevados índices de nitratos observados nas lagoas de chorume e no córrego são indicativos de contaminações antigas de matéria orgânica. Os índices elevados de amônia

presenciados no poço de monitoramento B1-P1 e nas lagoas 2, 3 e 4 podem estar relacionados à poluição recente de matéria orgânica.

6.4.3 Caracterização biológica das águas e lixiviados

Foram realizadas análises microbiológicas para quantificação de coliformes totais e fecais, em amostras de lixiviados de três lagoas de chorume e em amostras de águas subterrâneas de três poços da sub-bacia B1, cujos resultados estão dispostos na tabela 16.

Tabela 16- Quantidade provável de coliformes totais e fecais em amostras de lixiviados e água subterrâneas da sub-bacia B1(aterro)

Amostras	Coliformes totais à 35°C (NMP/100ml)	Coliformes fecais à 45,5°(NMP/ml)
B1-P1	$>1,6 \times 10^3$	$>1,6 \times 10^3$
B1-P2	$7,0 \times 10^3$	-
B1-P3	< 3	< 3
B1-L1	$9,2 \times 10^2$	$9,2 \times 10^2$
B1-L3	33	33
B1-L4	$1,6 \times 10^3$	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2015

A Portaria MS 2914/201 considera como padrão microbiológico as água de consumo humano, a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*, por 100 mL de amostra de água analisada. Desse modo, os poços de monitoramento (B1-P1 e B1-P2) estão em desacordo com os padrões legais para potabilidade bacteriológica, nos parâmetros coliformes totais. O poço B1-P1 está em desacordo nos parâmetros coliformes totais e fecais.

O poço B1-P3, localizado à jusante do aterro está de acordo com padrão de consumo humano. Para as amostras de lixiviados das lagoas de chorume (B1-L1, B1-L3 e B1-L4) tomaram-se como referência os valores fixados pela Resolução CCONAMA, 357/2005, para águas classe 3. Dessa forma, observa-se que somente a Lagoa de chorume 4 (B1-L4) extrapolou o limite de 1.000 NMP de coliformes totais, portanto imprópria para lançamentos em corpos hídricos da classe 3. Os dados apresentados podem ser um indicativo de que o aterro controlado está influenciado na qualidade da água dos poços de monitoramento.

7 CONCLUSÃO

As sub-bacias hidrográficas analisadas são tributárias da bacia do Rio Poti no seu baixo curso, localizadas na Região Sul do município de Teresina, em um vetor de expansão urbana, com diferentes formas de uso e ocupação. A primeira sub-bacia B1 (aterro) tem como principal atividade antrópica o aterro de resíduos sólidos, portanto a sua caracterização e avaliação geo-ambiental ocorreu a partir de uma análise comparativa com uma segunda sub-bacia de contexto geomorfológico e geológico semelhantes. Destaca-se, além do aterro sanitário em si, outras formas de uso da terra prevalentes, tais como mineração a céu aberto, urbanização, áreas de solo nu e uso rural remanescente.

No entanto, a segunda sub-bacia, que se encontra separada da primeira por uma sub-bacia intermediária, apresenta um conjunto de formas de uso da terra condizentes com a franja de expansão urbana de Teresina sem, no entanto, ser utilizada para fins de descarte de resíduos sólidos sob a forma de aterros sanitários. Nesta sub-bacia predomina o uso da terra urbano, rural, industrial e ainda manchas de vegetação nativa. A avaliação ambiental ora realizada contou com trabalho de campo, laboratório e cartográfico que permitiram obter um panorama geral da dinâmica das paisagens das áreas de estudo a partir de análises do solo e da água, em ambos os contextos analisados.

Os solos das duas sub-bacias estão sofrendo influência direta das formas de uso, uma vez, que se evidenciou solos com teores de metais pesados Cr, Cu Zn, Pb e Ni em concentrações superiores aos Valores Máximos Permitidos, para diferentes usos de solos, estabelecidos pela Resolução CONAMA, nº 420/2009.

As águas subterrâneas e lixiviados apresentaram teores de matéria orgânica, turbidez, DBO₅, nitratos e amônia acima dos valores de referencia de qualidade, nos dois contextos de estudo. Neste sentido, chama-se a atenção para o fato de que embora as duas áreas estejam impactadas, os valores encontrados na sub-bacia B1, onde se localiza o aterro de resíduos sólidos, são muito mais elevados do que na bacia de controle, e demonstram graus de degradação da qualidade ambiental.

Considerando os dados obtidos neste estudo, observa-se que no contexto das bacias de pequena dimensão areal, situadas ao longo da expansão da mancha urbana de Teresina em direção ao seu eixo de crescimento meridional em alinhamento com a bacia do rio Poti, verificou-se que existem diferenças razoáveis em relação aos parâmetros de qualidade ambiental de solo e água. No entanto, mesmo em face de uma comparação entre uma bacia

potencialmente impactada em função de presença do aterro sanitário controlado e outra ainda em fase de transformação e agregação à mancha urbana contínua, os dados levantados já apontam para uma significativa transformação da qualidade ambiental da segunda; a sub-bacia B2, tomada como controle.

Este cenário sugere que independente da ocorrência espacial de um uso reconhecidamente impactante (aterro controlado), as formas vigentes de uso da terra, sobretudo pela expansão de loteamentos urbanos, são também bastante impactantes no sentido de alterar a qualidade dos parâmetros de água e solo, a níveis largamente tidos como inadequados para a convivência com as formas atuais de uso desses espaços.

Ressalta-se que o estado de coisas verificado por meio da investigação conduzida neste trabalho fornece elementos necessários para replicação nas demais bacias de pequeno porte situadas nas franjas urbanas de Teresina. O estudo também reforça a necessidade de se implementar ações continuadas de monitoramento dessas áreas, visando, sobretudo, a mitigação de efeitos mais danosos dessas alterações ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984
- _____. **NBR 6502:** Solos e Rochas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR, 13.896:** Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projetos, construção e operação: procedimentos. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2009.** São Paulo, 2010. 198 p.
- _____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil –2011.** São Paulo, 2012. 183 p.
- AGESPISA. **Relatório Anual da Qualidade da Água.** Teresina, 2010. Disponível em: <agespisa.com.br/sitepages/public/qualidadedeAgua.jsf>. Acesso em 20 de abril de set. 2014.
- ALAMEIDA, T. L. de. **Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviados em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos.** 2009, 190 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos (SP).
- ALVES FILHO, F. A morte no lixão: A tragédia no Morro do Bumba, em Niterói, é o triste símbolo de décadas de irresponsabilidade do poder público. **Isto é Independente**, São Paulo, 09 abril 2010. Disponível em: <http://www.istoe.com.br/reportagens/64153_A+MORTE+NO+LIXAO>. Acesso em: 16 de janeiro de 2015.
- ALVES, C. F. de C.; BERTOLO, R. A. Geoquímica de águas subterrâneas impactadas por aterros de resíduos sólidos. **Águas Subterrâneas**, São Paulo v. 1, n.26, 2012, p. 43-64, ABAS.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Ministério do Ministério da Saúde. **Gerenciamento dos resíduos Sólidos de Serviço de Saúde.** Brasília: MMA. 2006.
- ARAÚJO, E. A. de. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava- PR, v. 5, n. 7, p. 206-212, 2012.
- ASCHAGRIE, Y. et al. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native Forest to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil & the total Environment**, Amsterdam, v. 94, p. 101-108, 2007.

AURÉLIO, B. de H. **Novo dicionário Aurélio da língua Portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Aliança, 1986.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 423p.

BARTOLOMEU, D. B.; BRANCO, J. E. H.; CAIXETA FILHO, J. V. Logística de transporte de resíduos sólidos. In: BARTOLOMEU, D. B.; CAIXETA FILHO, J. V. (org.). **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agro meteorológico de 2011 para o município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2012.

BATISTA, M. C. **Degradação ambiental urbana**: uma análise de bairros da zona Norte de Teresina. 2006. 141 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí. Teresina.

BIRD, C.; CANN, N. **Química ambiental**. 4. ed. Tradução, Marco Tadeu Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2011, 844 p.

BISINOTI, M. C.; YABE, M. J. S.; GIMENEZ, S. M. N. Avaliação da influência de metais pesados no sistema aquático da bacia hidrográfica da cidade de Londrina-PR. **Revista Analítica**. n. 8, p. 22-27, 2004.

BOSCOV, M. E. G. **Geotécnica ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 248p

BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112 p.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos hídricos. **Caderno da região hidrogeografica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006.

_____. Ministério da Saúde. Portaria Ministerial MS Nº 2914 de 12 de dez de 2011, Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da república federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 de março de 2004.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de mar. 2005.

_____. **Resoluções Conama:** resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126 p.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 02 set. 1981.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM**, texto e mapas, 1:1.000.000, 1973.

BUSARELLO, A. C. B.; et al. Hidrografia: Águas superficiais (continentais e oceânicas) e subterrâneas.. Disponível em: <http://geografia-ensinareaprender.blogspot.com.br/2013_07_01_archive.html>. Acesso em: 7 julho 2013

CABALEIRO, Selma M. de O. L. **Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental: Sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais**. 2010, 185 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, Guarapuava (PR), v. 6, n. 3. p. 547-565, set./dez. 2010.

CARVALHO, W.M. de C.; VIEIRA, E. de O.; ROCHA, J.M.J.; Pereira, A.K. dos S.; CARMO, T.V.B. 2009. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego do Malheiro, no município de Sabará – MG. **Revista Irriga**, 14, 3, 398-412.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Coord.) **Resíduos sólidos urbanos:** aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 294 p.

CEFET-PI - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PIAUÍ. **Diagnóstico de resíduos sólidos urbanos do Piauí**. Teresina: CEFET/PI, 2008.

CELERE, M. S. et. al. Metais pesados no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939-947, abr. 2007.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Ciclosoft 2014:** radiografando a coleta seletiva. Disponível em: <www.cempre.org.br/ciclsoft2012.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

_____. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Ciclosoft 2012:** radiografando a coleta seletiva. Disponível em: <www.cempre.org.br/ciclsoft2012.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Que são áreas contaminadas**. 1997. Disponível: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/1-o-que-sao-areas-contaminadas>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2015.

_____. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 2009

_____. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos;** São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CHEN, P. Assentment of leachates from sanitary landfills: Impact of age, rainfall, and tratament. **Environment International**, v. 22, n. 2, p. 225-237, 1996.

CHRISTENSEN, T. H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, n. 16, p. 549-718, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/s0883-2927\(00\)00082-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0883-2927(00)00082-2)>. Acesso em: 23 de outubro de 2014.

COELHO, R. C. **Determinação de Cu, Tb, Cr e Zn em amostras de chorume, água subterrânea e solo coletadas na área do deposito de Resíduos sólidos urbanos de Teresina, (Pi).** 2011. 64p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Federal do Piauí. Teresina.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a hidrologia.** Instituto de pesquisas hidráulicas UFRGS. Rio Grande do Sul, 2008.

CONEJO, J.G.L. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. In: **Cadenos de Recursos hidricos**, Brasília: MMA, 2005.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Avaliação de depósitos minerais para construção civil PI/MA.** Teresina: CPRM, 1997. 2 v.

COSTA, F. Armadilha Urbana: Técnicos constataam risco de explosão no segundo shopping mais movimentado de São Paulo, que está sobre um lixão há 27 anos. Mesmo assim, ele continua aberto. **Isto é Independente**, São Paulo, 30 setembro 2011. Disponível em: <http://www.istoe.com.br/reportagens/164503_ARMADILHA+URBANA>. Acesso em 10 jun. 2014.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

DULONG, F. T.; JACSON, J. C. **X-ray powder diffraction.** 2000. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov.info/diffraction/html>>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1999. 412p

_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo.** 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA –SNLCS, 1988. 54p

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011.

FAÇANHA, A. C. **A evolução urbana de Teresina: agentes, processos e formas espaciais**. 1998. 233f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

FANIN, C. A.; ROBERTS, R. D. Mature land II waste retardation and degradation. **Quaternary Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 73, p. 161-170, 2006.

FARIA et al. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto, **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FARIA, C.; **Aterro Sanitário Bandeirantes**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/ecologia/aterro-sanitario-e-mdl/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2014.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM; LABHID-UFPE, 1997. 412 p.

FORTES, R. L. F. (Coord.). **Perfil de Teresina: econômico, social, físico e demográfico**. Teresina: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e Turismo – SEMDEC, 2010.

FOSTER, P.; RAMASWAMY, V. (coord). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In **IPCC fourth assessment report: climate change 2007**. Switzerland: IPCC, 2008. Chapter 2, p. 129-234. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

FOSTER, S.; et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial. Serviços Técnicos Ambientais Ltda. 2006, 104 p.

FUNASA Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3. ed. rev. – Brasília – DF, 2009.

GIRARD, J. E. **Princípios de Química Ambiental**. Tradução de Marcos José de Oliveira. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia e meio ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 394 p.

GUERRA, A. T. GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

_____. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 416 p

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

HERMES, L. C.; SILVA, A. de S. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. Brasília DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

HIGSON, S. P. **Química analítica**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009, 452 p.

HYPÓLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S. **Geoquímica da interação água-rocha-solo: estudos preliminares**. São Paulo: All Print Editora, 2011.

HYPÓLITO, R., EZAKI S., **Íons e metais passados em sistema lixo-solo-chorume-água de aterros sanitários de São Paulo**. São Paulo, Águas Subterrâneas, v. 20, p. 99-114, 2006.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas. 2010 a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1766>. Acesso em: 12 jan. 2013..

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2010 b.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBG, 2002.

IWAI, C. K. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas**. 2012, 270 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo, São Paulo.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, Fundação Carlos Chagas, São Paulo, n. 18, p.189-205, mar. 2004.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.71, n.25, p. 135-158, 2011.

KARLEN, D. L.; et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KLAMT, E.; REEUWIJK, L. P. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of Ferralsols and related soils. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 24, p. 573-587, 2009.

KNOP, A. **Estudo do comportamento de Liners atacado por ácido sulfúrico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 230 p., 2007.

KNOP, A. et al. Compacted artificially cemented soil - acid leachate contaminant interactions: Breakthrough curves and transport parameters. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, n. 1-2, p. 269-276, 2008.

KORF, E. P. et al. Retenção de Metais em solo de antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo RS. **Revista de Ciências Ambientais**. Canoas, v.2, n. 2, p 43-60, 2008.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments: a review. **Waste Management**. v. 28, p. 215-225, 2008.

LAUREANO, A. T.; SHIRAIWA, S. Ensaios geofísicos no aterro sanitário de Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 173-180, 2008.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Texto. 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Revisada e ampliada. Campinas: São Paulo. Editora Átomo, 2010. 494p.

LIMA, A. J. de . Favela Cohebe: uma história de luta por habitação popular. 2. ed. Teresina: EDUFPI; Recife: **Bagaço**, 2010.

LIMA, I. M. de M. F. et al. **Teresina Agenda 2015**. A cidade que queremos. Diagnósticos e Cenários: Meio Ambiente. Prefeitura Municipal de Teresina, 2002.

LIMA, I. M. de M. F. O relevo de Teresina, PI: Compartimentação e dinâmica atual. In: **Ix Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia - ENANPEGE**. 02 a 12 out. 2011, Goiânia, p. 1-15.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R .R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.p.33-43.

LIMA N A. et al. Qualidade da água de irrigação de hortas comunitárias em Teresina, Piauí, In. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 24 a27 de nov. 2014. Belo Horizonte. p.1-4.

LIMA, W. P. hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo, 2000, p.33-43.

LOGAREZZI, A. Contribuições conceituais para o gerenciamento de resíduos sólidos e ações de educação ambiental. In: LEAL, A. C. et al. (Org.) **Resíduos sólidos no Pontal do Paranapanema**. Presidente Prudente: Antônio Thomaz Júnior, 2004. p. 221-246.

LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182p

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas e águas**. 3 ed. atualizada e revisada. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2007, 1027 p.

_____. **Introdução à Química ambiental: Química & Meio ambiente & Sociedade**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2006, 1028 p.

_____. **Métodos laboratoriais de análises Físico-químicas e microbiológicas**. 2. ed., Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2003, 450 p.

MACHADO, P. J.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 912p.

MANDARINO, A. Gestão de resíduos sólidos. Legislação e práticas no Distrito Federal. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília.

MARION, F. A.; CAPONE, V.; SILVA, J. I. S. DE. Avaliação da qualidade ambiental da água subterrânea em poços no campus UFSM, Santa Maria-RS. *Ciência e Natureza*, UFMS, v.29, n.1, p. 97-109, 2007.

MATSUFUJI, Y. **Design and Operation of Sanitary Landfill**. Japanese International Cooperation Agency (JICA)/KITA, Tokyo, 1994, 85p.

MELLO, G.. Notas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Saneamento Ambiental**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 101-120, mar. 2008.

MELO, V. L. A.; JUCÁ, J. F. T. Estudos de referência para diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 21, 2000, João Pessoa, ABES, 200, 10 p.

MENDONÇA, A. F. **Programa Lagoas do Norte**: estudo de recuperação de áreas degradadas para região das Lagoas do Norte. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria de Planejamento e Coordenação. Teresina, nov. 2005.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, maio/jun. 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETÁRIA DAS CIDADES DO PIAUÍ. **Plano Estadual de Regionalização da Gestão de resíduos sólidos do Estado do Piauí**. Teresina: 2012.

_____. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006. 184 p.

MONCADA, M. P. H. **Estudo em laboratório de características de colapso e transporte de soluto associadas à infiltração de licor cáustico em um solo laterítico**. 2004. 219 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOREIRA, Amélia Alba Nogueira. A Cidade de Teresina. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro: IBGE. Ano 31, n. 230, p.3-185, set./out. 1972.

NEFUSSI, N. e LICCO, E. **Solo urbano e meio ambiente**. Disponível em <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/webport/meioamb/mamburb/apresent/apresent.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2005.

NUNES, L. Vistoria constata vazamento no lixão e sugere retirada de catadores. **Cidade Verde**. Teresina. 25 mai. 2012. Disponível em: <<http://www.cidadeverde.com/vistoria-constata-vazamento-no-lixao-e-sugere-retirada-de-catadores-103007>>. Acesso, 30 jun. 2012

OEDC - Organization for Economic Co-operation and Development. **Glossary of Environment Statistics**. 2007. Disponível: < <http://stats.oecd.org/glossary/search.asp>>. Acesso em: 28 janeiro 2014.

OLIVEIRA, D. L.; SANTANA, G. P. Influência do aterro municipal de Manaus sobre as águas superficiais da circunvizinhança: um enfoque ao estudo de metais pesados. **Caminhos da Geografia**, v. 11, n. 34, jun. 2010, p. 75-83, Uberlândia, UFU.

OLIVEIRA, E. D.; OLIVEIRA, E. D. Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do córrego Jandaia; Jandaia do Sul/PR. **ACTA Geográfica**. Boa Vista, v, 5, p, 168-183, jul/dez, 2011.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Batucatu (SP), v. 9, n. 3, p. 240-249, jul./set., 2004.

PARRON, L. M; MUNIZ, D. H. de F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011.

PIAUÍ. Secretaria de Planejamento do Estado do Piauí. **Piauí: Visão Global**. Teresina: CEPRO, 2002, 128p

POHLAND; F. ; HARPER, S. Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. Washington DC: EPA/600/2-86/073, 1985. .

RAIJ, B. Van. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001, 285 p.

ReCESA. **Esgotamento sanitário**: qualidade da água e controle da poluição: guia do profissional em treinamento: nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 87 p.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F. MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, 468-493, fev. 2008.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço**: problemática ambiental urbana. São Paulo: Hucitec, 1998. 239 p.

ROMERO, M. Promotor identifica problemas no aterro sanitário de Teresina. **Portal o Dia**, 27 mar. 2011.

SABARZO, L. C. D. **Resíduos sólidos**: do conhecimento científico ao saber curricular- a releitura do tema em livros didáticos de Geografia. 2008. 284 p. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo.

SACRAMENTO, M. F.; REGO, M. J. M. A bacia de drenagem enquanto unidade integradora nos estudos geoambientais. VI **Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology**. Goiânia, p. 6-10, set., 2006.

SANCHES, F.; MACHADO, L. R. M. Segregação espacial e impactos socioambientais: possíveis manifestações de degradação em novas paisagens urbanas. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional - G&DR**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 29-46, set./dez. 2008.

SANCHEZ, C.; NASCIMENTO, E. S. Avaliação da disponibilidade de informações toxicológicas de produtos químicos utilizados em larga escala no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Farmacêutica**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 415-428, 2005.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceito e métodos**. São Paulo: oficina de textos, 2008. 495p.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de bacias hidrográficas Sete Lagoas**. Documentos, 30. Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SANTOS FILHO, F. S. **Programa Lagoas do Norte: relatório de fatores bióticos**, Teresina, 2005.

SCHUELER, A. S. de; MAHLER, C. F.; GUIÃO JÚNIOR, R. Compostagem. In. MAHLER, C. F. (org.). **O lixo Urbano: o que você precisa saber sobre o assunto**. Rio de Janeiro: Revan FAPERJ, 2012. 192p

SANTOS, R. de S. MOHR, T. Saúde da qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. **Revista Contexto Saúde**. V. , p. 13, n. 24/25, p. 43-56, jul/dez, 2013

SILVA, A.C.; TORRADO, P. V.; ABREU JÚNIOR, J. DE S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, n. 5, p. 21-26, 1999.

SILVA, F. L. M. da; CORRÊA, A.C.de B. Relações entre geossistemas e usos da terra em micro bacia semi-árida: o caso do riacho Gravatá, Pesqueira –PE. **Revista de Geografia** (Recife), Vol. 24, No 1 (2007).

SISINNO, C. L. S. **Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana**. 2002. 154 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Osvaldo Cruz/ Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro.

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.

SKOOG, D. A.; et al. **Fundamentos de química analítica**. Tradução Marco Tadeu Grassi. São Paulo: Thomson, 2006, 999 p.

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

SOUTO, G. D. de B. **Lixiviado de aterros brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. 2009, 371 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos SP.

STIPP, Nilza Aparecida Freres *et al.* **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica...**

STRAUCH, M. Gestão de recursos naturais e resíduos. In: STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. de (org.) **Resíduos: como lidar com os recursos naturais**. São Leopoldo: OIKOS, 2008, 220p.

TEODORO, V. L. et. al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. In: **REVISTA UNIARA: Revista do Centro Universitário de Araraquara**, Araraquara (SP). n. 20, 2007, p. 137-156.

TERESINA. Prefeitura Municipal. **Aspectos e Característica, Perfil 1993**. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. Teresina. PMT. 1993.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Teresina **Agenda 2015: plano de desenvolvimento sustentável**. Teresina: PMT, 2002.

_____. Prefeitura Municipal de Teresina. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA: Construção e operação do aterro sanitário de Teresina**. Teresina: PLANACON/QUALIX, 2008.

_____. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. **Banco de Dados de Teresina: Características Gerais**. Teresina, 2011a. 12p.

_____. Prefeitura Municipal de Teresina. Secretaria Municipal do Desenvolvimento Econômico e Turismo – SEMDEC. **Plano de desenvolvimento Integrado do Turismo Sustentável (PDITS)**. Teresina: PMT, 2011b.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina - PDDrU**. Teresina: Concremat Engenharia, 2010. Disponível em: <<http://www.pensarmaisteresina.com.br/a-teresina-que-temos/>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. Prefeitura Municipal de Teresina. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Teresina: Produto 2 – Diagnóstico da situação do saneamento básico**. Teresina: DRZ, 2013a.

_____. Prefeitura de Teresina. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação – SEMPLAN **Teresina em Bairros**: Teresina: PMT/SMPLAN, 2013b.

_____. Prefeitura Municipal. **Teresina em Bairros**. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Teresina: PMT? SEMPLAN, 2013c.

THHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. USA: McGraw-Hill, 1993, 987p.

THOMAZ, E. L. Introdução ao monitoramento ambiental em cabeceira de drenagem urbano-rural. In: FERREIRA, Y. N. (org) **Águas urbanas: memória, gestão, riscos e regeneração**. Londrina: Eduel, 2007.

THOMÉ, A.; KNOP, A. Movimento de contaminantes no solo. **II Simpósio Nacional de Uso da água na agricultura**. Passo Fundo. 2006.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TROLEIS, A. L. **Metrópole de risco: o caso da Vila Dique e do aterro sanitário da zona norte na poluição das águas superficiais e subterrâneas das bacias hidrográficas do arroio da areia e passo das pedras/ Porto Alegre-RS**. 2009. 148p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

UMBUZEIRO, G. de A.; KUMMROW, F.; REI, F. F. C. Toxicologia, padrões de qualidade de água e a legislação. **INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** - v.5, n.1, Resenha, jan./abr. 2010.

VIANA, B. A. da S. **A verticalização em Teresina: sonho de muitos e realidade de poucos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Geografia) - Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2003.

VIANA, B. A. da S. **Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados a sua exploração em Teresina, PI, Brasil**. 2013. 212 p. Tese (Doutorado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VIEIRA, E. A.; GODOY, M. B. R. B. Lixo: Fato ambiental da modernidade. In: GERARDI, L. H. de O. **Ambientes: estudos geográficos**. Rio Claro (SP): UNESP, 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

WALDMAN, M. **Lixo: cenários e desafios**. São Paulo: Cortez, 2010. 231 p.

YONG, R.N.; MOHAMED, A. M O.; WARKENTIN, B. P. **Principles of contaminant transport in soils**. Amsterdam: Elsevier, 1992, 327 p.

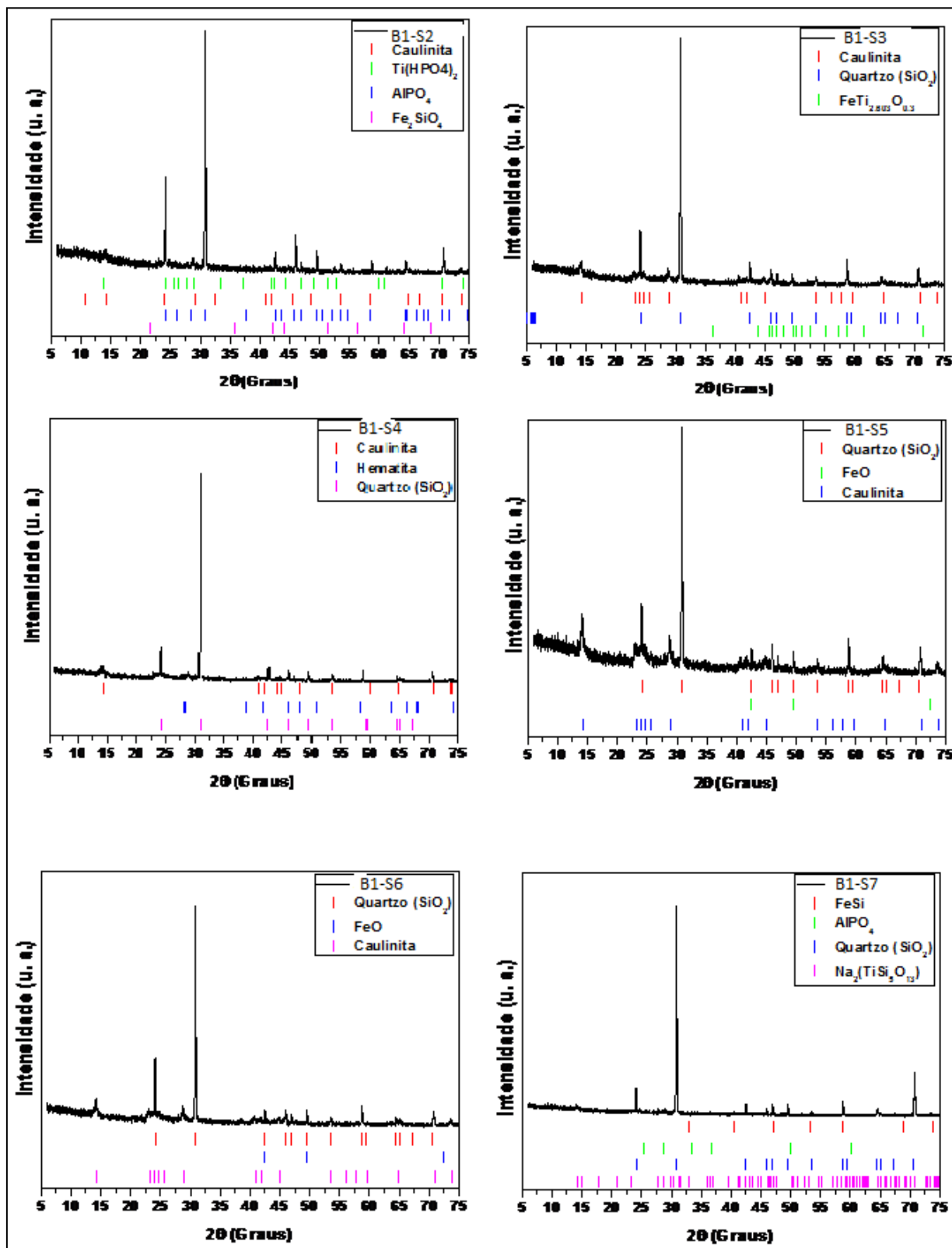
ZANETI, I. C. B. B. **Educação Ambiental, resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade: um estudo do caso sobre o sistema de gestão de Porto Alegre, RS**. 2003. 176 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília.

ZANTA, V. M et al. Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos associados aos lixiviados de aterro sanitário. In CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (coord). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 494 p.

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2005. 74 p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

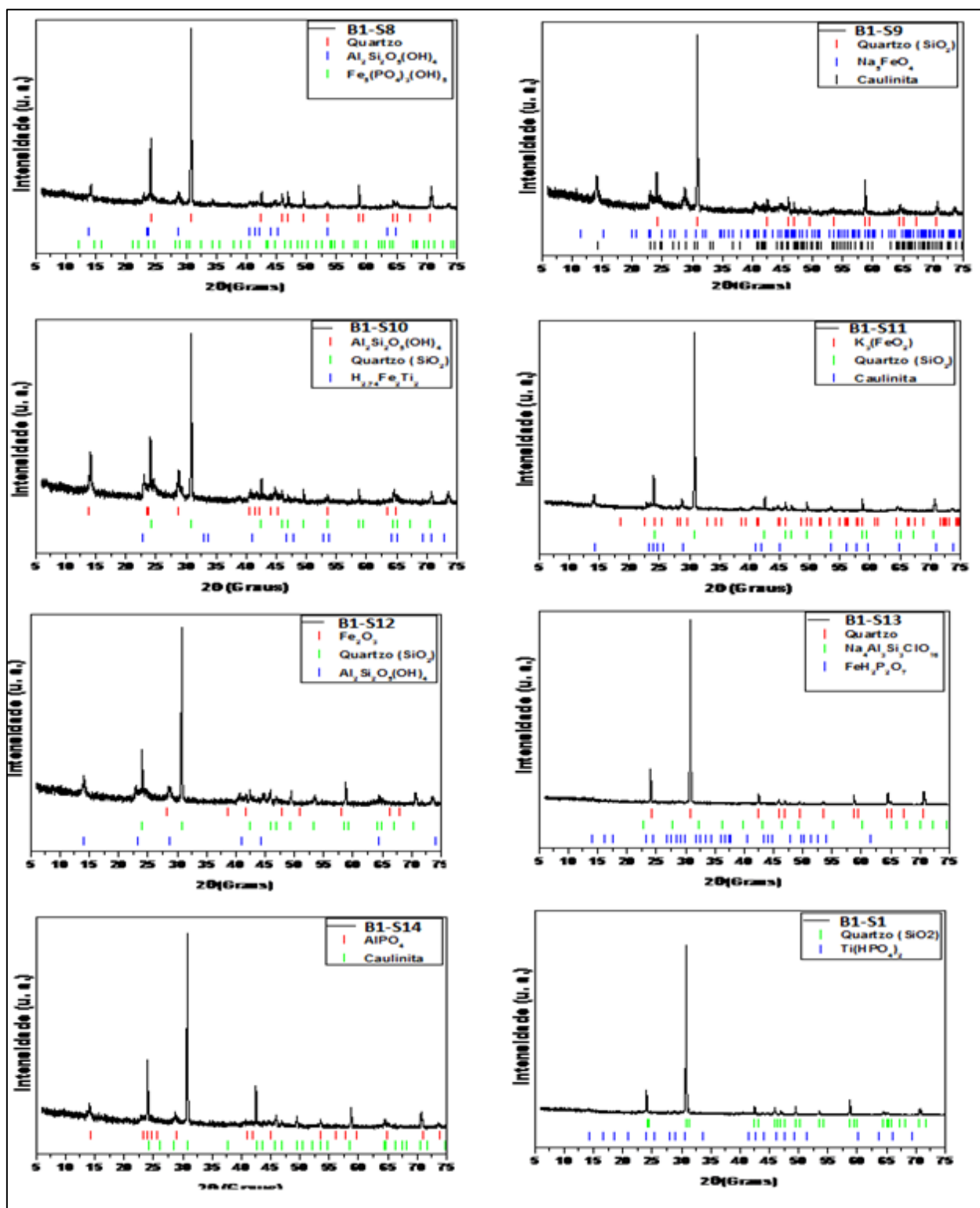
APÊNDICES

APÊNDICE A - Difratomogramas de solos coletadas na sub-bacia B1 (aterro)



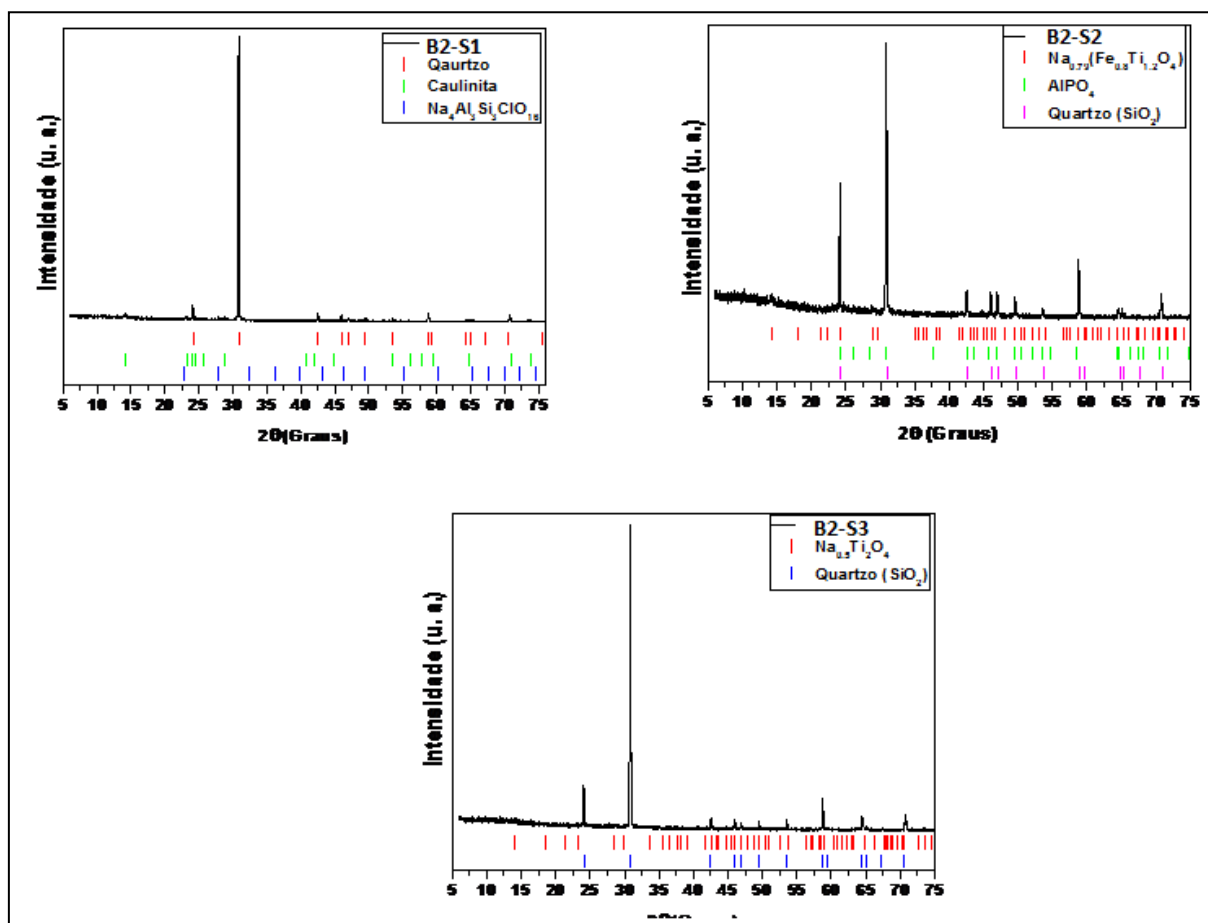
Fonte: Dados da pesquisa, 2015

APÊNDICE B - Difratogramas de solos coletadas na sub-bacia B1(aterro)



Fonte: Dados da pesquisa, 2015

Apêndice C- Difratomogramas de solos coletados na sub-bacia B2 (Controle)



Fonte: Dados da pesquisa, 2015