



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CELENE ALVES DA SILVA

**PANORAMA DO ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ APÓS 8 ANOS DE
ENCERRAMENTO**

Recife
2019

CELENE ALVES DA SILVA

**PANORAMA DO ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ APÓS 8 ANOS DE
ENCERRAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Nélia Henriques Callado.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586e Silva, Celene Alves da
Panorama do antigo lixão de maceió após 8 anos de encerramento /
Celene Alves da Silva. – 2019.
115 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá.
Coorientadora: Profa. Dra. Nélia Henriques Callado.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências e Anexo.

1. Engenharia Civil. 2. Lixão encerrado. 3. Monitoramento ambiental. 4. Lixão. 5. Comportamento dos resíduos. 6. Monitoramento geotécnico. I. Jucá, José Fernando Thomé. (Orientador). II. Callado, Nélia Henriques. (Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-224

CELENE ALVES DA SILVA

**PANORAMA DO ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ APÓS 8 ANOS DE
ENCERRAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 12/03/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá – Orientador
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Maria Odete Holanda Mariano – Examinadora Externa
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho – Examinador Interno
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha mãe
Maria Alves da Silva, com todo meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e aos meus avós Josefa Rosália da Silva e Manoel Alves da Silva (*In Memoriam*) por me acolherem com tanto amor nos momentos mais difíceis, ensinando o verdadeiro sentido de ética, honra e perseverança;

Ao meu pai do coração Agenor Alves da Silva por seu apoio e cumplicidade ao longo de toda minha vida acadêmica e profissional;

Ao meu irmão, cunhada e sobrinha, Adriano, Juliana e Penélope por todo o suporte logístico para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa;

Aos professores Dr. José Fernando Thomé Jucá e Dra. Nélia Henriques Callado pela orientação e co-orientação, respectivamente, suporte, disponibilidade e paciência;

Ao Professor Dr. Gérson Jacques Miranda dos Anjos da UFPA pelo apoio e esclarecimentos a respeito do curso antes mesmo de inicia-lo;

Aos amigos Andrezza Soares Souto, Marcelo de Melo Ferro, Priscilla Batista Ferreira, Maria Gabriela Lira Rangel, por todo o apoio, suporte, incentivo e colaboração que tornaram o mestrado uma realidade;

Aos colegas do programa de mestrado da UFPE, pela união, suporte e cooperação durante todo o curso;

À Assessora Técnica da SLUM, Liz Araújo, pelas informações, apoio e esclarecimentos cedidos a respeito do antigo lixão de Maceió/AL;

Ao grupo Q4 por todo suporte, parceria, apoio, cumplicidade e orações;

A todos que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa, tornando uma ideia em realidade.

RESUMO

Os lixões inativos de resíduos sólidos urbanos são passivos ambientais que podem causar diversos riscos ao ambiente, à sociedade e à saúde pública, e são pauta de discussão. A falta de um monitoramento sistemático dessas áreas tem conduzido a um significativo desconhecimento dos mecanismos envolvidos e suas consequências ambientais, tais como contaminação do solo; das águas superficiais e subterrâneas; contaminação do ar pelos gases liberados, instabilidade da massa de lixo, impacto econômico e social negativos, além da poluição visual. A cidade de Maceió teve seu antigo lixão encerrado em 2010, e após passar por um processo de recuperação da área degradada, precisa ser monitorado para averiguar como os impactos estão sendo mitigados para evitar que ocorram acidentes. Assim, esse trabalho buscou levantar o histórico do antigo lixão de Maceió/AL, verificar o comportamento apresentado pela massa de resíduos sólidos urbanos enterrada após 8 anos de fechamento do antigo vazadouro, as características das águas superficiais e subterrâneas, dos gases emanados e do chorume gerado, por meio de dados secundários cedidos pela Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM), assim como também avaliar o potencial de uso da área. Os resultados revelaram que a concentração de metano no gás é inferior 25%, compatível com a fase de maturação, compatíveis com os valores de pH ($> 7,0$) e Nitrogênio Amoniacal ($> 400 \text{ mg/L}$) encontrados no lixiviado característicos da fase metanogênica. De maneira semelhante, a baixa concentração de gás metano ($< 25\%$) indica uma faixa compatível com a fase de maturação. O maciço apresentou velocidade de deslocamento constante em torno de $0,10 \text{ mm/dia}$, abaixo do nível de alerta. A caracterização das águas superficiais à jusante do lixão indicou contaminação por efluentes domésticos, enquanto as subterrâneas indicaram presença alguns metais, tais como Alumínio ($> 1552 \text{ mg/L}$), Chumbo ($> 22 \text{ mg/L}$), Ferro ($2,9 < 11,2 \text{ mg/L}$), Zinco ($> 121 \text{ mg/L}$).

Palavras-chave: Lixão encerrado. Monitoramento ambiental. Lixão. Comportamento dos resíduos. Monitoramento geotécnico.

ABSTRACT

The inactive dumps of urban solid waste are environmental liabilities that can cause a number of risks to the environment, to society and to public health, and are subject to discussion. The lack of a systematic monitoring of these areas has led to a significant lack of awareness of the mechanisms involved and their environmental consequences, such as soil contamination; of surface water and groundwater; contamination of the air by gases released, instability of the mass of garbage, negative economic and social impacts, as well as visual pollution. The city of Maceió had its old landfill closed in 2010, and after going through a process of recovery of the degraded area, needs to be monitored to find out how the impacts are being mitigated to prevent accidents. Thus, this study sought to raise the history of the old dump of Maceió/AL, verify the behavior displayed by the mass of urban solid waste buried after 8 years of closure of the old ditch, the characteristics of surface water and underground, from gases and leachate generated, through secondary data provided by the Department of Urban Cleaning of Maceió (SLUM), as well as assess the potential use of the area. The results revealed that the concentrations of methane in the gas is below 25%, consistent with the maturation phase, compatible with the values of pH (> 7.0) and Nitrogen Amonniacal (> 400 mg/L) found in the leachate characteristic of the methanogenic phase. Similarly, the low concentration of methane gas ($< 25\%$), indicates a range compatible with the maturation phase. The massive speed constant displacement presented around 0.10 mm/day, below the alert level. The characterization of surface water downstream of the landfill indicated domestic effluent contamination, while the underground indicated the presence of some metal, such as Aluminum (> 1552 mg/L), Lead (> 22 mg/L), Iron ($2.9 < 11.2$ mg/L), Zinc (> 121 mg/L).

Keywords: Closed landfill. Sanitary landfill. Environmental monitoring. Dump. Behavior of waste. Geotechnical monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista do antigo lixão de Maceió-AL em julho de 2007.....	18
Figura 2 - Vista do antigo lixão encerrado (esquerda), o mar (ao centro), e prédios e shopping (direita)	19
Figura 3 - Vista do antigo lixão encerrado (esquerda) e construção do atacadista (à direita). 19	
Figura 4 - Principais impactos ambientais causados pelos lixões	26
Figura 5 - Aterro Sanitário	28
Figura 6 - Tratamento dos resíduos urbanos em 2016 nos 28 Estados-membros da União Europeia mais Suíça, Noruega e Islândia.	29
Figura 7 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil no período de 2008 a 2017.....	30
Figura 8 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil no período de 2008 – 2017 (%)	31
Figura 9 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia)	32
Figura 10- Quantidade de RSU coletado na região Nordeste do Brasil no período de 2008 até 2017	32
Figura 11- Disposição final de RSU no NE do Brasil ao longo dos últimos 10 anos (t/dia) ...	33
Figura 12- Fases generalizadas na geração de gases de aterro	39
Figura 13- Mudanças típicas na composição do biogás após a deposição dos resíduos	40
Figura 14- Esquema de plumas de contaminação por resíduos.....	43
Figura 15- Vista aérea do antigo lixão.....	45
Figura 16- Localização geográfica do estado	46
Figura 17- Mapa de Maceió com bairros e indicação da área de estudo.....	46
Figura 18- Etapas do desenvolvimento da pesquisa.....	47
Figura 19- Planialtimetria do lixão, locação dos marcos superficiais topográficos e drenos de gás	51
Figura 20- Marco superficial topográfico.....	53
Figura 21- Planta de locação dos poços construídos para o monitoramento de águas subterrâneas	56
Figura 22- Detalhes construtivos dos poços de monitoramento.....	57
Figura 23- Esquema geral da área do antigo lixão de Maceió após reorganização.....	60
Figura 24- Situação do antigo lixão de Maceió antes da adequação	61
Figura 25- Proposta de parque sócio-ambiental para a área do antigo lixão de Maceió	62
Figura 26- Obras de adequação realizadas na área do antigo lixão de Maceió	63

Figura 27- Perfil Geotécnico da área do antigo lixão através de sondagens realizadas em 1995	65
Figura 28- Composição gravimétrica do lixo de Maceió em 1994.	66
Figura 29- Composição gravimétrica do lixão de Maceió em 2000.....	67
Figura 30- Composição gravimétrica do lixão de Maceió em 2006.....	67
Figura 31- Composição gravimétrica em base seca (BS) e úmida (BW) dos resíduos com idade de 30-35 anos (AM 19) e 4 anos (AM 20).....	69
Figura 32- Teor de STV, MO e lignina obtidos para a fração pastosa dos resíduos do antigo lixão	69
Figura 33- Situação atual do antigo lixão.....	71
Figura 34- Locação dos drenos de gás.....	73
Figura 35- Vazões, concentrações e emissões de metano em 2015	75
Figura 36- Localização dos poços de coleta utilizados para o laudo de lixiviado desde 2013.....	77
Figura 37- Climatologia dos últimos 30 anos.....	79
Figura 38- Distribuição das precipitações nos últimos 8 anos	81
Figura 39- Deslocamentos horizontal - vertical e velocidades do MC-01 ao longo do tempo.....	82
Figura 40- Bacia hidrográfica onde está inserido o antigo lixão de Maceió	85
Figura 41- Fluxo das águas subterrâneas de Maceió.....	89
Figura 42- Localização dos poços de monitoramento de águas subterrâneas na área do antigo lixão	91
Figura 43- Coleta de amostras nos poços do Ed. Firenze, PM-02, PM-03 e PM-04, respectivamente.	95
Figura 44- Localização dos poços utilizados como base para os dados de 2005	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalo de duração das fases.....	39
Tabela 2 - Características típicas do lixiviado dos aterros sanitários brasileiros nas fases ácida e metanogênica.....	42
Tabela 3 - Valores do Limite de Quantificação Praticáveis (LQP).....	44
Tabela 4 - Parâmetros do lixiviado analisados em laboratório.....	53
Tabela 5 - Parâmetros de análise de qualidade das águas superficiais.....	54
Tabela 6 - Parâmetros analisados nas águas subterrâneas.....	58
Tabela 7 - Dados do monitoramento de metano em abril/2015	73
Tabela 8 - Valores médio obtidos de CH ₄ em junho/2016	74
Tabela 9 - Valores obtidos de CH ₄ em junho/2018.....	74
Tabela 10- Valores Metais Pesados do lixiviado do antigo lixão de Maceió/AL ao longo do tempo	77
Tabela 11- Valores do lixiviado do antigo lixão de Maceió/AL ao longo do tempo	78
Tabela 12- Precipitações anuais dos últimos 8 anos	80
Tabela 13- Monitoramento do marco topográfico MC-1	83
Tabela 14- Valores mínimos e máximos do histórico de dados do Aterro Sanitário Bandeirantes/SP.....	83
Tabela 15- Parâmetros físico-químicos analisados	86
Tabela 16- Parâmetros físico-químicos analisados	87
Tabela 17- Metais analisados nas amostras coletadas em maio de 2016	90
Tabela 18- Parâmetros físico-químicos (não metais) analisados nas amostras coletas em maio 2016	90
Tabela 19- Resultado das amostras do poço localizado na Vila Emater	92
Tabela 20- Resultado das amostras do poço localizado na Vila Emater	93
Tabela 21- Resultado das amostras coletadas no poço do Ed. Firenze	93
Tabela 22- Resultado das amostras coletadas no poço do Ed. Firenze	94
Tabela 23- Resultado das análises realizadas nas águas subterrâneas em 2005.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AFP	<i>Agência France-Presse</i>
CEMPRE	Compromisso Empresarial Para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEWEP	<i>Confederation of European Waste-to-Energy Plants</i>
COBEL	Companhia Beneficiadora de Lixo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FEAM	Fundação estadual do meio ambiente de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LMOP	<i>Landfill Methane Outreach Program</i>
LFG	<i>Landfill gas</i>
LQP	Limite de Quantificação Praticável
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MO	Matéria Orgânica
MS	Ministério da Saúde
PERS	Planos Estadual de Resíduos Sólidos
PIGIRS	Planos Intermunicipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos
PMM	Prefeitura Municipal de Maceió

PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
RCE	Certificado de Emissões Reduzidas
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEDET	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLUM	Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SPT	Standard Penetration Test ou Sondagem à Percussão
STV	Sólidos Totais Voláteis
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	MOTIVAÇÃO	16
1.2	A PROBLEMÁTICA.....	17
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivos Gerais.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos	20
1.4	ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	22
2.1.1	Legislação vigente	23
2.2	TIPOS DE DISPOSIÇÃO FINAL	25
2.2.1	Disposição inadequada	25
2.2.1.1	Lixões ou Vazadouros à céu aberto	25
2.2.1.2	Aterro controlado	27
2.2.2	Disposição adequada.....	27
2.2.2.1	Aterro sanitário	27
2.3	PANORAMA BRASILEIRO DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU	29
2.3.1	Panorama nacional	31
2.3.2	Panorama da região Nordeste.....	32
2.3.3	Panorama da cidade de Maceió	33
2.4	ÁREAS DEGRADADAS	34
2.4.1	Potencial de aproveitamento da área	35
2.5	MONITORAMENTO DE ÁREAS UTILIZADAS COMO DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU	36
2.5.1	Inspeção visual	37
2.5.2	Deslocamentos verticais (recalques) e horizontais	38
2.5.3	Produção de gases	38

2.5.4	Produção de percolado (lixiviado).....	41
2.5.5	Qualidade das águas superficiais e subterrâneas.....	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	45
3.2	Planejamento metodológico.....	47
3.2.1	Levantamento literário	48
3.2.2	Visitas e reuniões técnicas	48
3.2.3	Obtenção dos dados históricos	48
3.2.4	Definição dos parâmetros de análise	50
3.2.5	Inspeção visual	50
3.2.6	Produção e composição dos gases	52
3.2.7	Caracterização de lixiviado	52
3.2.8	Recalque do maciço.....	53
3.2.9	Qualidade das águas superficiais.....	54
3.2.10	Qualidade das águas subterrâneas	55
3.2.11	Estudo do potencial aproveitamento da área	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ.....	59
4.2	INSPEÇÃO VISUAL	70
4.3	MONITORAMENTO DOS GASES	72
4.4	MONITORAMENTO DO LIXIVIADO	76
4.5	MONITORAMENTO DO RECALQUE DO MACIÇO	82
4.6	ANÁLISE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	84
4.6.1	Águas Superficiais.....	84
4.6.2	Águas Subterrâneas	88
4.7	POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ÁREA	97
5	CONCLUSÕES.....	99

5.1	TRABALHOS FUTUROS	101
	REFERÊNCIAS	102
	ANEXO A – TABELAS DE DESLOCAMENTOS	111

1 INTRODUÇÃO

A importância dada à destinação final dos resíduos sólidos é algo que vem sendo amplamente discutido de maneira global, uma vez que a maior parte das atividades humanas geram os mais diversos tipos de resíduos e com um volume crescente, sua composição inclui materiais orgânicos, inorgânicos e químicos perigosos. Todos eles necessitam de um tratamento e descarte adequados, pois, do contrário, são capazes de gerar problemas ambientais e à saúde humana.

1.1 MOTIVAÇÃO

Ao longo do tempo, os resíduos apresentam modificações na sua quantidade e composição, servindo de indicadores das evoluções tecnológicas, culturais, comportamentais e crescimento econômico de uma população (SOUTO e POVINELLI, 2013), esse fato suscita uma preocupação genuína com a limitação dos recursos naturais disponíveis no planeta, a necessidade de um consumo consciente e destinação adequada aos resíduos gerados.

Unido a essa necessidade de tratamento e preservação, fruto de uma consciência ambiental recente e imprescindível, há que se rever o modo de descarte praticado nas cidades que até então era realizado em terrenos sem qualquer preparo da área, dando origem aos chamados lixões ou vazadouros. De acordo com Vilar, Machado e Carvalho (2015), as legislações ambientais foram intensificadas a partir da década de 1980, com a edição de atos regulatórios voltados às formas de produção, exploração dos recursos e gerenciamento dos resíduos. Entretanto, apenas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 foi possível obter estratégias de gestão integrada e gerenciamento dos resíduos.

Boscov (2008) ressalta que a contaminação originada pela disposição inadequada dos resíduos gera sérios danos ao meio ambiente, à saúde da população circunvizinha e ao município como um todo. Desta forma, se faz necessário a aplicabilidade das técnicas de remediação disponíveis para mitigar os impactos causados, atendendo às exigências previstas nas legislações vigentes. Esse processo de recuperação das áreas contaminadas, realizado por meio da implementação de técnicas de engenharia, monitoramento e fiscalização ambiental é instrumento previsto na PNRS (BRASIL, 2010), possibilitando a revitalização da área para a sociedade local.

Assim, a cidade de Maceió possui uma grande área de passivo ambiental resultante de mais de 4 décadas de disposição inadequada em uma região antes considerada distante da cidade, porém, com o crescimento populacional, econômico e imobiliário, a área ficou inserida na área urbana, apresentando crescente valorização comercial. No seu entorno foram construídos shopping, grandes estabelecimentos comerciais e empreendimentos residenciais, além da permanência da comunidade circunvizinha remanescente. A maioria da população mais recente desconhece o conteúdo do grande morro que se formou a poucos metros da praia de Jacarecica, cuja altura permite visualizar boa parte da cidade.

1.2 A PROBLEMÁTICA

No atual panorama global relativo ao consumo e descarte conscientes, o tratamento e a deposição adequados dos resíduos têm levantado uma preocupação quando se trata de passivo ambiental de resíduos sólidos urbanos (RSU). O descarte de resíduos de uma cidade em área sem qualquer impermeabilização do solo, sem instalação de dispositivos de monitoramento e controle dos gases e líquidos gerados, mesmo após o encerramento da deposição desses resíduos no local, pode causar acidentes e levar a diversos riscos ambientais, sociais e à saúde pública. Dentre os principais agravos estão a contaminação do solo; das águas superficiais e subterrâneas (por meio do lixiviado gerado pela mistura da umidade com o chorume derivado da decomposição dos resíduos orgânicos); a contaminação do ar através da liberação de gases como o metano, gás sulfídrico, dióxido de carbono, entre outros; e a instabilidade da massa de lixo, que pode levar a rupturas e/ou desmoronamentos do maciço, além de causar a poluição visual de modo geral.

De acordo com a agência internacional de notícias *Agência France-Presse* (AFP), em março de 2017, um grande maciço de lixo desmoronou matando 30 pessoas e ferindo outras dezenas numa área localizada na periferia da capital Addis Ababade, Etiópia. No Brasil, um grande deslizamento ocorrido no morro do Bumba, em Niterói-RJ, matou 47 pessoas e deixou aproximadamente 300 desabrigados. A área havia sido utilizada como lixão da cidade até meados de 1986 e posteriormente ocupada irregularmente (CARVALHO, 2014). Outro caso de grande divulgação nacional envolvendo construção em áreas utilizadas como depósito de resíduos foi a situação do Shopping Center Norte, localizado na Vila Guilherme, na cidade de São Paulo, construído sobre uma área de lixão aterrado. Apesar da edificação ser do início da década de 80, uma sondagem realizada em 2010, foi identificada uma camada de lixo de 10m

de profundidade sem vestígios do solo natural, além da presença de grande quantidade de gás metano no subsolo do shopping, em suas galerias de águas pluviais e elétricas (CETESB, 2011).

No caso da capital alagoana, a área do antigo lixão de Maceió (Figura 1), cujas atividades foram encerradas em abril de 2010, está localizada na região urbana da cidade. No entorno dessa área ocorreu um grande avanço imobiliário, com a construção de casas e prédios residenciais, o maior shopping da cidade inaugurado em 2013 (Figura 2), loja de material de construção de grande porte, inaugurada em 2016, obras da duplicação da AL 101 NORTE que passa em frente a área do antigo lixão e, mais recentemente, a loja de uma rede atacadista de alimentos, localizada ao lado da área em estudo (Figura 3), foi inaugurada em 2018. Além disso, há poços artesianos de abastecimento de água mineral nas proximidades da região estudada que também está próxima à praia de Jacarecica (Maceió-AL), reforçando a necessidade de monitoramento para prevenir acidentes.

Figura 1 - Vista do antigo lixão de Maceió-AL em julho de 2007



Fonte: Regis (2007).

Figura 2 - Vista do antigo lixão encerrado (esquerda), o mar (ao centro), e prédios e shopping (direita)



Fonte: Adaptado de PJM Drone (2017).

Figura 3 - Vista do antigo lixão encerrado (esquerda) e construção do atacadista (à direita).



Fonte: Adaptado de Drone Mídia (2018).

1.3 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos gerais e específicos.

1.3.1 Objetivos Gerais

Este trabalho buscou verificar o comportamento apresentado pela massa de resíduos sólidos urbanos do lixão de Maceió, nos primeiros 8 anos após o encerramento do lixão, através da análise dos dados secundário gerados pelo monitoramento geoambiental realizado pela Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM).

1.3.2 Objetivos Específicos

Dentre as especificidades de interesse para esta dissertação, pode-se destacar:

- Levantar a história do antigo lixão e suas principais características físicas e dos resíduos enterrados;
- Avaliar a produção do gás e seu potencial de contaminação do ar;
- Caracterizar o lixiviado e seu potencial de contaminação das águas e do solo;
- Avaliar a qualidade das águas superficiais e verificar se as mesmas sofrem influência de um possível escoamento/percolação de chorume;
- Avaliar as movimentações da massa de lixo;
- Identificar o potencial de aproveitamento para a área do antigo lixão.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

O conteúdo deste estudo se encontra distribuído em capítulos da seguinte forma:

O capítulo 1 apresenta os principais conceitos introdutórios a respeito do tema abordado com a sequência iniciada pela motivação do projeto, seguida pela problemática do lixão nas cidades onde não há disposição correta dos resíduos sólidos urbanos e os respectivos impactos ambientais causados, finalizando com as definições dos objetivos e apresentação da estrutura desta dissertação.

O capítulo 2 expõe uma revisão bibliográfica substancial para a pesquisa, abrangendo conceitos a respeito dos resíduos sólidos urbanos e suas formas de destinação finais praticadas no Brasil; panorama atual da disposição final dos RSU, áreas degradadas, monitoramento geotécnico e ambiental realizados em áreas de lixões encerrados.

No capítulo 3 descreve a metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho, destacando o tipo de pesquisa adotada, a forma de obtenção dos dados e tipo de análise utilizada no tratamento das informações obtidas, bem como a caracterização da região estudada e o alinhamento do estudo proposto pelo trabalho, revelando as principais influências do maciço para a população circunvizinha.

O capítulo 4 apresenta os resultados mais significativos provenientes das análises e discussões críticas a respeito dos mesmos.

No capítulo 5 são expostas as principais conclusões obtidas após a realização do trabalho e as propostas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos a respeito dos resíduos sólidos urbanos e suas formas de destinação final praticados no Brasil; panorama atual da disposição final dos RSU, áreas degradadas, monitoramento geotécnico e ambiental realizados em áreas de lixões encerrados.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), as pessoas consideram lixo todo material que não lhes apresenta nenhuma utilidade e por isso deve ser descartado. Entretanto, essa massa de resíduos apresenta composição diversificada que necessita de manejo diferenciado, possibilitando uma classificação mais abrangente. Qualquer matéria descartada ou abandonada ao longo de atividades industriais, comerciais, domésticas ou outras, mesmo como subprodutos sem demanda econômica, e para os quais é necessária disposição, pode ser definido como resíduo (BOSCOV, 2008).

A norma brasileira NBR 10.004/2004 apresenta uma classificação mais abrangente para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU):

Resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2004, p.1).

Ainda de acordo com a NBR 10.004/2014, esses resíduos são reagrupados em Resíduos Classe I – perigosos, Resíduos Classe IIA – não ineres e Resíduos Classe IIB – inertes; com base em sua fonte e processos de origem associados à comparação de valores já conhecidos da periculosidade e da solubilização de suas substâncias componentes.

No Brasil, o aumento na produção de RSU foi proporcional ao crescimento populacional e do poder de consumo da sociedade, obrigando a administração pública a desenvolver ações e manejos de resíduos na tentativa de evitar o colapso de um sistema de esgotamento de RSU, o qual já estava bastante sobrecarregado (RATHMANN, 2017).

De acordo com o PNRS, o gerenciamento efetivo desses resíduos sólidos alinhado ao plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos – PMGIRS ou com o plano de

gerenciamento de resíduos sólidos – PGRS configuram um conjunto de ações mitigadoras que são exercidas direta ou indiretamente nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, bem como na disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Ao serem desenvolvidas de forma integradas essas ações apontam soluções para os resíduos sólidos no âmbito político, econômico, ambiental, cultural e social, tendo como premissa o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Cerca de 60% dos resíduos gerados pela população brasileira são matérias orgânicas, tornando os RSU ainda mais poluentes devido à elevada produção de lixiviado e consequentemente o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Porém, o descarte de RSU em lixões, aterros sanitários ou qualquer outro local, bem como o tratamento de esgotos domésticos/industriais e a queima de resíduos agrícolas, pode produzir emissões de gases como: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (N_2O), sendo o metano o mais poluente (RATHMANN, 2017).

Entretanto, a disposição inadequada de RSU contamina tanto o ar, o solo, as águas superficiais e subterrâneas, quanto prolifera focos e vetores de transmissão de doenças, com impactos na saúde pública, e, consequentemente, gera problemas socioambientais (RATHMANN, 2017).

Com a edição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através Lei nº 12.305/2010, que foi regulamentada pelo decreto Federal nº 7404/2010, instituiu-se um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. A referida lei não só estabelece a ordem de prioridades na gestão dos resíduos, como deixa clara a sua obrigatoriedade conforme a sequência: i) não geração; ii) redução; iii) reutilização; iv) reciclagem v) tratamento dos resíduos sólidos; e vi) disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entendendo-se por rejeitos os resíduos para os quais ainda não há tecnologia ou viabilidade econômica disponíveis para o seu tratamento e recuperação (VILAR, MACHADO E CARVALHO, 2015).

2.1.1 Legislação vigente

Segundo Pott e Estrela (2017), as políticas públicas mundiais voltadas para o meio ambiente são ações tardias desencadeadas por grandes desastres de contaminações ambientais

que atingem centenas de pessoas, antecedendo a mobilização da sociedade e tomadas de decisão, comprovando o enfoque na remediação e não na prevenção.

No caso da União Europeia, a legislação e a política de resíduos baseia-se na Directiva 2008/ 98/ CE de 12 de dezembro de 2008. Mais recentemente ela foi atualizada, em 2014 e novamente em 2015, para manter o uso das técnicas mais adequadas de gerenciamento, recuperação e reciclagem de resíduos, buscando reduzir a exploração de matéria-prima e otimizar o uso dos recursos já extraídos, como forma de proteger a saúde humana e o meio ambiente, preservando a água, o ar, o solo, a fauna e a flora. Com isso, os Estados-Membros da UE seguem invariavelmente a hierarquia da prevenção, reuso, reciclagem, recuperação, disposição final respaldados na sua legislação de resíduos (EUROSTAT, 2018).

Condutora principal na gestão integrada e no gerenciamento ambiental apropriado dos RSU, a PNRS (2010) se tornou uma importante ferramenta tanto para o Governo Federal de forma isolada ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares. Ela integra a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e articula-se tanto com a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), regulada pela Lei no 9.795, de 27 de abril de 1999, quanto com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), regulada pela Lei nº 11.445, de 2007, além da Lei no 11.107, de 6 de abril de 2005 (BRASIL, 2010).

A Lei nº 12.305/2010 apresenta como planos de resíduos sólidos (abrangendo todos os tipos de resíduos), o plano nacional; os planos estaduais; microrregionais; de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; os planos intermunicipais; os municipais e os de gerenciamento de resíduos sólidos. Ressaltando que a concepção do plano estadual de resíduos sólidos (PERS) é condição basilar para que os Estados sejam contemplados com recursos da União ou controlados por ela para fins de gestão destes resíduos, priorizando os estados que instituem microrregiões e áreas que apresentarem soluções consorciadas intermunicipais, incentivando a formação de consórcios (BRASIL,2010).

Dessa forma, o estado de Alagoas vem se adequando ao PNRS, regido pela legislação atual, no qual se baseiam tanto o PERS-AL, quanto seu Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos Municípios de Alagoas (PEGIRS-AL). O PEGIRS-AL contempla a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos em quatro regiões: Sertão, Bacia Leiteira, Agreste e Sul. Nele foi apresentado o diagnóstico inicial da situação dos resíduos sólidos urbanos, com proposições de arranjos para a gestão integrada dos resíduos, levando em consideração a projeção de diferentes cenários econômicos e de gestão (FLORAM,2016).

2.2 TIPOS DE DISPOSIÇÃO FINAL

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2017), mais de 50% dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2030) incluem temas concernentes com a gestão de resíduos, tais objetivos e metas abrangem as áreas de segurança alimentar, saúde ou cidades sustentáveis, indicando que não podem ser alcançados sem uma gestão adequada dos resíduos sólidos.

2.2.1 Disposição inadequada

A disposição de resíduos em lixões ou vazadouros, assim como em aterros controlados são bastante utilizadas em países subdesenvolvidos mesmo se tratando de formas ambientalmente inadequadas, conforme características descritas abaixo.

2.2.1.1 Lixões ou Vazadouros à céu aberto

Souto e Povinelli (2013) descrevem o lixão ou vazadouro a céu aberto, como uma área de destinação convencional de resíduos, geralmente afastada da comunidade, tornando-se um grande foco de contaminação do ar e das águas, assim como um local de alimentação e abrigo de organismos vetores de doenças.

De forma ainda mais abrangente, a ABRELPE (2017) define vazadouro, lixão a céu aberto ou apenas lixão como o local onde ocorre a disposição indiscriminada de resíduos sólidos no solo, sem qualquer tipo de medida de controle operacional e de proteção do ambiente do entorno (Figura 4). Essas áreas possuem resíduos de diversas fontes e composições, raramente é coberto ou compactado, apresentando frequente queima a céu aberto. Não há qualquer controle dos resíduos depositados no local, nem sistema de coleta para o lixiviado e gás metano gerados.

Além disso, o fácil acesso às áreas de lixões totalmente sem controle viabiliza a presença de animais e pessoas coletando materiais recicláveis para comercialização posterior, desprovidas de qualquer equipamento de proteção individual. São homens, mulheres e crianças, denominados catadores, que, em sua maioria, vivem dentro ou no entorno do lixão e se alimentam dos restos de comida encontrados no local. O conjunto de problemas desencadeados por esse tipo de descarte configura os lixões como o menos recomendado para destinar os resíduos sólidos urbanos (SEIDEL, 2014).

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE (2010), os resíduos brasileiros descartados são compostos em sua maioria por matéria orgânica, que ao se decompor gera o chorume (líquido preto e malcheiroso) que ao percolar a massa de resíduos, juntamente com a água de infiltração do maciço, para a se chamar lixiviado e esse tem grande potencial de contaminação do solo e do lençol freático.

Figura 4 - Principais impactos ambientais causados pelos lixões



Fonte: FEAM (2010).

A ABRELPE (2017) destaca que os potenciais danos causados pelos lixões atingem a saúde tanto das pessoas que vivem no entorno quanto daquelas envolvidas em sua operação, contaminam os recursos hídricos e poluem o ar cujos compostos tóxicos, dentre eles o gás metano, podem percorrer longas distâncias a partir da fonte geradora. Isso evidencia o quão imprescindível é o fechamento ou a adequação dos lixões como forma de controlar os impactos atuais e futuros da gestão de resíduos no meio ambiente e na saúde pública.

Segundo a ABRELPE (2017), as áreas de lixões são as maiores fontes de poluição do planeta, contudo ainda são uma das formas de destinação de resíduos no mundo. Presente em quase todos os países em desenvolvimento, os vazadouros são responsáveis pela poluição do ar, do solo e das águas, contaminando com substâncias tóxicas e cancerígenas a vida de milhares de pessoas que vivem nas proximidades desses locais e/ou consomem produtos contaminados pelos mesmos. A Lei 12.305/10 torna ilegal esse tipo de destinação ou disposição final, e em seu capítulo VI, artigo 47, a mesma condena definitivamente o

lançamento “*in natura*” a céu aberto (excetuados os resíduos de mineração) ou em qualquer corpo hídrico, assim como a queima a céu aberto ou em recipientes.

Segundo Youcai e Ziyang (2017), resíduos domésticos foram despejados em quaisquer locais disponíveis por um longo tempo, sem controle de poluição medidas. E esta é uma realidade que ainda persiste, pois de acordo com a ABRELPE (2017), os lixões recebem cerca de 40% dos resíduos sólidos do planeta e se o cenário atual persistir ao longo do tempo, os lixões serão responsáveis por 8 a 10% das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa até 2025.

Dentre os gases produzidos pela decomposição dos resíduos sólidos, destacam-se em volume o dióxido de carbono e o metano. Esse último também pode ser gerado a partir do tratamento anaeróbio de esgotos e águas residuais e queima de resíduos agrícolas. Entretanto, a decomposição anaeróbia de resíduos produz elevadas quantidades desse gás, tendo como suas principais fontes geradoras de gás a disposição de lixo em aterros e o tratamento anaeróbio de efluentes líquidos (RATHMANN, 2017).

2.2.1.2 Aterro controlado

De acordo com o ABRELPE (2017), esse modelo de descarte final dos RSU brasileiros representa 22,9%, das disposições adotadas. Porém, o CEMPRE (2018) destaca que o aterro controlado se diferencia do lixão ou vazadouro apenas pela cobertura dos resíduos através de uma camada de material inerte (solo) ao término de cada jornada de trabalho, reduzindo a proliferação de vetores e o empilhamento dos RSU.

2.2.2 Disposição adequada

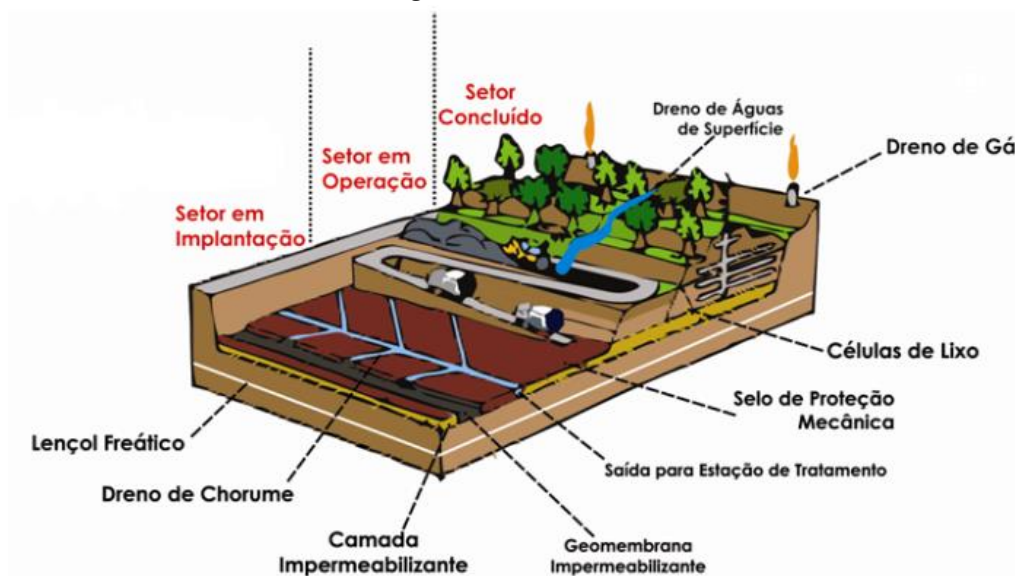
Esse tipo de disposição final dos resíduos não perigosos e não inertes, como os RSU, é considerado a solução ambientalmente adequada mais econômica.

2.2.2.1 Aterro sanitário

De acordo com a ABNT NBR 8419/1992, “aterro sanitário (Figura 5) é uma área preparada sob a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, utilizando princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor

volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”.

Figura 5 - Aterro Sanitário



Fonte: IPT (2000) *apud* BERTICELLI, PANDOLFO, KORF (2017).

No aterro, a biodegradação anaeróbia dos resíduos proporciona a estabilização dos mesmos a longo prazo, ocasionando a redução do seu volume. Entretanto, esse processo também gera líquidos, chamados de lixiviado, conhecido popularmente como chorume; e gases que conseguem ultrapassar a massa de resíduo, ressaltando que sempre haverá riscos iminentes ao meio ambiente, mesmo seguindo todas técnicas e normas vigentes (SOUTO E POVINELLI, 2013).

Segundo a PNRS, a destinação final ambientalmente adequada inclui ainda as etapas de reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) (BRASIL, 2010). Além disso, de acordo com a Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986, a implantação de aterros sanitários de resíduos sólidos necessita da elaboração de um EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e seu respectivo RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) (BRASIL, 1986).

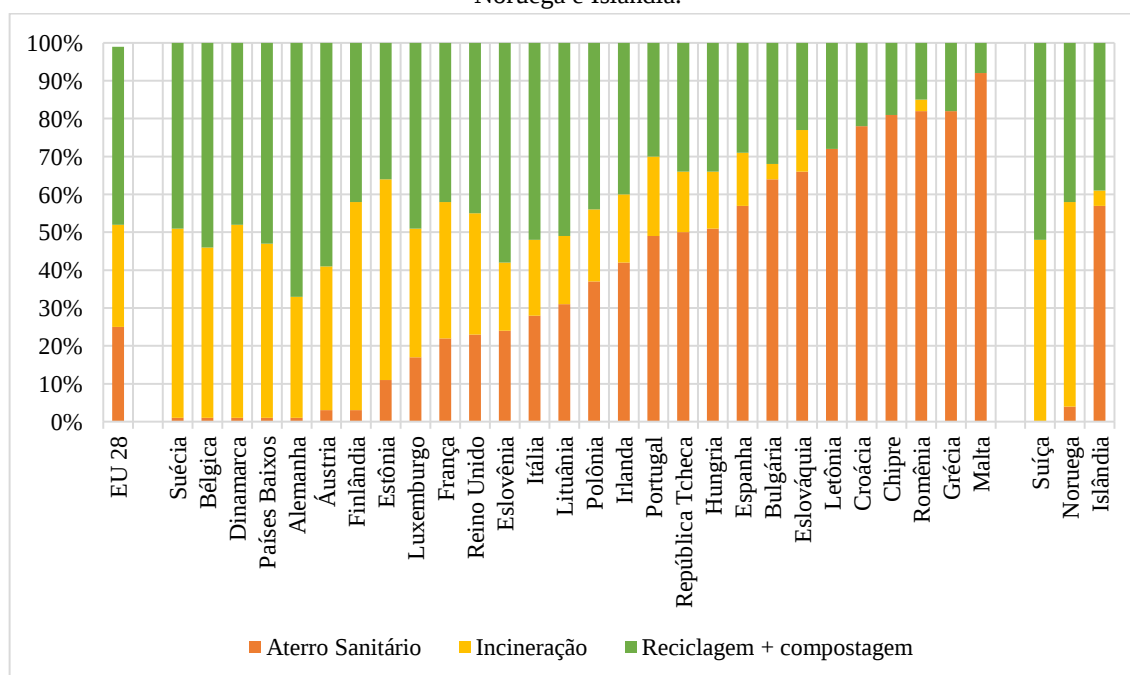
Um projeto de aterro sanitário deve apresentar elementos fundamentais como a previsão da sua impermeabilização inferior e/ou superior usando argila selecionada e compactada como forma de impedir a contaminação das águas superficiais e subterrâneas

através do lixiviado gerado; Sistemas de drenagem superficial para redirecionar as águas das chuvas evitando que se infiltrem totalmente nos resíduos, aumentando o fluxo de lixiviado; Sistema de drenagem de gás para liberar o gás formado pela decomposição dos resíduos orgânicos; Sistema de tratamento e drenagem de percolado obrigatório antes do seu lançamento em qualquer corpo d'água, podendo o referido tratamento ser realizado tanto na área do aterro quanto em uma estação de tratamento de esgoto, quando autorizado pela companhia (ELK, 2007).

2.3 PANORAMA BRASILEIRO DA DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU

Embora o PNRS brasileiro adote como melhor destinação final para os RSU o aterro sanitário, na Europa esse tipo de disposição final vem dando lugar às tecnologias que gerem menos passivo ambiental, como a reciclagem, a compostagem e a geração de energia. Nos Estados-Membros da União Europeia mais antigos a exigência da não criação e redução no uso dos aterros sanitários é ainda mais forte, sendo tolerado alguns índices maiores aos estados-membros mais recentes no grupo da UE apresentado na *Confederation of European Waste-to-Energy Plants 2018 (CEWEP)* (Figura 6), baseado nos dados da Eurostat, referentes ao ano de 2016.

Figura 6 - Tratamento dos resíduos urbanos em 2016 nos 28 Estados-membros da União Europeia mais Suíça, Noruega e Islândia.

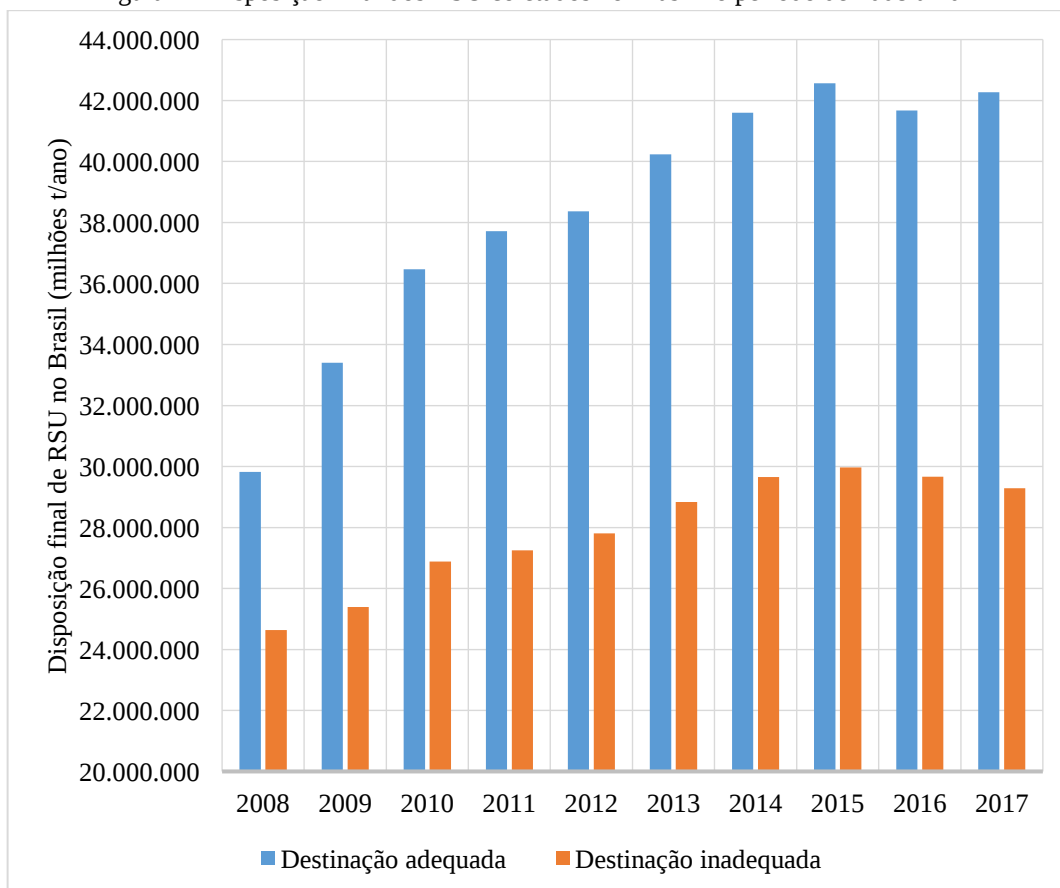


Fonte: CEWEP (2018).

Nele é possível observar que 7 países já alcançaram o patamar de menos de 10% dos seus resíduos aterrados, sendo esse o objetivo da UE até 2035. Dentre os pioneiros estão a Alemanha, com 66% dos seus resíduos reciclados, Bélgica, Dinamarca e Suécia, todos têm apenas 1% dos seus RSU descartados em aterros. Entretanto, países como Chipre, Grécia e Malta destinam mais de 80% dos seus RSU para os aterros sanitários, porém, todos deverão se adequar aos índices pré-estabelecidos até o ano de 2035.

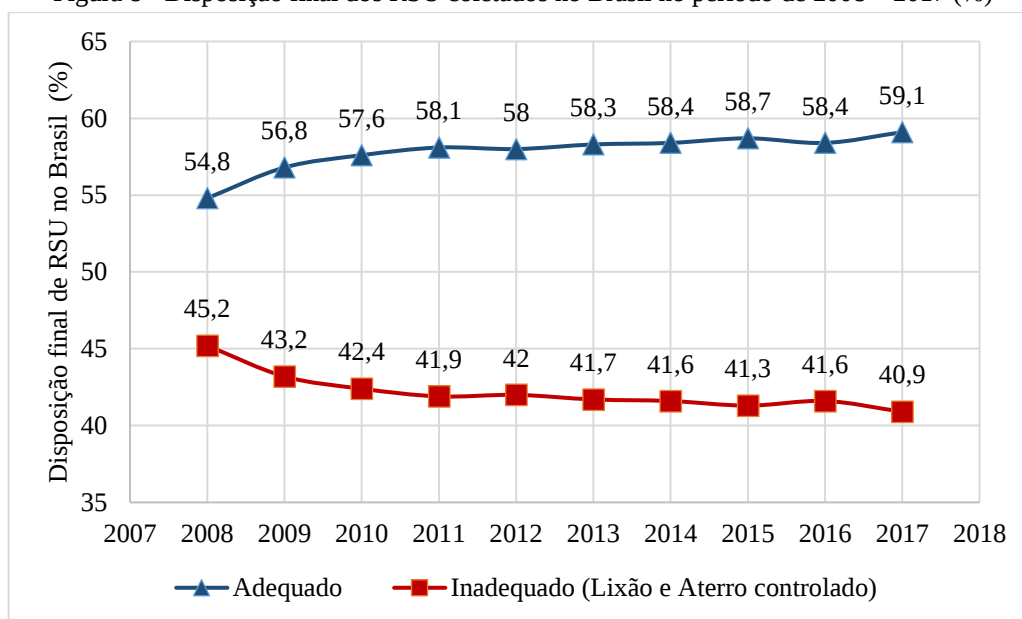
Segundo a ABRELPE (2017), a geração de RSU no Brasil em 2017, cresceu 1 % em relação ao ano de 2016, chegando ao valor estimado de 78,4 milhões de toneladas, destes, 6,9 milhões de toneladas não foram coletados e consequentemente tiveram destinação imprópria. Porém, dentre os resíduos coletados, cujo valor estimado é 71,6 milhões de toneladas, ainda há descarte inadequado em lixões e aterros controlados, cujo valor é de cerca de 29 milhões de toneladas. Além disso, as Figuras 7 e 8 mostram um crescimento sutil para disposição adequada dos RSU coletados, conforme dados apresentados pela ABRELPE referente ao período de 2008 a 2017.

Figura 7 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil no período de 2008 a 2017



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2017).

Figura 8 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil no período de 2008 – 2017 (%)



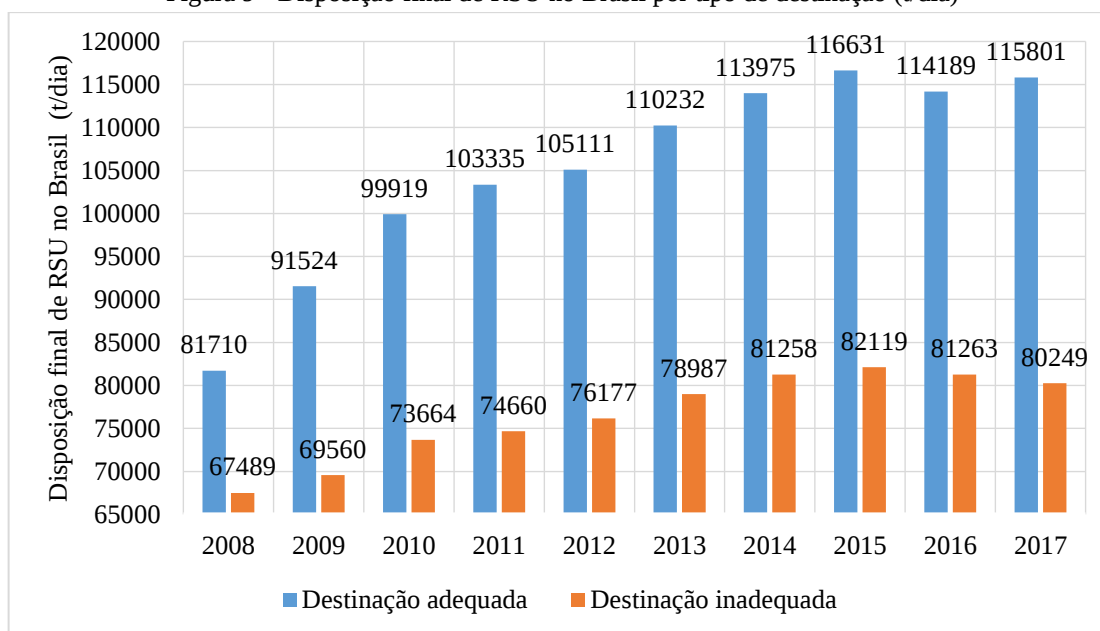
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2017).

Seidel (2014) ressalta que a partir da regulamentação da Lei 12.305/10 por meio do Decreto nº 3.179 de 21 de setembro de 2010, o descarte irregular tornou-se crime, cujas penalidades seguem as determinações da Lei de Crimes Ambientais, Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 2010).

2.3.1 Panorama nacional

O gráfico da Figura 9 mostra que dos 59,1% de RSU coletados em 2017 no Brasil, cerca de 115.801 t/dia foram encaminhados para aterros sanitários, enquanto 40,9%, o que representa cerca de 80.249 t/dia, tiveram destinação final inadequada como os lixões e aterros controlados distribuídos em 3.352 municípios brasileiros. Em todo o país eles chegam a receber mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde (ABRELPE, 2017).

Figura 9 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia)

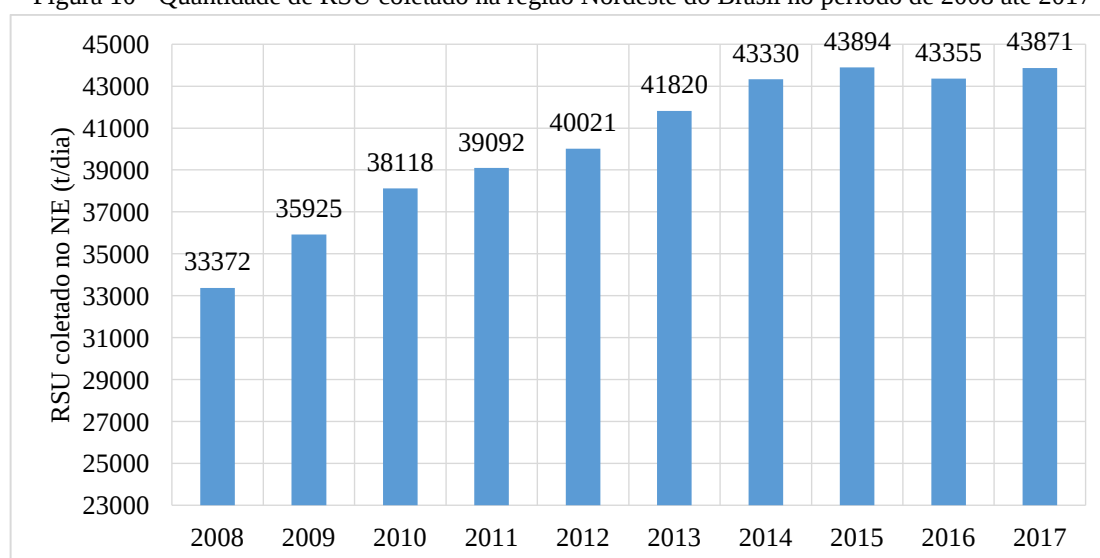


Fonte: Adaptado da ABRELPE (2017).

2.3.2 Panorama da região Nordeste

O Nordeste brasileiro ainda está longe de cumprir a determinação da PNRS, ao menos é o que mostram os resultados apresentados pela ABRELPE referente ao ano de 2017 para essa região composta por 1.794 municípios. Foram gerados aproximadamente 55.492 ton/dia de RSU, mas apenas 79,1% desse montante foram coletados (Figura 10), que também apresenta a evolução quantitativa da coleta de resíduos na região no período de 2008 até 2017.

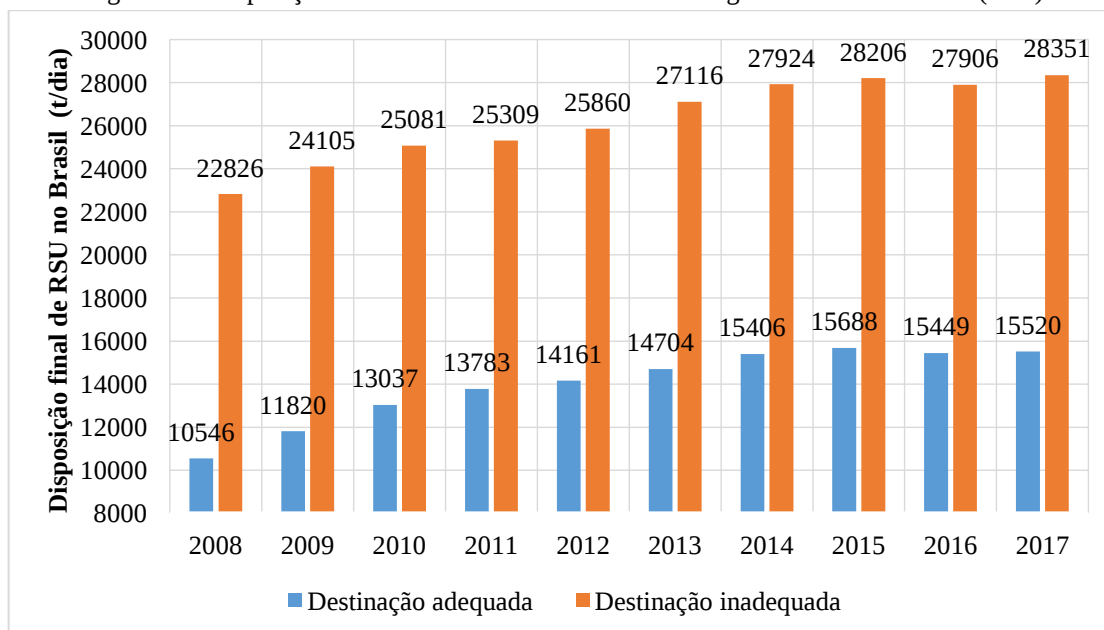
Figura 10 - Quantidade de RSU coletado na região Nordeste do Brasil no período de 2008 até 2017



Fonte: Adaptado da ABRELPE (2017).

O gráfico da Figura 11 mostra o baixo avanço no tratamento adequado dos RSU ao longo da última década, apesar dos prazos da legislação em vigor no País. Observa-se que apenas 15.520t, dos 43.871t coletados diariamente no Nordeste, tiveram destinação adequada. Isso significa que que 64,6% dos resíduos coletados diariamente no Nordeste brasileiro foram encaminhados para lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2017).

Figura 11 - Disposição final de RSU no NE do Brasil ao longo dos últimos 10 anos (t/dia)



Fonte: Adaptado da ABRELPE (2017).

Esses números refletem os baixos valores investidos na coleta de RSU e limpeza urbana dos municípios da região Nordeste em 2017 em relação a outras regiões do Brasil, cerca de R\$ 8,66 por pessoa/mês, apesar desse valor representar um crescimento de 6,3% em relação ao ano de 2016 e um movimento de aproximadamente R\$ 6,45 bilhões (ABRELPE, 2017).

2.3.3 Panorama da cidade de Maceió

De acordo com o senso do IBGE (2010), a cidade de Maceió tem uma estimativa populacional para o ano de 2018 de 1.012,382 habitantes. Desde 30 de abril de 2010 destina seus resíduos para tratamento e disposição final na Central de Tratamento de Resíduos de Maceió – CTR Maceió. Segundo a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH), a cidade gera 1.141,11 t/dia de RSU que são destinados ao

aterro sanitário da cidade. De acordo com a SLUM, o serviço de coleta de RSU cobre 100% da cidade, contando ainda com 4 unidades cooperativas de coleta seletiva para reciclagem, além de pontos de coleta de resíduos especiais como ação da logística reversa para lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, mercúrio e luz mista, pilhas e baterias de lâmpadas, baterias de celular e pilhas.

2.4 ÁREAS DEGRADADAS

Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013), descrevem essas áreas como regiões com algum tipo de desequilíbrio físicos e/ou químicos e/ou biológicos de um ou mais sistemas que compõem o meio ambiente, em consequência de fatores como a retirada de material geológico por meio de escavações e/ou erosões, acréscimo de material de aterro, disposição de resíduos e rejeitos, alteração da fertilidade e compactação do solo, declínio da biodiversidade, contaminação/poluição. Essas alterações podem causar alteração da paisagem natural, bem como riscos à saúde e à segurança das pessoas em diferentes magnitudes e intensidades.

Dependendo do nível de degradação, a recuperação natural não será possível, sendo necessária uma intervenção corretiva baseada em uma investigação detalhada da área atingida para identificar as causas e posteriormente determinar as ações mais adequadas para a reverter o processo de degradação. Após o restabelecimento do equilíbrio dos processos físicos, químicos e biológicos a níveis aceitáveis que possibilitarão o uso da área degradada, outra ação igualmente importante é a manutenção, evitando que ocorra reativação dos processos de degradação elevando os níveis de degradação novamente (PEJON, RODRIGUES e ZUQUETTE, 2013).

Na PNRS essas áreas são tidas como objeto de recuperação ambiental, embora muitos lixões sejam desativados sem critérios técnicos, seguidos do fechamento e abandono da área, cessando apenas o descarte de resíduos e a atuação dos catadores (BRASIL, 2010). Entretanto, enquanto houver matéria orgânica em decomposição no interior da massa de resíduos, a contaminação permanece através da geração de lixiviado, gases e odores, atingindo o ar, as águas, a instabilidade do terreno e culminando com a degradação do solo. Independente da técnica adotada para encerramento de um lixão, a Prefeitura Municipal é que determina o tempo e os recursos técnicos e econômicos necessários para recuperação da área conforme o nível de contaminação, além de ser responsável pela correta destinação dos RSU (LANZA, 2010).

2.4.1 Potencial de aproveitamento da área

De acordo com a resolução CONAMA 404/2008, a proposição de uso futuro das áreas degradadas pelos antigos lixões deve constar no projeto de encerramento, incluindo seu cronograma de execução. Entretanto, a PNRS proíbe a prática de algumas atividades nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos como a criação de animais domésticos, fixação de habitações temporárias ou permanentes, dentre outras (BRASIL, 2010). No caso de uso futuro de uma área de depósito de resíduos desativada, Lanza *et. al* (2010) recomendam considerar o longo período de decomposição dos seus componentes cujo processo pode superar uma década ou mais.

Segundo Elk (2007), a prática habitual para uso futuro de áreas de antigos lixões e aterros sanitários é a construção de parques de lazer para a comunidade, centros de treinamento/capacitação de trabalhadores, edificações de pequeno porte, novas urbanizações, etc. O local pode ser usado como área de lazer e/ou geração de empregos e renda para a comunidade, através de atividades ambientalmente corretas. Entretanto, é necessário cuidado especial para construir na sobre essa área, pois sua composição de resíduos extremamente heterogênea pode causar recalques elevados, aumentando os custos.

Um exemplo de uso de área de descarte de RSU pós recuperação é o antigo aterro Jacuí, na cidade de São Paulo que deu lugar ao Parque Primavera após a análise de estudos ambientais específicos para avaliar potenciais riscos de contaminação do solo e águas subterrâneas, implicando em riscos à saúde dos futuros frequentadores (RAMIRES E VITOR, 2010).

De maneira semelhante, segundo a Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (2018), o Aterro Sanitário de Sapopemba, localizado na capital de São Paulo, deu lugar a um parque com infraestrutura de quadras esportivas, dois campos de futebol, caminhos, sede, praça central, áreas de estar e equipamentos de ginástica, dispondo de estacionamento gratuito, rede *wi-fi*, acessibilidade em banheiros, entrada do parque e áreas de circulação. Com a desativação do aterro em 1986, o terreno de 304.477m² recebeu uma cobertura de terra de boa qualidade para se tornar um parque esportivo, inaugurado em 2013, com o apoio da população que já utilizava o espaço informalmente para práticas esportivas diversas.

2.5 MONITORAMENTO DE ÁREAS UTILIZADAS COMO DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (2018), o pós-fechamento requer ações primordiais tanto na manutenção dos sistemas de contenção de resíduos quanto no monitoramento das águas subterrâneas para evitar poluição do meio ambiente por meio do vazamento dos resíduos ali depositados. Para isso, a EPA (2018) considera o tempo de monitoramento razoável de 30 anos após o fechamento da área, podendo variar conforme o gestor público estadual. Especialmente nesse período devem ser mantidas a integridade e a eficácia dos sistemas de cobertura final, cuja permeabilidade não deve ser superior à 1×10^{-5} cm/s; coleta de lixiviado; monitoramento de águas subterrâneas e de gás metano.

O responsável pelo monitoramento da área deve elaborar um plano descrevendo todas atividades de monitoramento e respectiva manutenção, bem como a periodicidade de execução das mesmas, os dados da pessoa a contatar durante o tempo de acompanhamento e a descrição dos usos planejados da terra durante o período de cuidados para que nenhum uso danifique os sistemas de monitoramento pós-fechamento. Ao final do período é necessário que um engenheiro registrado certifique que todas as ações foram concluídas de acordo com o plano inicial apresentado (EPA,2018).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 13.896/97 já dispunha de orientações para a elaboração de um plano de encerramento e monitoramento dessas áreas utilizadas como destino final dos RSU. Ainda de acordo com a referida norma, a fiscalização pós-encerramento deve ser realizada, no mínimo, por 20 anos, podendo ser reduzido ou estendido. Essa condição de controle se faz necessária devido às reações bioquímicas do material orgânico presente na composição dos resíduos durante anos, fazendo com que a massa de lixo continue apresentando recalques horizontais e verticais, além da produção de gases e lixiviado. (ABNT,1997).

Para Vilar, Machado e Carvalho (2015), monitoramento constante é um grande aliado contra possíveis danos à camada de cobertura, elevação do nível de lixiviado e dos custos para o tratamento do mesmo, causados pelo escoamento superficial e a infiltração das águas pluviais, mesmo com o retaludamento, a construção de calhas de drenagem e o plantio de vegetação em toda a área em recuperação.

O plano de monitoramento possibilita às instituições cabíveis um controle mais efetivo do maciço de lixo, através da verificação periódica tanto das áreas afetadas quanto da integridade das obras realizadas para remediação. Assim, os respectivos dados gerados devem ser consolidados em relatórios técnicos, cuja periodicidade deve ser estabelecida junto ao órgão ambiental, identificando se as ações tomadas permanecem eficazes na proteção da saúde pública e do meio ambiente (MONDELLI; FREITAS e MACEDO, 2014).

O sistema de monitoramento geotécnico e ambiental de um aterro descrito por Boscov (2008), de maneira geral, inclui inspeções visuais; medição de deslocamentos verticais (recalques) e horizontais; acompanhamento tanto dos níveis quanto da análise dos componentes do lixiviado, das pressões dos gases produzidos; assim como a análise química das águas superficiais e subterrâneas por meio de amostras coletadas nos poços de monitoramento.

Essa análise das águas juntamente com a do lixiviado compõe o monitoramento ambiental, que segundo Vilar, Machado e Carvalho (2015), deve ser realizada em intervalos distintos, tanto os parâmetros físico-químicos básicos como pH, salinidade, temperatura, condutividade elétrica, DQO, DBO, turbidez; quanto as substâncias inorgânicas como fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, carbonato, cálcio, magnésio, chumbo, cádmio, mercúrio, bário, níquel, entre outros.

De acordo com Pejon, Rodrigues e Zuquette (2014), dentre os principais elementos contaminantes estão os metais: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), pois são potencialmente tóxicos aos organismos vivos. Também compõe essa lista os metais alcalinos e os alcalino-terrosos: Na, Ca, Mg, K.

2.5.1 Inspeção visual

Boscov (2008) classifica a inspeção visual como uma alternativa para identificar erosões, trincas ou cavidades em vistorias realizadas no local, com periodicidade definida no projeto de monitoramento, as quais geralmente ocorrem mensalmente. Esse acompanhamento constante é amplamente defendido por Portella e Ribeiro (2014) que o considera primordial na prevenção de danos ambientais.

Vilar, Machado e Carvalho (2015) justificam a necessidade de inspeção visual citada com o elevado potencial erosivo da ação das águas pluviais caídas diretamente sobre o aterro, assim como aquelas que escoam por sua superfície, podendo danificar gravemente a camada

de cobertura, além de elevar a vazão de lixiviado e consequentemente os custos no tratamento do efluente.

2.5.2 Deslocamentos verticais (recalques) e horizontais

Dentro do controle tecnológico apresentado pela NBR 8419/1992 para um aterro sanitário está a medição do recalque do maciço de resíduos, ao longo da sua vida útil e após o encerramento do mesmo por tempo pré-determinado em seu projeto de monitoramento. O'Leary e Tchobanoglous (2001) consideram que a manutenção e monitoramento devem ser de 30 a 40 anos, sendo observados casos de períodos mais prolongados em alguns países europeus.

No caso de readequação de área, o CEMPRE (2018) orienta a conformação da massa de lixo, regularizando mecanicamente o material depositado seguindo as especificações indicadas no projeto de monitoramento, com o intuito de evitar movimentações indesejadas. Segundo Vilar, Carvalho e Machado (2015), tanto os deslocamentos horizontais quanto os verticais podem ser monitorados através de marcos superficiais.

2.5.3 Produção de gases

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o monitoramento dos gases gerados em um aterro ocorre através da medição da concentração e vazão dos mesmos nos poços de monitoramento, promovendo sua captação e tratamento adequado até que não haja mais produção de gases pela massa de resíduos.

De acordo com EPA (2018), através do *Landfill Methane Outreach Program* (LMOP), um programa que visa a redução da emissão de gás metano no meio ambiente através do seu uso como fonte de energia, uma vez que a decomposição do material orgânico depositado nos aterros sanitários gera o *Landfill Gas* (LFG), composto essencialmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), entre outros gases, sendo eles os componentes do biogás juntamente com o gás sulfídrico (H_2S). Com tais componentes, Souto e Povinelli (2013) ressaltam a necessidade do tratamento do gás do aterro antes de ser lançado na atmosfera, pois, tanto o metano quanto o gás carbônico são gases de efeito estufa, sendo o metano o de efeito mais pronunciado. Ele pode ser tratado com sua simples queima e ainda ser utilizado como fonte de energia potencial.

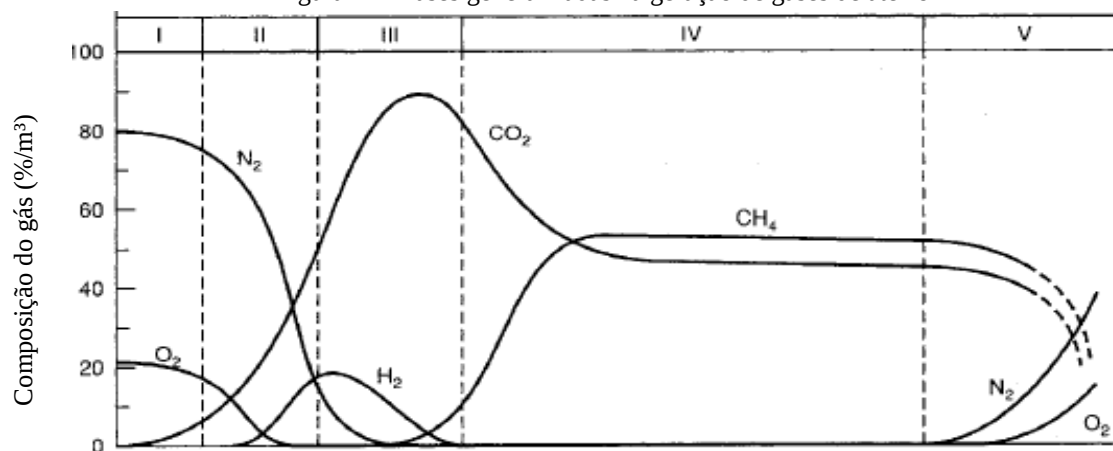
CEMPRE (2018) descreve a concentração aproximada dos componentes do biogás encontrada nos aterros, após alguns meses do aterramento do resíduo, sendo composta por 40% de metano, chegando ao patamar de 60 a 65% após o período de aterramento de um a dois anos, e um poder calorífico de 5.800 kcal/Nm³ para o mesmo período de tempo. Para Lucena (2016) a variação dessa concentração está diretamente relacionada com a composição gravimétrica dos resíduos depositados e da operação adotada ao longo do processo de digestão anaeróbia no decorrer das suas fases. Tchobanoglous (2002) apresentou os principais gases componentes de cada fase presente no processo de biodegradação dos RSU, sendo elas: (I) fase aeróbia, (II) transição (facultativa), (III) ácida, (IV) metanogênica e (V) maturação, sendo as três últimas referentes à fase anaeróbia (Figura 12). E embora seja difícil precisar o tempo de duração para cada uma, devido às variáveis presente em todo o processo, Augestein e Pacey (1991) *apud* Maciel (2009) apresenta uma estimativa (Tabela 1).

Tabela 1 - Intervalo de duração das fases

FASES	INTERVALO DE DURAÇÃO DAS FASES
I – Aeróbia	Algumas horas a 1 semana
II – Transição ou Facultativa	1 mês a 6 meses
III - Ácida	3 mês a 3 anos
IV - Metanogênica	8 anos a 40 anos
V - Maturação	1 ano a mais de 40 anos

Fonte: Augestein e Pacey (1991) *apud* Maciel (2009).

Figura 12 - Fases generalizadas na geração de gases de aterro

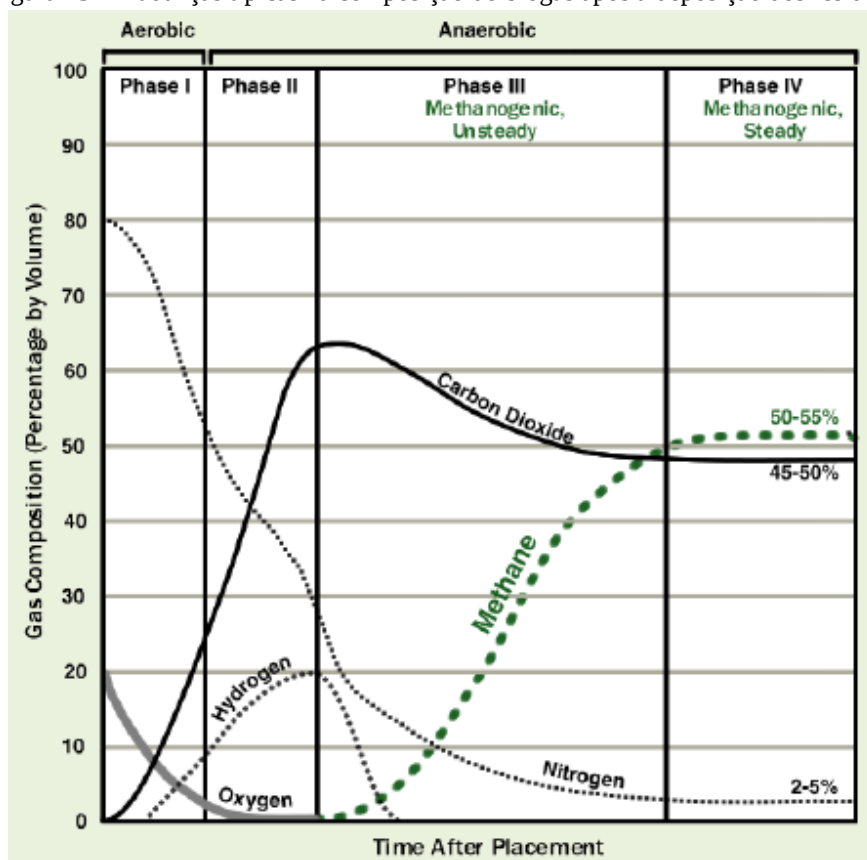


Fonte: Tchobanoglous (2002).

(I - Ajuste Inicial, II – Transição Fase, III - Fase Ácida, IV - Fermentação com Metano e V - Fase de Maturação)

Entretanto, EPA (2017) analisa o comportamento dos gases formados no interior do maciço distribuídos em 4 fase (Figura 13), cujas transformações ocorrem ao longo do tempo transcorrido após o descarte dos RSU. Na Fase I (Aeróbia) as bactérias têm curto período de vida, apenas enquanto houver oxigênio para ser consumido, nesse breve período é gerado o dióxido de carbono. A Fase II não necessita de oxigênio e por isso é anaeróbica e geram diversas substâncias, dentre elas o metanol e etanol. À medida que a mistura de ácidos e umidade presentes no aterro são consumidos, o dióxido de carbono e hidrogênio são produzidos. Na Fase III as bactérias anaeróbicas produtoras de metano são estabelecidas por consumir o dióxido de carbono e de etilo. E por fim na Fase IV as taxas de produção e composição de biogás apresentam relativa constância. O LFG geralmente contém cerca de 50-55% em volume de metano, 45-50% de dióxido de carbono, e 2-5% de outros gases, tais como sulfuretos, sendo produzido de maneira estável na Fase IV, em geral, ao longo de 20 anos aproximadamente.

Figura 13 - Mudanças típicas na composição do biogás após a deposição dos resíduos



Fonte: EPA (2017).

Ao utilizar o gás coletado nos aterros como matéria-prima na produção de energia elétrica, se faz necessário proporcionar um tratamento prévio ao gás ou utilizar peças nos geradores que resistam ao forte ataque químico provocado pelo ácido sulfúrico que é resultante da queima do gás sulfídrico, do contrário, o mesmo pode corroer os geradores, o que torna essa alternativa economicamente inviável aos aterros de menor porte, onde o ganho com a produção de energia não cobre os custos de manutenção (SOUTO e POVINELLI, 2013).

Contudo, o intuito de alcançar o Certificado de Emissões Reduzidas (RCE) através o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) fomentou a utilização do biogás gerado nos aterros brasileiros. Com esse mecanismo viabilizava o uso de tecnologias limpas para o tratamento do biogás, seja queimando ou transformando em energia, podendo ser negociado posteriormente em forma de créditos de carbono no mercado internacional (FIRMO, 2013).

2.5.4 Produção de percolato (lixiviado)

Westlake (1995) define o lixiviado como uma composição dos líquido gerados nos aterros pela degradação dos resíduos somado à água da chuva infiltrada através da camada de cobertura. De forma mais ampla Lange e Amaral (2009) complementam que o líquido produzido em aterros sanitários são resultado da junção de um conjunto de fatores como: umidade natural, água de constituição da matéria orgânica dos resíduos depositados no aterro, degradação biológica dos materiais orgânicos, materiais dissolvidos ou suspensos da massa de resíduos e água infiltrada através da camada de cobertura e interior das células de aterramento.

Souto e Povinelli (2013) apontam a necessidade de gerenciamento e tratamento adequados para o lixiviado, pois suas características variam com tempo e a fase em que se encontram. Seu potencial de contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos é bastante elevado por se tratar de um líquido tóxico com grandes concentrações de amônia, entre outras substâncias. Uma das formas para identificar as fases do lixiviado em um aterro é a apresentada por Reichert (1999), dividindo em Fase ácida, fase metanogênica e fase de maturação:

Fase ácida – com uma duração de até dois anos, no caso de clima tropical, essa fase ocorre no início da operação do aterro, logo após a deposição dos resíduos, nela o lixiviado

apresenta elevadas concentrações de ácidos voláteis e carga orgânica, pH baixo, sem desenvolvimento da microbiota metanogênica.

Fase metanogênica – A partir dessa fase os ácidos voláteis são consumidos pela microbiota metanogênica, agora bem desenvolvida, e posteriormente transformados em gás carbônico e metano. Dessa forma ocorre o aumento do pH e das concentrações de nitrogênio amoniacal e a queda dos teores de ácidos e da carga orgânica.

Fase de maturação – Com o fim da utilização do aterro, a estabilização da massa de resíduos vai crescendo progressiva e gradativamente, enquanto as emissões de gases reduzem até valores insignificantes ao ponto em que o aterro é considerado estabilizado.

Dependendo da fase, o lixiviado recebe uma nomenclatura mais popularizada. Quando está na fase ácida o lixiviado é também chamado de “chorume novo” e na fase metanogênica recebe o nome de “chorume velho”. Ambos possuem características distintas e com grande variação dentro de uma mesma fase (Tabela 2).

Tabela 2 - Características típicas do lixiviado dos aterros sanitários brasileiros nas fases ácida e metanogênica

VARIÁVEL	FASE ÁCIDA		FASE METANOGENICA	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
pH	5,1	8,3	7,1	8,7
DBO (mg/L)	35	25.000	60	6.000
DQO (mg/L)	540	53.700	700	13.500
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	10	1.800	50	2.400
Cádmio (mg/L)	nd	0,09	nd	0,1
Chumbo (mg/L)	nd	1,3	nd	1,1
Zinco (mg/L)	nd	7	0,01	2

Fonte: Souto (2009).

Nota: “mínimo” e “máximo” são os valores extremos observados na maioria dos aterros e a sigla “nd” denota que não há dados disponíveis.

Apesar da dificuldade no tratamento do lixiviado devido a sua ampla variabilidade dentro da mesma fase, o uso de sistemas anaeróbios tem apresentado bons resultados na eliminação da carga orgânica da fase ácida. Isso é possível porque nessa fase os resíduos em geral possuem alta degradabilidade, enquanto na fase metanogênica o lixiviado muito refratário ao tratamento.

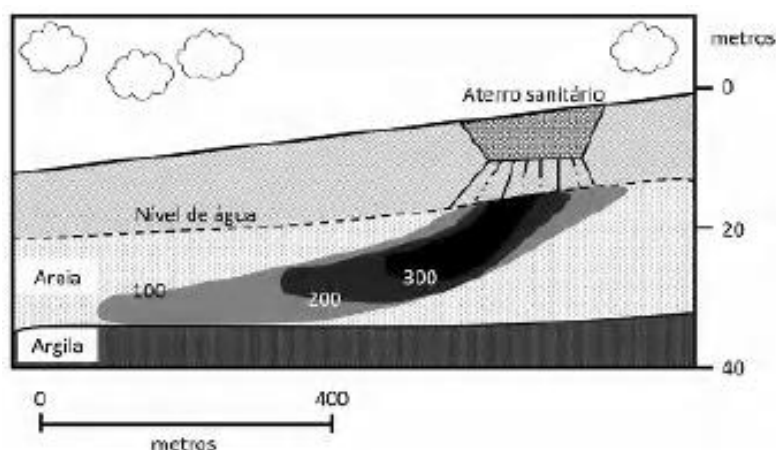
2.5.5 Qualidade das águas superficiais e subterrâneas

A Companhia Ambiental de Saneamento do Estado de São Paulo – CETESB (2018) apresenta como influentes diretos das características geoquímicas das águas subterrâneas tanto a composição das águas de recarga e sua evolução química, quanto as litologias percoladas, agregando em sua composição as substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas, com pequenas variações naturais de sua qualidade. Isso facilita a percepção de substâncias contaminantes e/ou muito diferentes da composição esperada para determinado corpo hídrico. Essas substâncias podem ser originárias de corpos de minério, metamorfismo de rochas e ação antrópica como áreas de disposição de resíduos sólidos.

Wendland e Marin (2013) explicam que a evolução da contaminação de águas subterrâneas depende da geologia local, dos padrões de escoamento da água subterrânea, de processos físicos, químicos e biológicos em escala de poro e de molécula. Neste caso a contaminação pode migrar rapidamente em solos arenosos, de alta condutividade, ou difundir lentamente em solos argilosos, de baixa condutividade, podendo se afastar quilômetros da fonte de contaminação.

Ao atingir o aquífero, o lixiviado forma uma pluma de contaminação, seguindo o fluxo de escoamento da água subterrânea, podendo se espalhar por alguns quilômetros de extensão. Porém, quanto mais longe da fonte de contaminação, a concentração de contaminantes diminui (Figura 14), cuja distribuição dessa concentração está representada através de isolinhas (WENDLAND E MARIN, 2013).

Figura 14 - Esquema de plumas de contaminação por resíduos.



Fonte: Wendland e Marim (2013).

Segundo Palma, Scudelariabilio e Matos (2015), há diversos tipos de atividades que podem alterar significativamente a qualidade do solo e da água (subterrânea ou superficial). A CETESB (2016) agrupou conforme as atividades em Posto de combustível; Industrial; Comercial; Resíduos e Acidentes/Desconhecidos/Agricultura. Dependendo da extensão e localização da fonte, ainda podem receber uma subclassificação quanto ao tipo à escala temporal, sendo elas Pontual ou Dispersa; Permanentes, intermitentes e acidentais; respectivamente. A disposição inadequada de RSU configuram uma fonte de contaminação antrópica pontual por meio da lixiviação de resíduos depositados em aterros e lixões.

De acordo com a Resolução Conama 396/2008, as águas subterrâneas, quando destinadas para o consumo humano, devem atender aos limites estabelecidos pela mesma (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores do Limite de Quantificação Praticáveis (LQP)

Parâmetros Inorgânicos	LQP (mg/L)
Alumínio (mg/L)	50,0
Arsênio Total (mg/L)	8,0
Bário Total (mg/L)	20,0
Cádmio Total (mg/L)	5,0
Chumbo Total (mg/L)	10,0
Cloretos (mg/L)	2000
Cobre Dissolvido (mg/L)	50,0
Coliformes Fecais	Ausente
Coliformes Totais	Ausente
DBO	1,0
DQO	5,0
Ferro Total (mg/L)	100
Fósforo (mg/L)	0,33
Manganês Dissolvido (mg/L)	25,0
Mercúrio Total (mg/L)	1,0
Níquel Total (mg/L)	10,0
Nitrato (mg/L)	300
Nitrito (mg/L)	20,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,0
pH	1,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	2000
Sulfatos (mg/L)	5000
Zinco Total (mg/L)	100

Fonte: Brasil (2008).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa teve início com a identificação da área de estudo, seguido da seleção, planejamento e obtenção dos dados sobre todos os pontos considerados relevantes ao trabalho.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o antigo lixão de Maceió-AL, que foi encerrado em abril de 2010, e que está totalmente inserido na planície urbana da cidade, na bacia hidrográfica do Riacho das águas do Férreas, área nobre e ambientalmente vulnerável próxima ao mar, (Figura 15).

Figura 15 - Vista aérea do antigo lixão

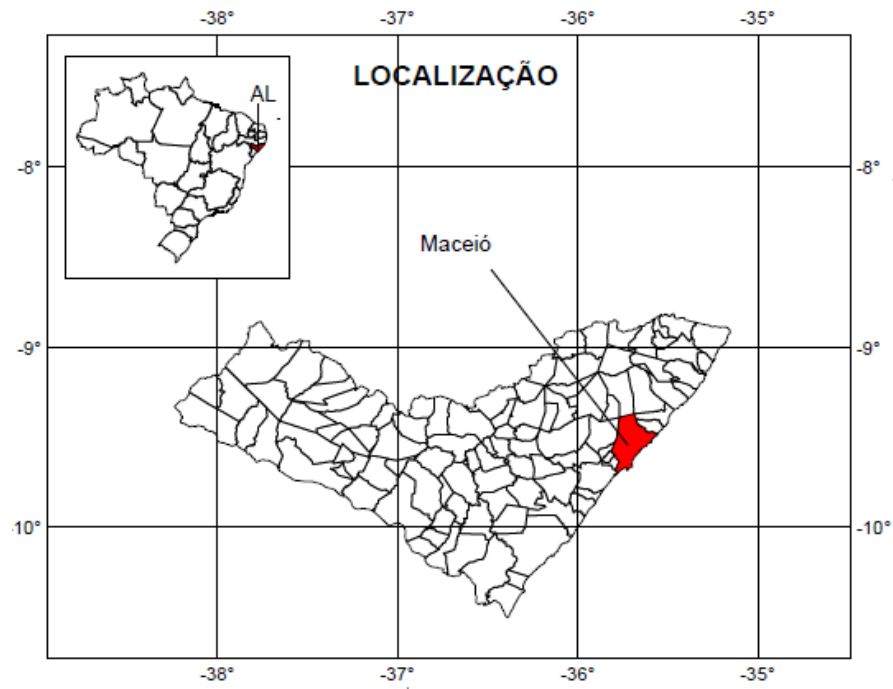


Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Alagoas está localizado na região nordeste do Brasil (Figura 16). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017), Maceió está localizada a 9° 30' 57" de latitude (S) e a 35° 44' 07" de longitude (W), possui uma área territorial de 509.552 km², população estimada para 2018 de 1.012.382 habitantes e tem uma geração de RSU estimada em torno de 1.141,11 t/dia.

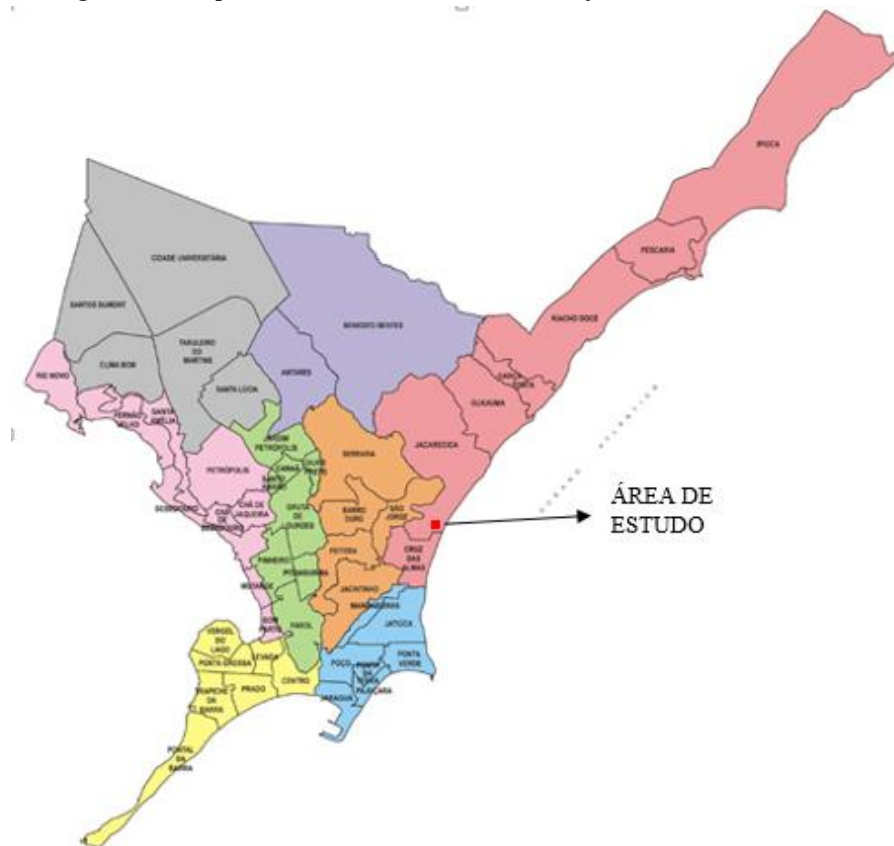
Segundo o mapa de abastecimento da capital alagoana (Figura 17), disponibilizado pelo departamento de Geoplanejamento da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente – SEDET, a área em estudo, antigo “lixão” da cidade representada na Figura 17, encontra-se no atual bairro de Jacarecica.

Figura 16 - Localização geográfica do estado



Fonte: CPRM (2014).

Figura 17 - Mapa de Maceió com bairros e indicação da área de estudo



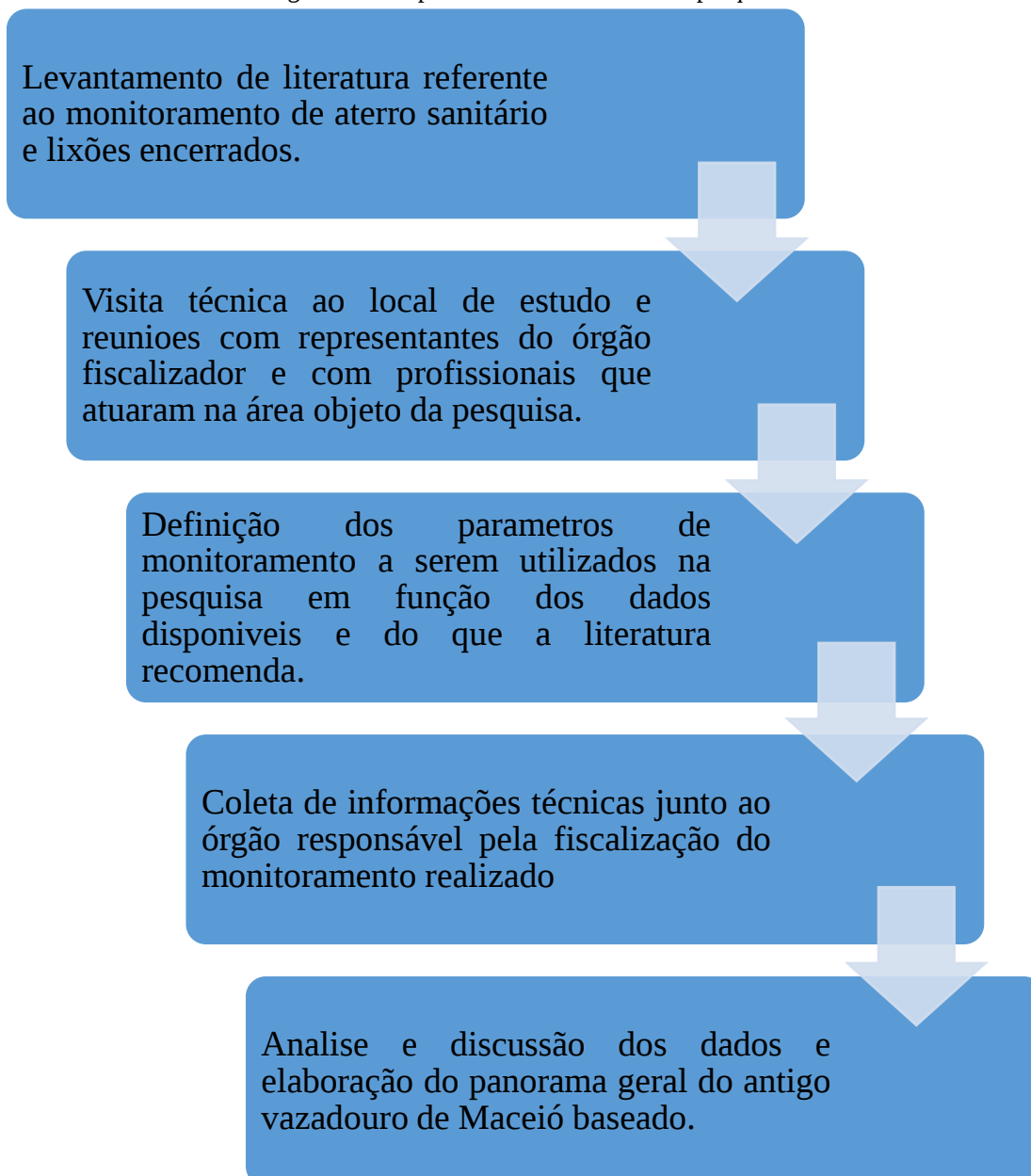
Fonte: SEDET (2017).

3.2 PLANEJAMENTO METODOLÓGICO

Com o intuito de conhecer e identificar o panorama atual da massa de lixo depositada no antigo lixão de Maceió, o presente estudo foi embasado em dados secundários gerados pelo seu monitoramento geotécnico e ambiental após o encerramento de suas atividades.

Desta forma, o plano metodológico desenvolvido na dissertação foi realizado o fluxograma apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Etapas do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: A Autora (2019).

3.2.1 Levantamento literário

Para alcançar o objetivo desse trabalho foi necessário o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica acerca de monitoramento de aterros e lixões encerrados e a obtenção dos dados arquivados tanto do monitoramento da área de estudo quanto do seu histórico antes de ser desativado.

3.2.2 Visitas e reuniões técnicas

No início da pesquisa foram realizadas três visitas ao local, guiadas por servidores da SLUM que atuam na área desde os tempos de funcionamento do antigo lixão, bem como realizadas 9 reuniões com outros prestadores de serviço da época, como forma de obter maiores esclarecimento do seu funcionamento de outrora, bem como a possibilidade de outras fontes de dados já levantados à época do surgimento do antigo lixão.

3.2.3 Obtenção dos dados históricos

Os dados foram obtidos através de relatórios e levantamentos técnicos realizados na área do antigo lixão antes, durante e depois do encerramento de suas atividades. Esses levantamentos solicitados aos respectivos órgãos gestores à época embasaram as definições deste trabalho. Os principais documentos utilizados foram:

- As primeiras informações são de meados de 1996, descritas em um projeto de biorremediação da área do lixão de Maceió, desenvolvido por Lima e Nunes (1996) para a Prefeitura Municipal de Maceió – PMM através da gestora responsável na época, a Companhia Beneficiadora de Lixo – COBEL, quando o mesmo estava em pleno funcionamento. O trabalho foi estruturado em cinco volumes: Estudos preliminares; Projeto Básico; Projeto Executivo; Estimativa de custos e cronograma e Peças gráficas.
- O trabalho desenvolvido por Jucá, Mariano e Silva (2002) apresenta o diagnóstico dos resíduos sólidos do Estado de Alagoas, a partir de estudos técnicos específicos, apresentando não só a quantidade, tipo, forma de tratamento e destinação final, mas também a existência de aspectos legais e sociais que regulamentaram a questão no âmbito de resíduos, além dos tipos de resíduos (urbano, serviço de saúde, industrial, especiais, agrotóxicos), bem como os aspectos sócio-econômicos e educacionais. Além disso, o estudo se baseia também em dados existentes disponíveis, nas esferas federal, estadual e municipal, incluindo um levantamento junto às instituições estaduais sobre os diagnósticos,

projetos e ações sociais realizadas anteriormente, órgãos como o IMA, Secretaria de saúde, ação social, educação, meio ambiente, fazenda, infra-estrutura ou similares; sendo complementados com o cadastramento de informações primárias obtidas por meio de visitas aos municípios, indústrias, rede hospitalar, usinas e aterro industrial.

- No ano de 2004 foi elaborado um relatório final com o diagnóstico ambiental do lixão da capital alagoana, na época, e um estudo indicativo de possíveis áreas para a construção do futuro aterro sanitário da cidade e diretrizes do respectivo projeto. Por meio de um convênio firmado entre a PMM, representada pela Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió – SLUM e a Universidade Federal de Alagoas – UFAL, representada pelo Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos e Recuperação de Áreas Degradadas – GERSRAD, foram registradas informações técnicas relevantes que reforçaram a urgência do encerramento das atividades no lixão, bem como a recuperação ambiental da área (GERSRAD, 2004);
- O trabalho desenvolvido por Tavares (2007) apresenta a caracterização dos RSU gerados em Maceió-AL, por meio de ensaios de campo e de laboratório com material coletados mensalmente durante um ano, totalizando sessenta e nove coletas realizadas no período de março/2006 a fevereiro/2007, a partir de rotas previamente definidas, abrangendo oito bairros diferentes, cada um representando uma região administrativa e classe sócio-econômica existente no município. Os ensaios de campo, realizados no antigo lixão de Maceió/AL, avaliaram peso específico e composição gravimétrica; enquanto os ensaios de laboratório analisaram os parâmetros físico-químicos como: pH, sólidos (fixos, voláteis e totais) e teor de umidade.
- A partir de 2010, quando o lixão foi desativado, a empresa que ganhou a licitação para construir e gerir a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Maceió, bem como adequar o antigo lixão da cidade, a V2 Ambiental, seguindo o programa de monitoramento sugerido pelo órgão licenciador e fiscalizador, SLUM, iniciou, por meio de empresas especializadas, a coleta periódica de dados para monitoramento do passivo ambiental do antigo lixão. Desta forma, os relatórios elaborados pela empresa gerenciadora do CTR de Maceió e pela remediação e monitoramento da área do antigo lixão, também foram fonte de para essa pesquisa. São informações técnicas periódicas para acompanhamento do comportamento do maciço, monitoramento visual, geotécnico (deslocamentos verticais e horizontais dos marcos superficiais topográficos), captação dos gases do maciço, captação

e tratamento do lixiviado gerado pela massa de resíduos, análise das águas superficiais e subterrâneas.

Os dados obtidos e as visitas técnicas serviram de fontes de subsidio para a realização do levantamento da história do antigo lixão, das obras de recuperação da área degradada, do volume de lixo enterrado, das características do solo sobre o qual o lixo foi depositado, e as características dos resíduos enterrados.

3.2.4 Definição dos parâmetros de análise

Em função do que recomenda a literatura pertinente como a Resolução CONAMA 03/1990, 357/2005 e 396/2008, APHA (2005), Resolução 05 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2017) e dos dados publicados nos relatórios de monitoramento da área do antigo lixão pela V2 Ambiental, foram adotados os seguintes parâmetros de análise:

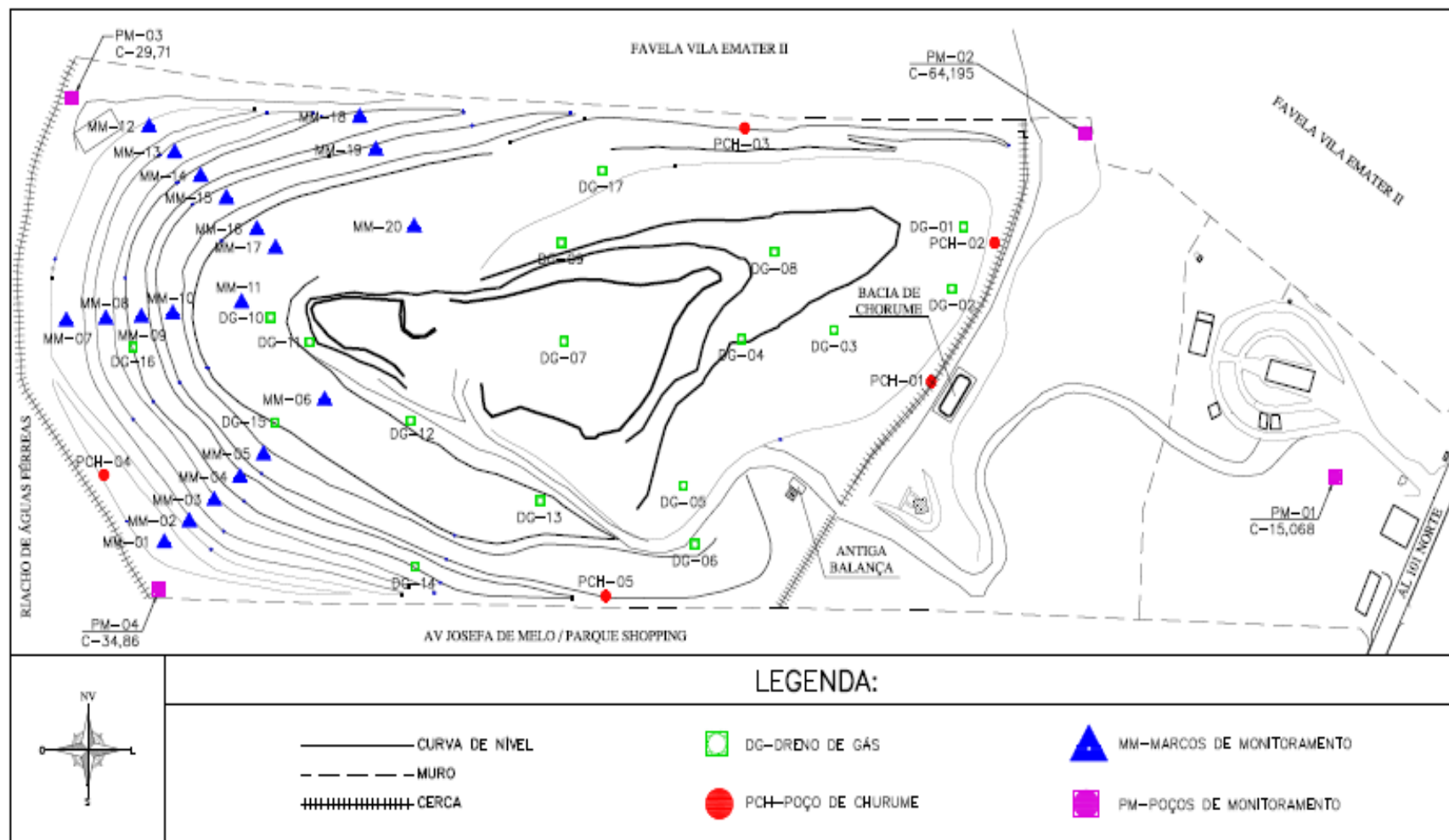
- Inspeção visual
- Produção e composição dos gases
- Caracterização do lixiviado
- Recalque do maciço
- Qualidade das águas superficiais e subterrâneas

3.2.5 Inspeção visual

Após a adequação da área, a SLUM, por meio de sua licitada para gestão da área em recuperação, a V2 Ambiental, mantém 2 profissionais diariamente no local para verificar possíveis obstruções das calhas de drenagem das águas pluviais, danos graves na cobertura vegetal, surgimento de fissuras significativas na camada de cobertura, nível do poço de coleta de lixiviado, principalmente em dias de chuva intensa, assim como para inibir a ação dos vândalos no local. Segundo Portella e Ribeiro (2014), essa frequência é fundamental pois favorece a agilidade na prevenção e correção de danos ambientais.

De acordo com o relatório de atividades de recuperação da área do antigo vazadouro elaboro pela V2 Ambiental (2015), foram instalados no local 20 marcos superficiais de monitoramento (MM), 04 poços de monitoramento (PM), 05 poços de chorume (PCH) e 17 drenos de gás (DG), distribuídos conforme planialtimetria da área do antigo lixão de Maceió (Figura 19).

Figura 19 - Planialtimetria do lixão, localização dos marcos superficiais topográficos e drenos de gás



Fonte: Adaptado de ESTRE (2017).

3.2.6 Produção e composição dos gases

De acordo com V2 Ambiental (2015), foram instalados 17 drenos, todos com profundidade de 8 m e com diâmetros de 13 cm e 30 cm, para o monitoramento dos gases liberados pela massa de resíduos através de medição anual. Vale ressaltar que a espessura do maciço de resíduos, em alguns pontos, chega a 30 m.

Neste trabalho foram utilizados os dados obtidos em abril/2015, junho/2016 e junho/2018, utilizando amostras coletadas na saída dos drenos DG-01 ao DG-06, localizados na cobertura do maciço, conforme a Figura 19, no entorno da célula C9 que foi a última célula de recebimento de resíduos do lixão.

Foram medidos: Metano (CH₄), Vazão, Umidade do Ar e Temperatura Ambiente. As coletas foram realizadas com sacos Tedlar que permitem a execução de testes padronizados e procedimentos de manipulação para a recolha de compostos orgânicos voláteis. As amostras foram levadas para um laboratório de responsabilidade da Qualitex Engenharia e Serviços Ltda, para determinação cromatográfica, da composição dos gases.

Para determinar a temperatura do Ar (°C) e Umidade do Ar (%) foram realizadas leituras diretas com um Termohigrômetro com marca OREGON SCIENTIFIC e modelo BAR988HG-T. E a velocidade (V) dos gases (m/s) foi medida diretamente na saída dos drenos utilizando o equipamento Anemômetro, com a vazão estimada por: $Q = V \times A$, onde A é a área da seção do dreno (ESTRE, 2015).

Os valores dos parâmetros analisados foram comparados com os dados reportados pela Resolução CONAMA 03/1990 que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR).

3.2.7 Caracterização de lixiviado

O monitoramento do lixiviado foi realizado semestralmente, sendo apresentados neste trabalho os dados coletados nos relatórios de monitoramento da V2 Ambiental em 2009, 2011, 2013, 2015 e 2016, seguindo o programa de monitoramento sugerido pelo órgão fiscalizador e licenciador.

No ano de 2009 as amostras foram coletadas na vala de pé de talude. Em 2011 a amostra foi coletada em dreno de célula C9 do lixão, porém sem localização exata definida. Nos anos de 2013, 2015 e 2016 as amostras foram coletadas nos poços de chorume P-1 e P-5 que recebe o lixiviado drenado da célula C9, localizados dentro da área do antigo lixão,

conforme apresentado na Figura 19, para onde o lixiviado drenado escoar e é armazenado, para depois ser transportado para a CTR, se necessário. Os parâmetros de caracterização do lixiviado estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros do lixiviado analisados em laboratório.

Parâmetros	
Alcalinidade Total (CaCO ₃ /L)	Ferro Dissolvido (mg/L)
Alumínio dissolvido (mg/L)	Fósforo (mg/L)
Bário Total (mg/L)	Manganês Total (mg/L)
Cádmio total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)
Chumbo Total (mg/L)	Níquel Total (mg/L)
Cobre dissolvido (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Condutividade (us/cm)	N-Amoniacal (mg/L)
Cromo Total (mg/L)	pH
DBO (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)
DQO (mg/L)	Zinco Total (mg/L)

Fonte: Adaptado de ESTRE (2016).

No ano de 2016 as análises químicas foram realizadas pela Qualitex Engenharia e Serviços Ltda. Todas as análises foram realizadas por metodologias contidas em APHA (2005). Os valores dos parâmetros analisados foram comparados com os dados da Resolução 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

3.2.8 Recalque do maciço

O recalque da massa de lixo foi monitorado por medição dos deslocamentos vertical e horizontal, com o auxílio de marcos topográficos instalados no maciço para medir o deslocamento vertical (Figura 20).

Figura 20 - Marco superficial topográfico



Fonte: A Autora (2019).

A leitura foi realizada por equipe técnica especializada contratada pela V2 Ambiental e fiscalizada pela SLUM (ESTRE, 2015). Foram instalados 20 marcos topográficos superficiais, mas apenas 8 marcos foram monitorados com leitura trimestral, no período de dezembro de 2012 a março de 2017, todos eles localizados na parte mais antiga do lixão, conforme representado na Figura 19.

3.2.9 Qualidade das águas superficiais

O monitoramento das águas superficiais tem periodicidade semestral, realizado com amostras coletadas no ponto à jusante do antigo lixão, no riacho das Águas Férreas, como requerido pelo órgão licenciador, cujos parâmetros estão descritos na Tabela 5. Inicialmente eram feitas coletas a montante do maciço, e a jusante próximo a Grotta do Arroz. Com a construção de um shopping nas proximidades do antigo lixão, o riacho de Águas Férreas teve seu percurso desviado inviabilizando com isso o ponto à montante.

Tabela 5 - Parâmetros de análise de qualidade das águas superficiais

Parâmetros	
Alcal. Bicarbonato (CaCO_3/L)	Ferro Dissolvido (mg/L)
Alcalinidade Total (CaCO_3/L)	Fósforo (mg/L)
Alumínio dissolvido (mg/L)	Manganês Total (mg/L)
Arsênio Total (mg/L)	Magnésio (mg/L)
Bário Total (mg/L)	Mercúrio Total (mg/L)
Cádmio total (mg/L)	Níquel Total (mg/L)
Cálcio (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Cloretos (mg/L)	N-Amoniacal (mg/L)
Chumbo Total (mg/L)	OD (mg/L)
Cobre dissolvido (mg/L)	pH
Coliformes Fecais (UFC/100ml)	Potássio (mg/L)
Cor (mg PT-Co/L)	Sódio (mg/L)
Condutividade (us/cm)	Sólidos Totais (mg/L)
Cromo Total (mg/L)	Sulfato (mg/L)
DBO (mg/L)	Turbidez (NTU)
DQO (mg/L)	Zinco Total (mg/L)

Fonte: Adaptado de ESTRE (2016).

Desta forma, foi possível trabalhar apenas os dados das análises apresentadas nos relatórios dos monitoramentos realizados pela V2 Ambiental em jan/2015, jul/2015 e abril/2016, acondicionadas e transportadas ao laboratório da empresa especializada Central

Analítica LTDA, contratada para realizar as análises dos parâmetros especificados, seguindo o programa de monitoramento sugerido pelo órgão fiscalizador e licenciador. Todas as análises foram realizadas por metodologias contidas em APHA (2005).

Os valores dos parâmetros analisados foram comparados com os dados reportados pela Resolução 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, referentes rios classe II.

3.2.10 Qualidade das águas subterrâneas

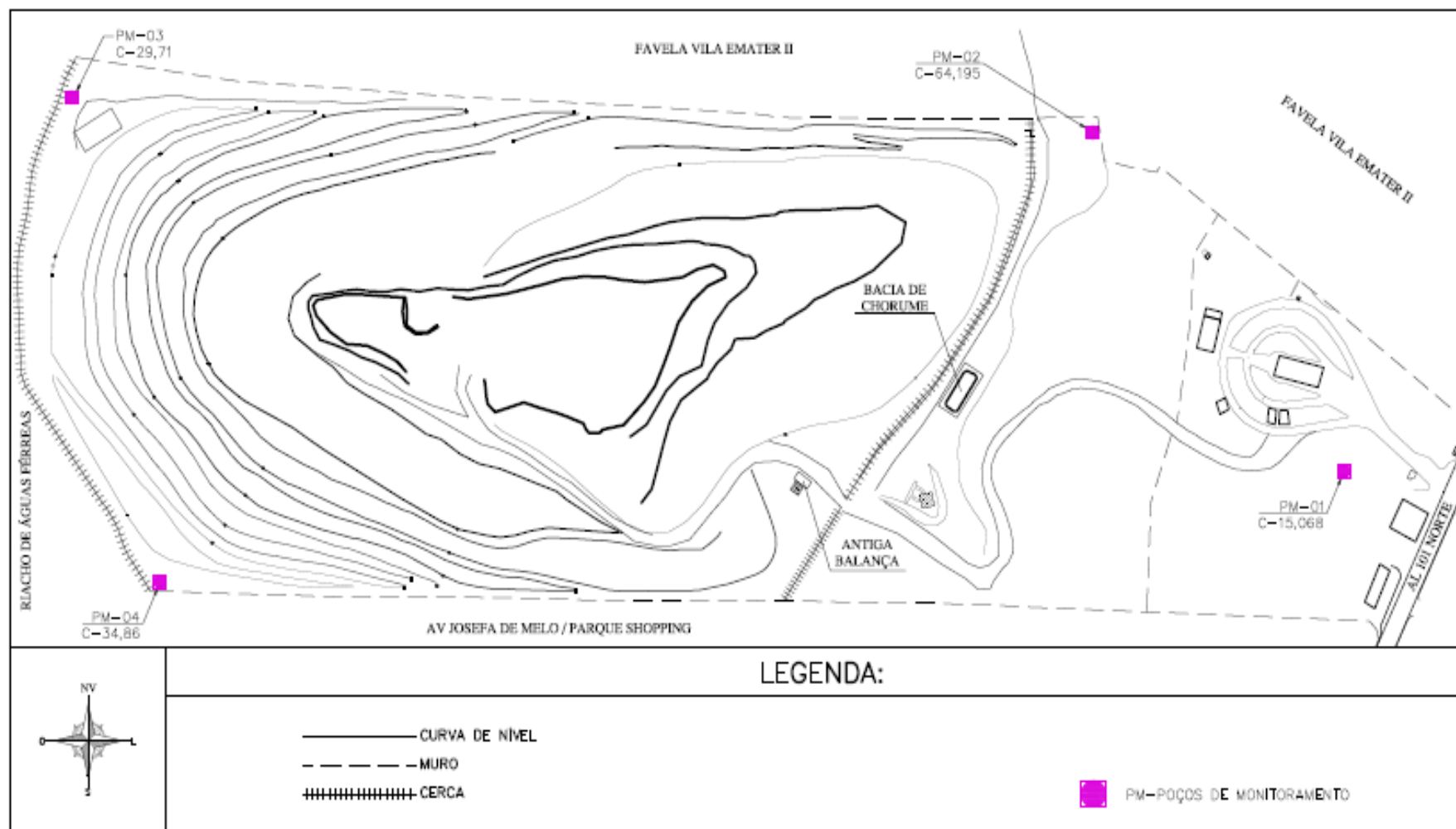
O monitoramento das águas subterrâneas é realizado semestralmente com amostras coletadas nos 4 poços de monitoramento (PM01, PM02, PM03 e PM04). Porém, os poços PM-01 e PM-02 são poços tubulares a jusante do antigo lixão e os poços PM-03 e PM-04 são poços rasos a montante da base do antigo lixão, ou seja, na base do lixo mais antigo (Figura 21).

Esses poços foram construídos dentro da área do antigo vazadouro, com uma profundidade de 30 m, 60 m, 36 m e 38 m, respectivamente, sendo o PM02 o mais profundo, conforme detalhes construtivos representados na Figura 22.

Além desses 4 poços, também foram utilizados também dados secundários de monitoramento de dois poços utilizados para abastecimento de água da comunidade circunvizinha, o do Condomínio Villagio Di Firenze e o da Vila Emater, localizados à jusante da área do antigo lixão, a um raio de distância de aproximadamente 1300 m.

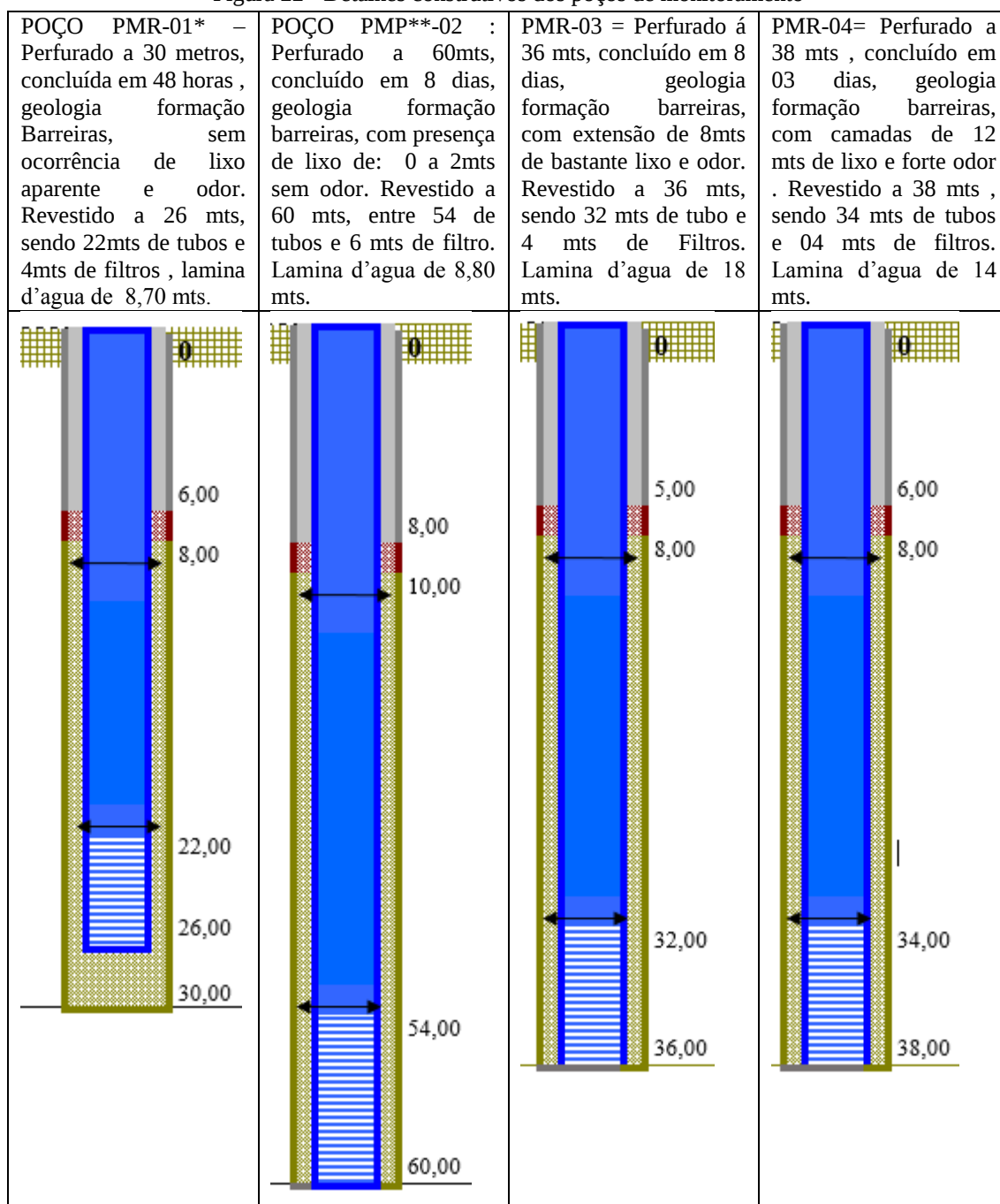
As amostras foram realizadas no período de abril/2011 a junho/2016, e analisadas pela Central Analítica Ltda para as amostras coletadas em abril/2011, junho/2015 e junho/2016 no poço 02 (PM-02); fevereiro/2011, junho/2015 e junho/2016; no poço do Condomínio Villagio de Firenze e Vila Emater, e os resultados obtidos pela Qualitex Engenharia e Serviços Ltda para as amostras dos poços PM-01, PM-03 e PM-04, coletadas em junho/2016.

Figura 21 - Planta de localização dos poços construídos para o monitoramento de águas subterrâneas



Fonte: Adaptado de ESTRE (2017).

Figura 22 - Detalhes construtivos dos poços de monitoramento



Fonte: Adaptado de ESTRE (2016).

*PMR – Poço de Monitoramento Raso. **PMP – Poço de Monitoramento Profundo.

Os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 6 e foram realizados por metodologias contidas em APHA (2005).

Tabela 6 - Parâmetros analisados nas águas subterrâneas

Parâmetros	
pH	Coliformes Termotolerantes
Alcalinidade Bicarbonato (mg CaCO ³ /L)	Coliformes Totais (NMP/100mL)
Alcalinidade Total (mg CaCO ³ /L)	Alumínio (mg/L)
Magnésio (mg/L)	Cádmio (mg/L)
Cálcio (mg/L)	Chumbo Total (mg/L)
Sólidos Totais (mg/L)	Cobre (mg/L)
Sólidos Voláteis (mg/L)	Cromo Total (mg/L)
Cloretos (mg/L)	Manganês Total (mg/L)
Condutividade	Zinco Total (mg/L)
DBO (mg/L)	Sódio (mg/L)
DQO (mg/L)	Ferro Solúvel ou Dissolvido (mg/L)
Fósforo (mg/L)	Cobalto (mg/L)
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	Potássio (mg/L)

Fonte: Adaptado de ESTRE (2016).

Os valores dos parâmetros analisados para os poços de monitoramento (PM01, PM02, PM03 e PM04) foram comparados com os dados reportados pela Resolução 396/2008 do CONAMA que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Os dados da água dos poços de abastecimento de água da Vila Emater e do Condomínio Villagio Di Firenze foram comparados com os dados contidos na Portaria de Consolidação n. 05/2017 do Ministério da Saúde que trata dos padrões de potabilidade da água para consumo humano.

3.2.11 Estudo do potencial aproveitamento da área

O potencial de aproveitamento da área foi baseado nas observações dos resultados das ações de recuperação, na localização da área e no levantamento da tendência de uso atual e futuro das áreas vizinhas e na identificação da carência da região em áreas de lazer e parques. Também foi instrumento relevante as recomendações da legislação BRASIL (2010) para uso de áreas de lixões enterrados, bem como um levantamento sobre o uso de áreas de outros lixões encerrados aplicados no país.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados e discussões com base nos dados obtidos por meio do monitoramento do maciço de lixo.

4.1 ANTIGO LIXÃO DE MACEIÓ

Para entender o comportamento e impactos de um maciço de lixo enterrado é preciso que se conheça sua história, suas obras de recuperação, o volume de lixo enterrado, as características do solo e dos resíduos enterrados.

- **Sua história e características físicas**

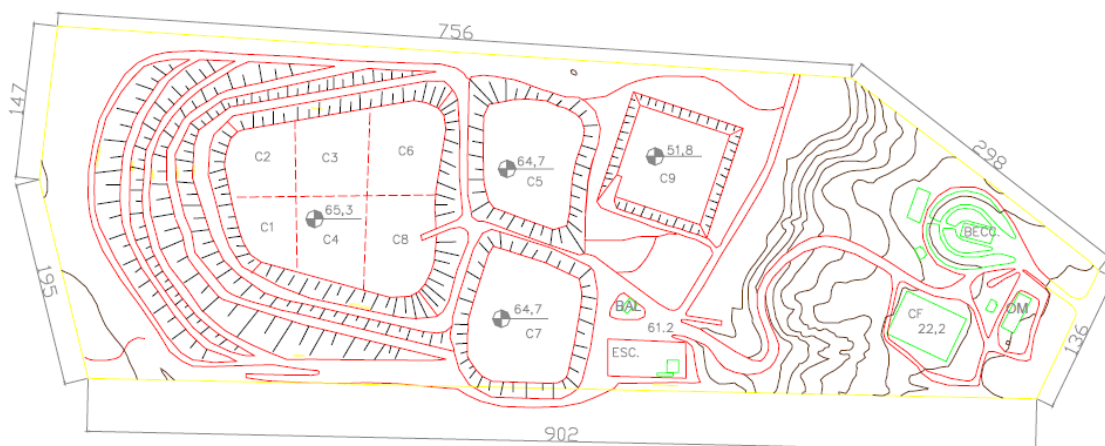
A deposição de resíduos sólidos de Maceió na área do antigo lixão teve início no final da década de 30, quando foram implantados em 20 cidades brasileiras, entre as quais Maceió, os primeiros sistemas de compostagem, conhecidos como Beccari, que consiste basicamente em primeiro confinar os resíduos em células fechadas, onde há decomposição anaeróbia, em seguida, um fluxo contínuo de ar é introduzido no meio fazendo com que o processo passe a ser predominantemente aeróbio, com tempo de digestão entre 40 e 180 dias (GERSRAD,2004).

A localização escolhida para a implantação do sistema Beccari, era na época, considerada como zona rural sendo muito distante do centro urbano. O sistema funcionou durante três décadas, tendo sido abandonado gradativamente devido ao crescimento e a mudança de hábitos da população maceioense, que implicou no aumento do volume e na mudança da composição dos resíduos gerados que passaram a ter grande fração de materiais de difícil degradação como o plástico, fazendo com que o sistema se tornasse impróprio e fosse desativado definitivamente em 1967, quando todo o lixo coletado passou a ser despejado nas encostas da área, transformando-se no “lixão de Maceió” (GERSRAD, 2004).

Ainda com o antigo lixão em atividade, as características físicas da capital alagoana, situada entre um complexo lagunar a oeste e o mar ao sul e leste, impeliu o crescimento urbano da cidade para a zona rural ao norte, onde havia se instalado o lixão de Maceió, de forma que ao ser encerrado mesmo já ocupava uma área de 33ha, além de estar completamente inserido na área urbana da cidade.

Em 1994 a área foi dividida em 8 células (C1 – C8), com a inclusão de 21 drenos de gás, retaludamento da área voltada para o fundo do vale e implantação de portaria com controle de acesso e balança, numa tentativa frustrada de biorremediação, mas a partir de então, o antigo lixão passou a ser operado numa tentativa de “aterro controlado”. Em 2002, após esgotar as 8 células, foi necessário à abertura de mais uma célula (C9) que serviu como área receptora dos RSU até o fechamento definitivo do lixão em abril de 2010 (Figura 23).

Figura 23 - Esquema geral da área do antigo lixão de Maceió após reorganização



Fonte: GERSRAD (2004).

Apesar da tentativa de operar o lixão como um aterro controlado, os impactos ambientais e sociais causados eram evidentes, tais como mostrados na Figura 24.

Na área havia presença de catadores de lixo trabalhando em condições sub-humanas; ausência de cobertura dos resíduos; taludes de lixo com altura e inclinação elevadas e sem qualquer cobertura vegetal; presença de vetores transmissores de doenças; presença de animais (urubus, equinos, suínos); ausência de redes de drenagem de percolato e de gases; odores desagradáveis no ar (fogo, fumaça, etc); acúmulo de lixiviado na base do lixão, além da possibilidade e contaminação do solo por falta de impermeabilização da base onde se instalou o descarte de lixo, agravado pela proximidade de poços artesianos de abastecimento de água mineral (GERSRAD, 2004).

Figura 24 - Situação do antigo lixão de Maceió antes da adequação

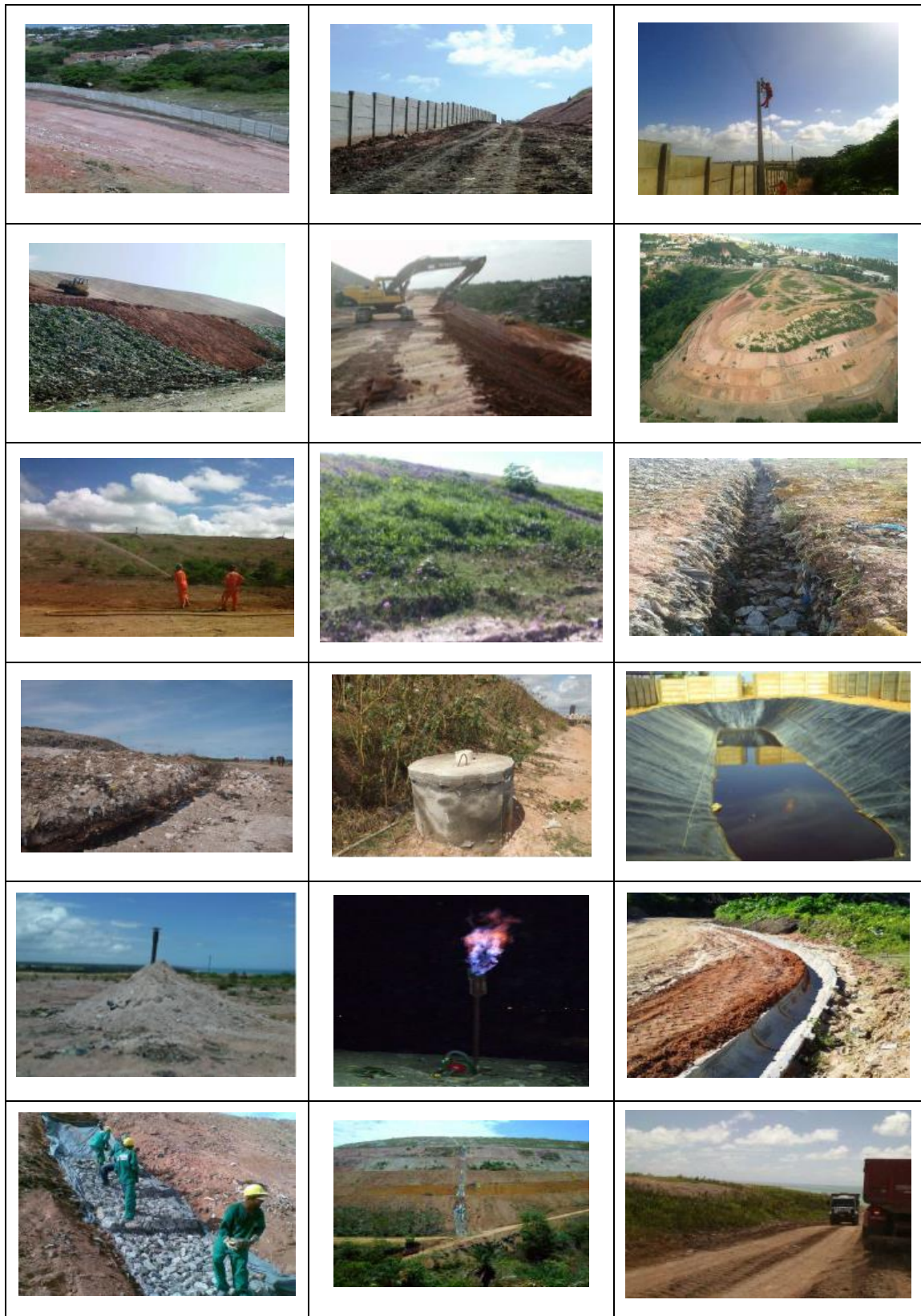


Fonte: GERSRAD (2004).

- **Ações de recuperação da área degradada**

O estudo desenvolvido pelo GERSRAD em 2004, além de propostas de seleção de áreas para o futuro aterro sanitário, contemplava ações de recuperação da área degradada para mitigar os impactos ambientais identificados no local, tais como: delimitação e cercamento total da área; cobertura dos resíduos; retaludamento; plantio de grama sobre os taludes; construção do sistema de drenagem de “pé” de talude para lixiviado; construção de estrada de serviço; construção de sistema de drenagem de águas pluviais; construção do sistema de drenagem de gases; e a proposta de transformação da área em um Parque Sócio Ambiental (Figura 25), sem a retirada da massa de lixo depositada na área.

Figura 26 - Obras de adequação realizadas na área do antigo lixão de Maceió



Fonte: Máximo e Santos (2015).

Também foram construídos dois poços na área do antigo lixão para coleta de amostras. Todo o líquido gerado é conduzido ao tanque de armazenamento é posteriormente coletado periodicamente em caminhões de sucção a vácuo e levados ao CTR (Central de Tratamento de Resíduos) de Maceió para tratamento e descarte adequados (MÁXIMO E SANTOS, 2015).

- **Volume de lixo enterrado**

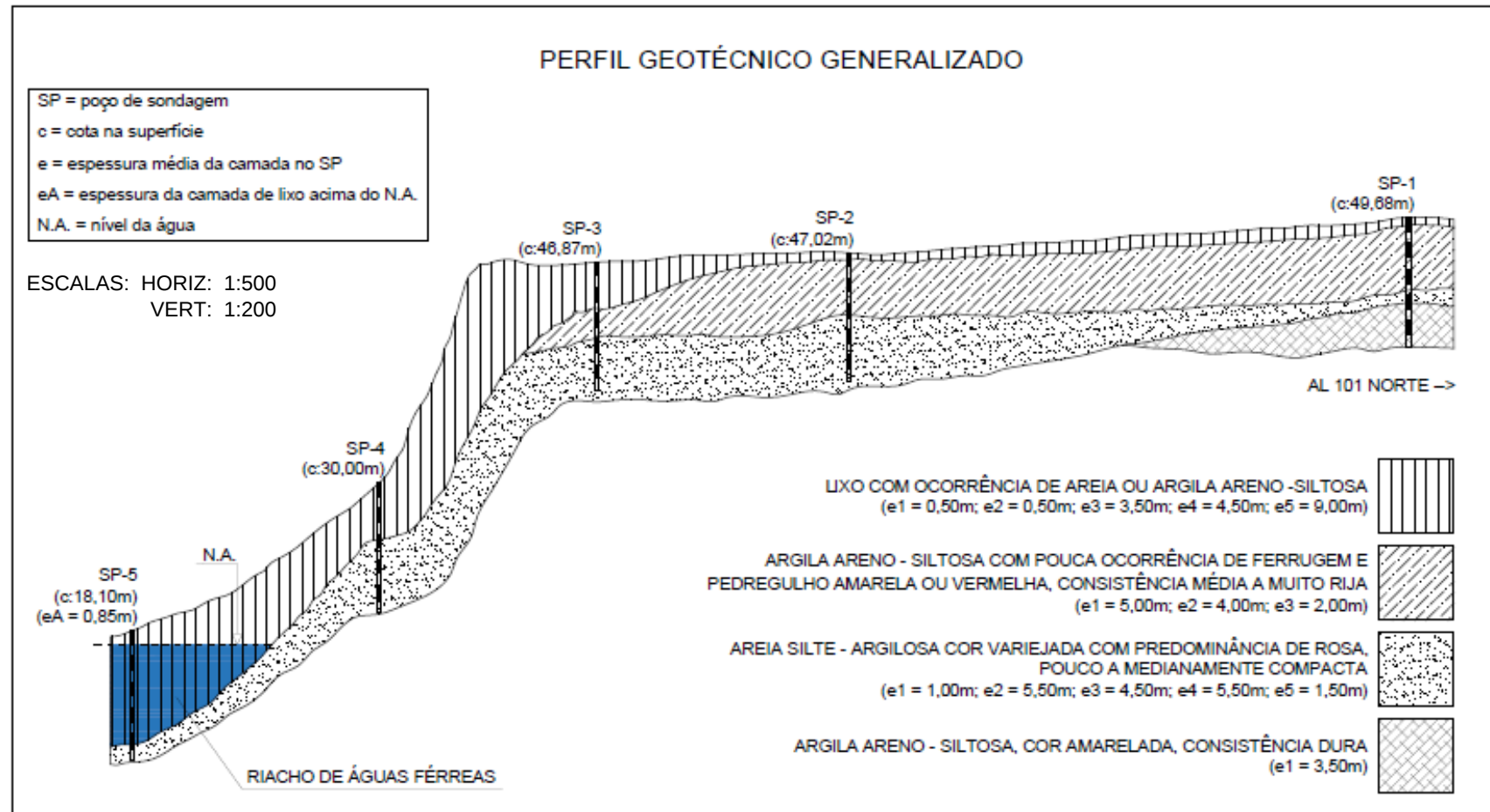
Quanto ao volume dos RSU depositados no antigo lixão municipal, no período de 1967 a 2004, este foi estimado um acumulado de aproximadamente 700.000 m³ de resíduos diversos, resultante da produção de 1100 t/dia de RSU, cujo volume crescente até o encerramento das suas atividades alcançou, em alguns pontos, a cota de 65,0m (GERSRAD,2004).

Esse volume foi ultrapassado ao longo dos seis anos posteriores, nos quais o foi utilizada a célula emergencial chamada de C9, que estendeu a sobrevida do antigo lixão até o seu encerrado definitivo em abril de 2010. De acordo com a SEMARH, o volume de resíduos estimado após o encerramento era de 3 milhões de m³, alcançando a cota de 91m e apresentando em alguns pontos a altura de resíduos acumulado de aproximadamente 30m.

- **Características do solo sobre o qual o lixo foi depositado**

Através do estudo geotécnico realizado na área do antigo vazadouro utilizando sondagens SPT, identificou-se o perfil do solo (Figura 27). A geologia dessa região apresenta formação por tabuleiro ou interflúvio tabuliforme dissecado na sua região central, constituída por solo podzólico/latossolos. E em seu perfil leste, a formação de cordões arenosos origina areias quartzosas, enquanto o colúvio aluvionar das encostas de vales e terraços no lado oeste formam solos coluviais, por onde passa o riacho com grande deposição de lixo (LIMA E NUNES, 1996).

Figura 27 - Perfil Geotécnico da área do antigo lixão através de sondagens realizadas em 1995



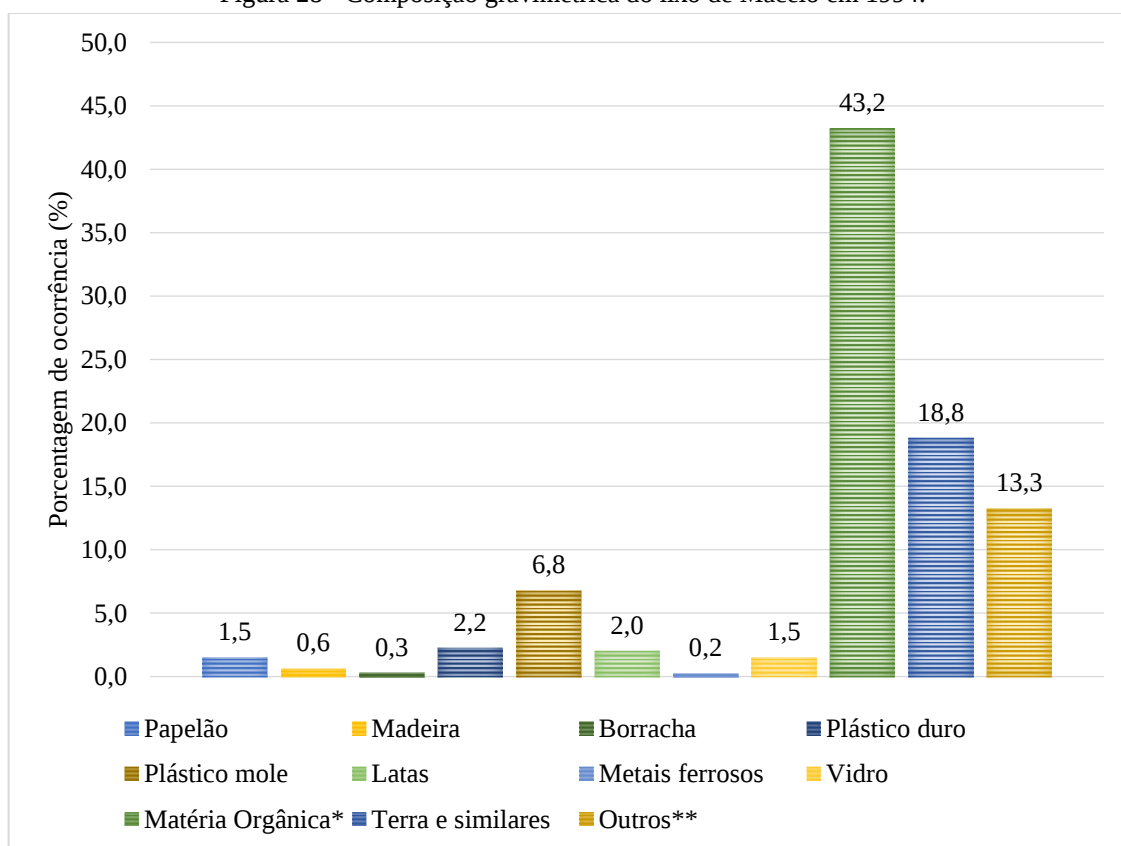
Fonte: Adaptado de Lima e Nunes (1996).

A sondagem do solo revelou que o antigo lixão se desenvolveu sobre uma área essencialmente composta por argila areno-siltosa no topo do tabuleiro de consistência média a muito rija, seguida de uma camada de areia silte-argilosa de consistência pouco a medianamente compacta. Entretanto, o volume de resíduos depositado nas proximidades do córrego, desde o início do antigo lixão, pode ter grande influência na contaminação das águas superficiais e subterrâneas devido ao contato direto (LIMA E NUNES, 1996).

- **Características dos resíduos enterrados**

Os resíduos municipais descartados na área apresentavam uma composição gravimétrica caracterizados em três momentos distintos, durante a operação do lixão, em 1994 (Lima e Nunes, 1996), 2000 (Jucá, 2002) e 2006 (Tavares, 2008) e apresentadas, respectivamente nas Figuras 28, 29 e 30.

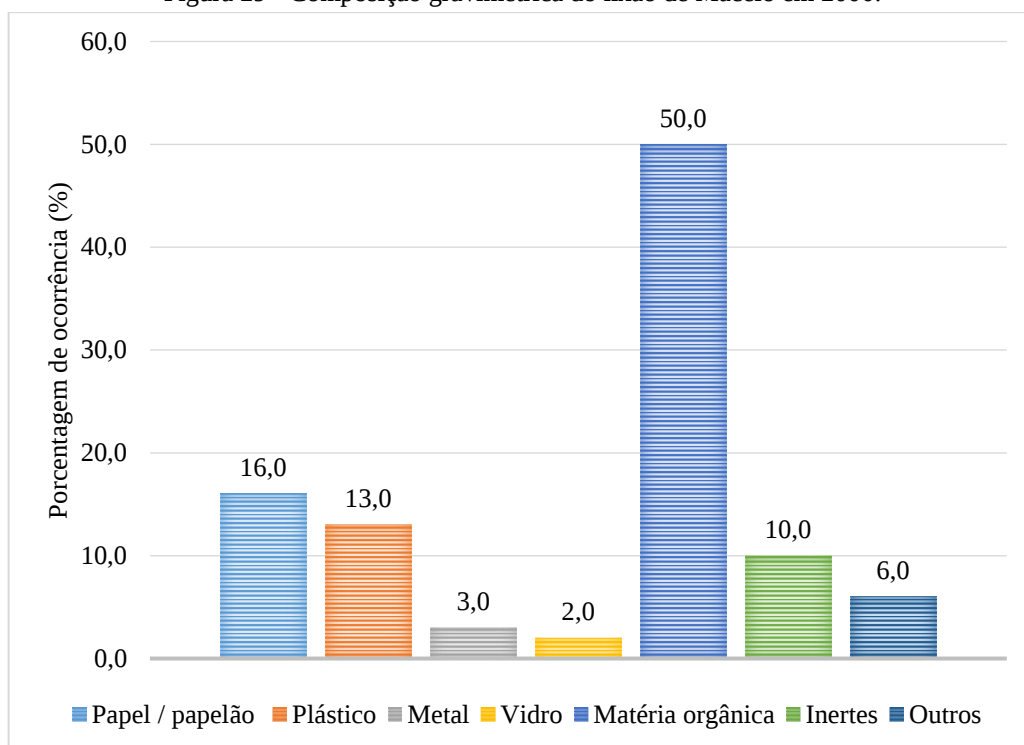
Figura 28 - Composição gravimétrica do lixo de Maceió em 1994.



Fonte: Lima e Nunes (1996).

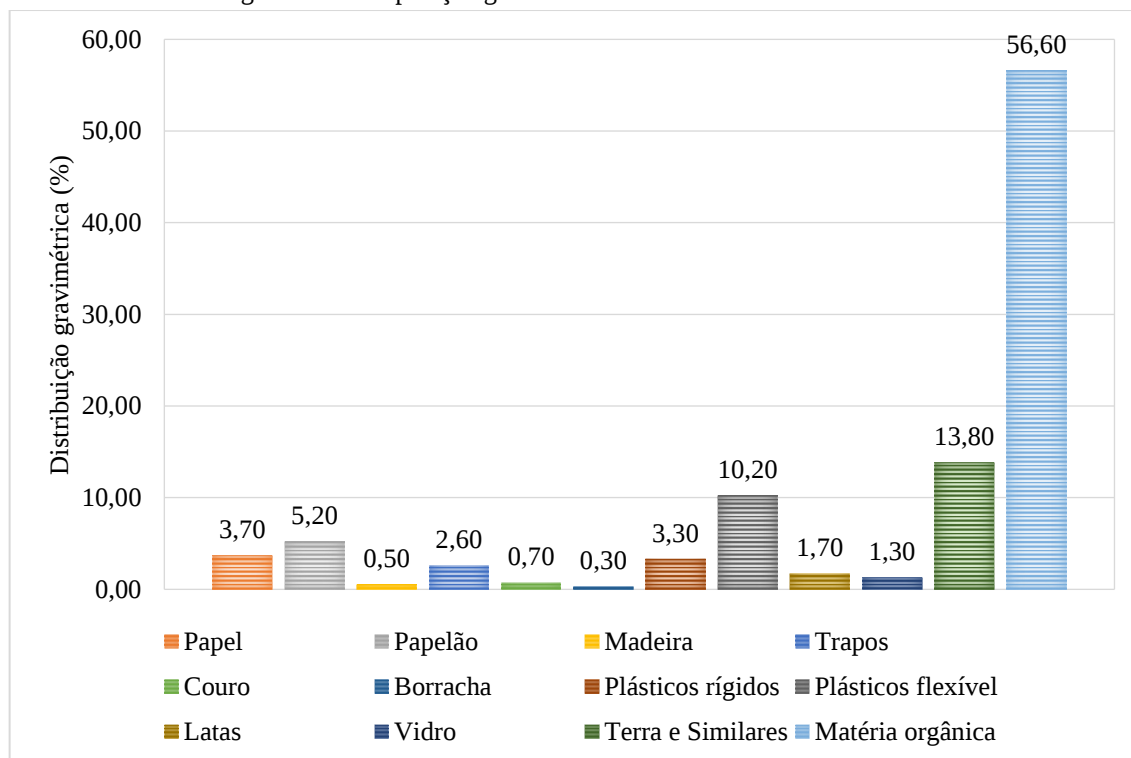
* Verduras, frutas, folhagens, folhas e restos de alimentos. ** Trapos, couro e ossos.

Figura 29 - Composição gravimétrica do lixo de Maceió em 2000.



Fonte: Jucá (2002).

Figura 30 - Composição gravimétrica do lixo de Maceió em 2006.



Fonte: Tavares (2008).

Verifica que o percentual de matéria orgânica, era crescente e predominante, sendo eles respectivamente, de 43,42%, 50% e 56,6% para os três estudos realizados. Em 1994 os percentuais de materiais potencialmente recicláveis (papel//papelão, plásticos, metais e vidro) eram baixos, menores que 12,7%. Em 2000 esse percentual cresceu consideravelmente para 34%, e em 2006 esse percentual reduziu para 25,4%.

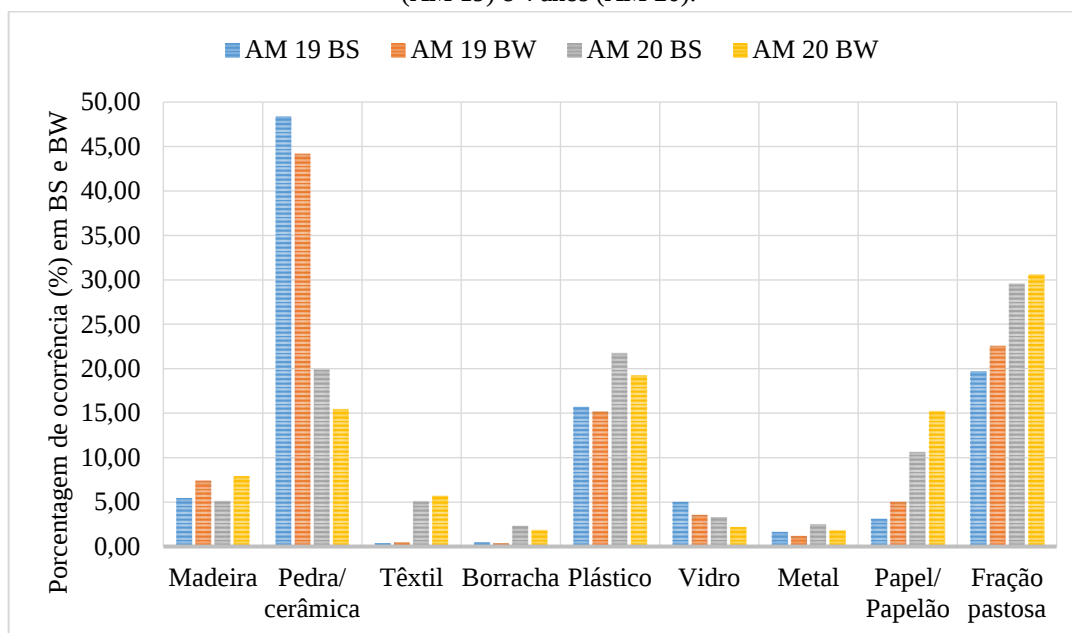
Em 2012, após o encerramento do lixão, a empresa que ganhou o processo licitatório em parceria com a Universidade Federal da Bahia (UFBA), realizou a análise da composição gravimétrica (CG) do lixo que já estava enterrado. Para tanto, foi indispensável o uso de uma escavadeira para a remoção da camada de cobertura e revolvimento do material depositado há décadas. Contudo, só foi possível escavar até uma profundidade aproximada de 5 m, sugerindo que a amostra não condiz com o tempo estimado, uma vez que a massa de lixo tem profundidade significativamente maior que a alcançada, e caracteriza o resíduo enterrado nos últimos anos de operação do lixão.

De acordo com UFBA (2012), o estudo de caracterização dos resíduos enterrado (já em decomposição) foi realizado em dois pontos do antigo lixão de Maceió, trabalhando com o resíduo em Base Seca (BS) e Base Úmida (BW).

As amostras de resíduos do antigo lixão com cerca de 30-35 anos de aterramento foram chamadas de (AM19) e amostra de resíduos do antigo lixão com cerca de 4 anos de aterramento foram chamadas de (AM20), conforme a Figura 31. Além da composição gravimétrica foi analisada a quantidade de Matéria Orgânica (MO), Sólidos Totais Voláteis (STV), Fração Pastosa e lignina, presentes na composição dos resíduos e representados na Figura 32 (UFBA,2012).

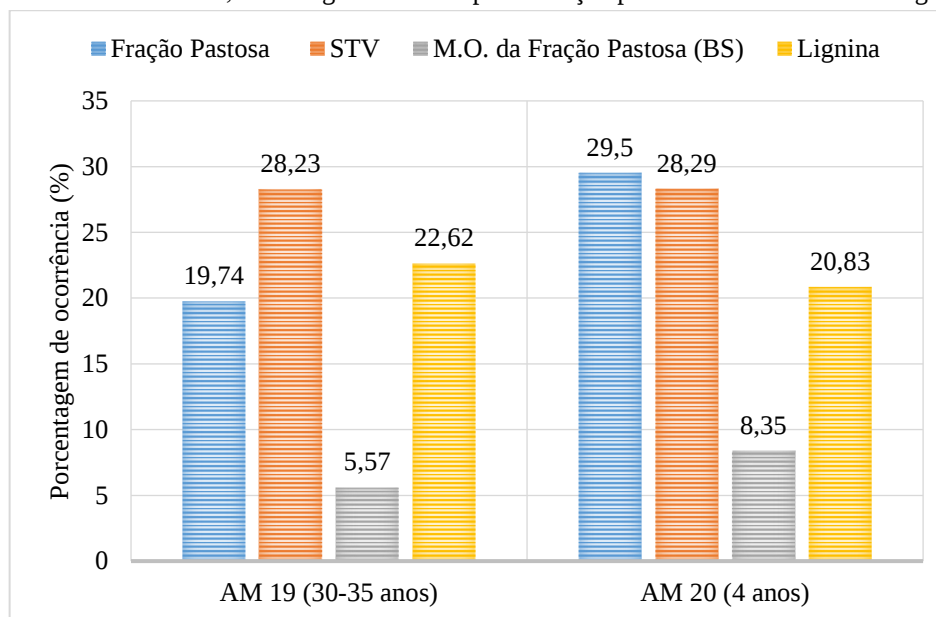
Segundo a UFBA (2012), os STV estão diretamente relacionados ao potencial de geração de gás presente na fração pastosa, e para as amostras 19 e 20 referentes ao RSU aterrados no antigo lixão, eles representam 29%.

Figura 31 - Composição gravimétrica em base seca (BS) e úmida (BW) dos resíduos com idade de 30-35 anos (AM 19) e 4 anos (AM 20).



Fonte: UFBA (2012).

Figura 32 - Teor de STV, MO e lignina obtidos para a fração pastosa dos resíduos do antigo lixão



Fonte: Adaptado de UFBA (2012).

A Matéria Orgânica (MO) tem porcentagens iguais a 5,57% e 8,35% para AM19 e AM20, respectivamente, enquanto o teor de lignina foi de 22,62% e 20,83%, respectivamente. Ainda de acordo com o mesmo relatório, a faixa de resultados do teor de lignina obtido por

Maciel (2009) para os resíduos com 12 a 15 anos de aterramento no Aterro da Muribeca, na região metropolitana de Recife-PE, variam entre 7,1 e 2,3% aproximadamente, enquanto Alves (2008) obteve um teor de lignina de 61,5% para resíduos com 7 anos de aterramento. De maneira análoga, Santos (2011) obteve resultados com 7,6% de MO, 28,47% de STV e 14,44% de lignina para os RSU de Salvador - BA com pouco mais de 4 anos de aterramento. Enquanto isso, Carvalho (2013) obteve como resultados para os RSU da cidade Barreiras-BA os valores médios de 1,19% de MO, 16,14% de STV e 14,64 de lignina para os resíduos com 10 anos de aterramento.

De acordo com Soares (2011), o teor de STV é um indicador de degradabilidade juntamente com o teor de MO e Lignina, os respectivos baixos percentuais podem indicar um resíduo em fase avançada degradação resultante de longos períodos de aterramento. No caso de Maceió, os resultados apresentados estão mais próximos dos que foram obtidos para os RSU de Salvador com 4 anos de aterramento. Esses dados são justificados no relatório elaborado por UFBA (2012), o qual afirma que as amostras coletadas no antigo lixão foram coletadas a 5 m abaixo da camada de cobertura, não atingindo as camadas mais antigas, ou seja, com resíduos acima dos 40 anos de aterramento. Entretanto, os valores encontrados indicam uma tendência de redução comum ao longo do tempo.

4.2 INSPEÇÃO VISUAL

Segundo Portella e Ribeiro (2014), a inspeção visual frequente é de fundamental importância, pois favorece a agilidade na prevenção e correção de danos ambientais. A inspeção visual realizada no antigo lixão de Maceió mostrou que:

- Toda a montanha de resíduos passou um retaludamento e cobertura vegetal aparentemente sem fissuras, favorecendo o visual da área.
- O cercamento realizado em toda a área foi danificado pela população circunvizinha, abrindo acessos tanto para que levem seus animais para se alimentar com a vegetação da camada de cobertura, quanto para o trânsito de moradores da Vila Emater, assim como utilização indevida da área para o lazer das crianças da comunidade, além da depredação do mirante construído (Figura 33). Apesar das frequentes tentativas de recuperação dos pontos danificados e conscientização dos moradores, essas atitudes da comunidade alertam para a necessidade de um trabalho eficaz de educação ambiental das comunidades circunvizinhas, incluindo ações mais eficientes no controle de acesso à área.

Figura 33 - Situação atual do antigo lixo



Fonte: Bandeira (2019).

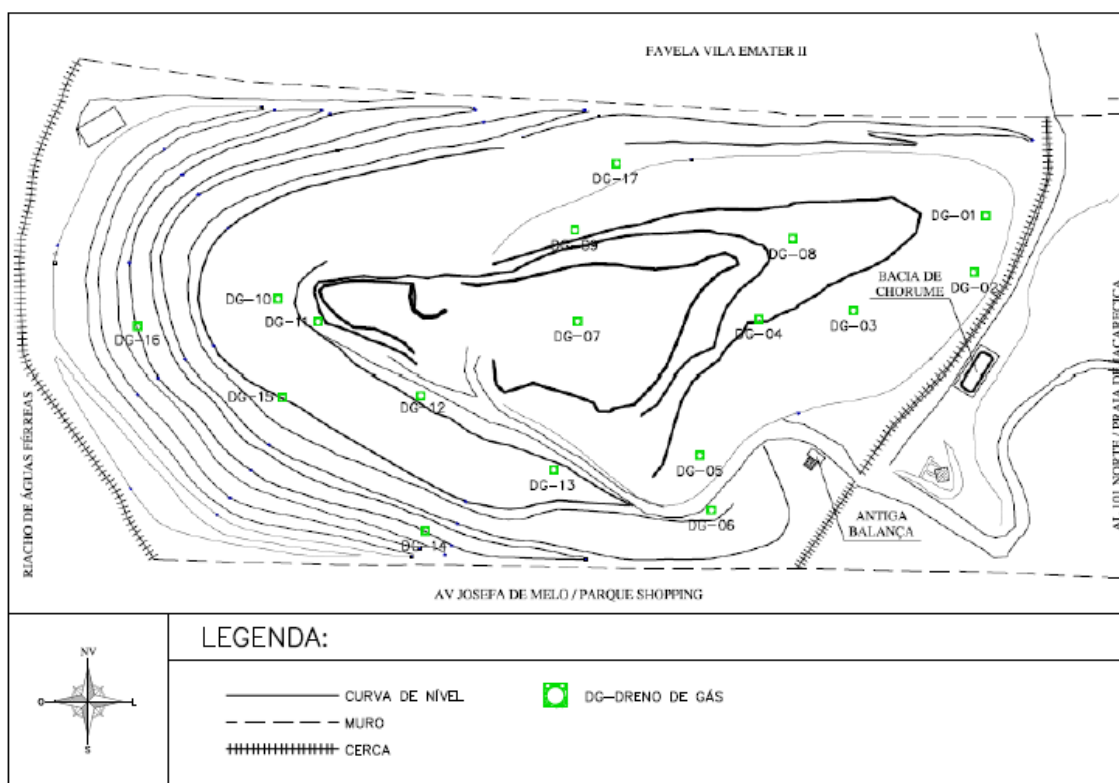
- A região se transformou num grande morro coberto de vegetação nativa, sem danos graves na cobertura vegetal, apesar da pastagem de animais da região circunvizinha. No período da quadra chuvosa, geralmente de abril ao início de setembro, a cobertura vegetal aparece ainda mais verde, em nada lembrando a situação degradante de poucos anos atrás.
- No local não é percebido nenhum mal odor, assim como foi observado que alguns queimadores (*flares*) dos drenos de gás não estavam acesos constantemente. Não há queima de resíduos nem emissão de fumaça, e a população do entorno não mais reclama de odores desagradáveis nem de fuligens.
- Foi feita instalação de canais de drenagem para águas superficiais, bem como a instalação de um sistema de drenagem para o lixiviado produzido pela massa de lixo, que visualmente permanecem desobstruídos e sem a presença de insetos ou vetores transmissores de doenças.
- As vias de acesso não são pavimentadas, mas propiciam condições para os veículos efetuarem as fiscalizações necessárias por toda a área.

De maneira geral, atualmente a região se encontra visualmente remediada, fazendo com a população mais jovem e os visitantes da cidade desconheçam o fato de que ali está depositado o maior volume de resíduos da cidade de Maceió até hoje, o que serve de alerta para os órgãos competentes intensificar os cuidados com o monitoramento e com o esclarecimento necessário à população circunvizinha para os cuidados com a manutenção da área.

4.3 MONITORAMENTO DOS GASES

Os dados de acompanhamento dos gases produzidos pelos RSU depositados no antigo lixão foram coletados em seis drenos de gás, DG-01 a DG-06 representados na Figura 34, na qual se observa que os drenos utilizados para coleta de dados estão locados na área da célula C9, na qual foram depositados os últimos resíduos antes do fechamento do antigo vazadouro em 2010.

Figura 34 - Localização dos drenos de gás



Fonte: Adaptado de ESTRE (2017).

Além disso, os drenos de gás foram instalados com uma profundidade aproximada de 8 m, cujos resultados correspondem aos anos de 2015, 2016 e 2018, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 7, 8 e 9. Vale ressaltar que devido à profundidade de instalação dos drenos e sua localização concentrada em uma única região, os resultados podem não representar o comportamento de toda a massa lixo aterrada.

Tabela 7 - Dados do monitoramento de metano em abril/2015

Local	Diâmetro dos drenos (m)	Vazão (m³/h)	Valores CH ₄	
			Concentração (%)	Emissão (m³/h)
Ponto 01	0,13	12,00	25,50	3,06
Ponto 02	0,13	14,24	39,65	5,64
Ponto 03	0,13	14,83	39,41	5,14
Ponto 04	0,13	16,16	33,39	5,40
Ponto 05	0,30	45,43	34,15	15,51
Ponto 06	0,13	17,08	24,04	4,22

Fonte: Adaptado de SLUM (2015).

Tabela 8 - Valores médio obtidos de CH₄ em junho/2016

Local	Diâmetro dos drenos (m)	Vazão (m ³ /h)	Valores CH ₄	
			Concentração (%)	Emissão (m ³ /h)
Ponto 01	0,13	12,00	< 0,0050	0,0006
Ponto 02	0,13	14,70	< 0,0050	0,0007
Ponto 03	0,13	15,50	< 0,0050	0,0008
Ponto 04	0,13	16,00	< 0,0050	0,0008
Ponto 05	0,30	40,00	< 0,0050	0,0020
Ponto 06	0,13	18,50	< 0,0050	0,0009

Fonte: Adaptado de SLUM (2016).

Tabela 9 - Valores obtidos de CH₄ em junho/2018

Local	Diâmetro dos drenos (m)	Vazão (m ³ /h)	Valores médios CH ₄	
			Concentração (%)	Emissão (m ³ /h)
Ponto 01	0,13	12,00	23,6	4,06
Ponto 02	0,13	-	0,15	<0,1
Ponto 03	0,13	-	0,10	<0,1
Ponto 04	0,13	-	0,10	<0,1
Ponto 05	0,30	-	0,10	<0,1
Ponto 06	0,13	-	0,10	<0,1

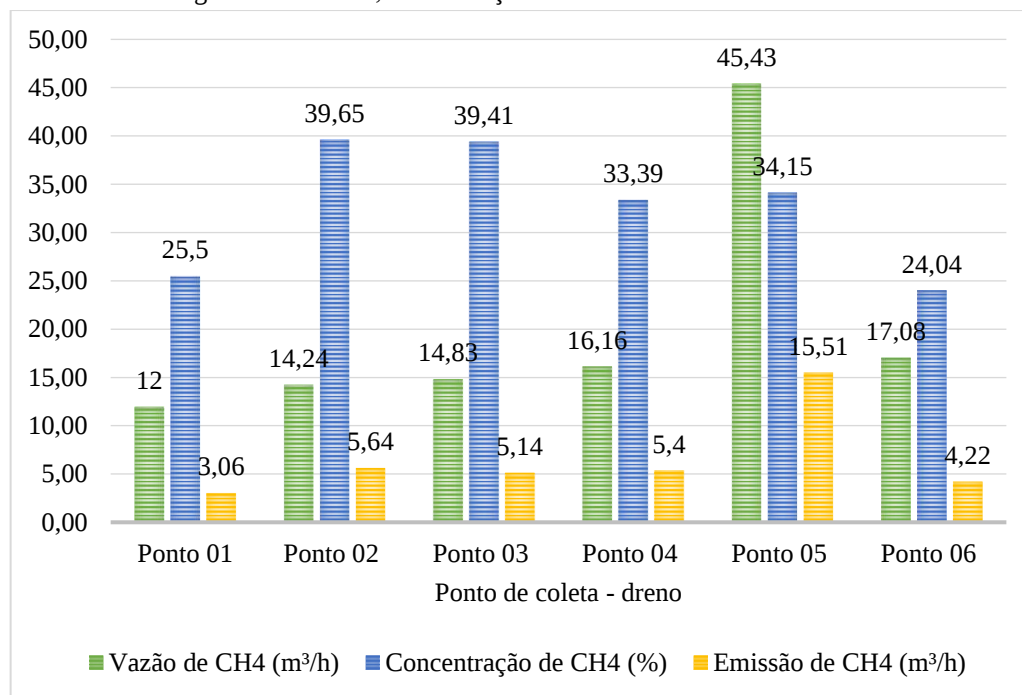
Fonte: Adaptado de SLUM (2018).

Pelas Tabelas 7 e 8 verifica-se que as vazões de gás nos anos de 2015 e 2016 são semelhantes, variando de 12 a 18,5 m³/h nos drenos com 13 cm de diâmetro e em torno de 40 m³/h no dreno de 30 cm de diâmetro, no entanto, no ano de 2015, a composição máxima do gás mostrou uma concentração de metano da ordem 40%, com uma vazão de emissão de metano para atmosfera de 5 m³/h, o que é coerente com a faixa apresentada pelo CEMPRE (2018) para resíduos acima de dois anos de aterramento. A Figura 35 ilustra a vazão de gás, a concentração e a emissão e percentual de metanos nos drenos amostrados em 2015.

Além disso, todas as leituras dos gases foram realizadas no período da quadra chuvosa da cidade, como pode ser verificado nas Figuras 37 e 38. Segundo Maciel (2008), a pluviosidade interfere diretamente nos níveis de emissão de gás, podendo reduzir o fluxo devido ao elevado grau de saturação do solo, o que dificulta a permeabilidade dos gases.

Pela EPA (2017), os gases produzidos pelos RSU do antigo lixão de Maceió em 2015 apresentavam valores compatíveis com a última das 4 fases do seu modelo, a metanogênica. No ano de 2016, embora a vazão de gases fosse semelhante a observada em 2015, o percentual de metano apresentado no relatório foi muito baixo, inferior a 0,1%.

Figura 35 - Vazões, concentrações e emissões de metano em 2015



Fonte: A Autora (2019).

Em 2018, Tabela 9, verifica-se que em apenas o dreno 1 foi possível medir vazão e concentração de metano, nos demais drenos, a vazão era inferior aos limites de leitura do equipamento de medição e as concentrações de metano também eram muito pequenas, em torno de 0,1%.

Segundo a Tabela 1 de Augestein e Pacey (1991) *apud* Maciel (2009), que correlaciona o tempo de aterramento com a concentração de gases produzidos, os dados observados em 2016 e 2018 indicam que os gases estão em decaimento de produção, ressaltando que essa é a fase anaeróbia mais longa.

Em 2012, apenas dois anos após o encerramento do lixão, a UFBA realizou um estudo de caracterização dos resíduos e potencial aproveitamento energético do gás gerado pelos resíduos depositados no antigo lixão. O estudo mostrou valores de aproximadamente 20% de fração pastosa e 7% de matéria orgânica, indicando a tendência do declínio na produção dos

gases, especialmente o metano, uma vez que não haveria mais deposição de resíduos novos, além da inviabilidade técnica e financeira para a adequação da área para captar adequadamente todo o gás produzido.

De acordo com as leituras realizadas no monitoramento, os valores de emissão de metano apresentam comportamento coerente com a literatura (Tchobanoglous, 2002; Maciel, 2009; EPA, 2017) e os valores estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 03/1990, apresentando baixo potencial de contaminação do ar nas atuais condições.

4.4 MONITORAMENTO DO LIXIVIADO

Como os resíduos começaram a ser depositados diretamente no solo, sem nenhuma preparação da área, o solo da base do lixão certamente deve apresentar índices elevados de contaminantes, devido à produção de lixiviado.

De acordo com funcionários da SLUM, na época do fechamento do antigo lixão, a possibilidade de remoção dos resíduos se mostrou inviável pelo volume elevado, alto custo e inviabilidade técnica para os resíduos mais antigos, e conseqüentemente o chorume continuou sendo produzido.

Dessa forma, a SLUM fiscaliza e monitora o lixiviado produzido por meio de relatórios e suas respectivas análises laboratoriais semestrais, realizadas do referido líquido nos pontos PCH-1 e PCH-5, afim de avaliar a variação de sua estabilização ao longo do tempo. A Tabela 10 apresenta os dados referentes aos metais pesados contidos no lixiviado. Enquanto a Tabela 11 apresenta os demais parâmetros físico-químicos analisados nos 5 pontos de monitoramento de lixiviado, sendo coletadas as amostras nos poços com a localização e numeração utilizada pela V2 Ambiental em seus relatórios desde 2013 conforme representada na Figura 36.

Figura 36 - Localização dos poços de coleta utilizados para o laudo de lixiviado desde 2013



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Tabela 10 - Valores Metais Pesados do lixiviado do antigo lixão de Maceió/AL ao longo do tempo

Parâmetros	2011	2013 PCH-1	2013 PCH-5	2015 PCH-1	2015 PCH-5	2016 PCH-1	2016 PCH-5	R.C. 430/2011
Alumínio dissolvido (mg/L)	-	0,17	0,37	0,190	0,220	0,074	0,05	-
Arsênio (mg/L)	0,071	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	0,50
Bário Total (mg/L)	0,099	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	5,00
Cádmio total (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,001	0,20
Chumbo Total (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,005	0,005	0,50
Cobre dissolvido (mg/L)	-	0,091	0,118	0,033	0,095	0,202	0,044	1,00
Cromo Total (mg/L)	0,129	0,077	0,091	0,037	0,031	0,029	0,017	-
Ferro Dissolvido (mg/L)	1,5	3,02	3,25	3,59	4,21	1,106	0,756	15,00
Manganês Total (mg/L)	0,038		0,221	0,092	0,157	0,088	0,086	1,00
Mercurio Total (mg/L)	< 0,0003		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-	0,01
Níquel Total (mg/L)	0,101		0,002	0,002	0,012	0,016	-	2,00
Zinco Total (mg/L)	0,214		0,252	0,217	0,322	0,280	0,036	5,00

Fonte: Adaptado da ESTRE (2009 a 2016).

Tabela 11 - Valores do lixiviado do antigo lixão de Maceió/AL ao longo do tempo

Parâmetros	2009	2011	2013 PCH-1	2013 PCH-5	2015 PCH-1	2015 PCH-5	2016 PCH-1	2016 PCH-5	R.C. 430/2011
Alcalinidade Total (CaCO ₃ /L)	3950	-	-	-	1812,00	1980,00	300	250	s/ especif.
Condutividade (us/cm)	-	-	-	-	6012,00	5930,00	14474,8	16021	s/ especif.
DBO (mg/L)	2860	1196	30	2080	900,00	730,00	55,7	77,3	s/ especif.
DQO (mg/L)	6400	2280	52	3440	2080,00	1600,00	-	-	s/ especif.
Fósforo (mg/L)	154	-	12,28	29,5	18,75	27,54	4,93	4,88	s/ especif.
N-Amoniacal (mg/L)	104	1,43	70	532	189,00	295,40	532	420	20,00
Nitrato (mg/L)	24,07	-	9,42	42,21	-	-	-	-	s/ especif.
pH	8,54	8,2	7,35	7,42	7,87	7,91	7,13	7,97	5 a 9
Sólidos Totais (mg/L)	7428	-			-	-	-	-	s/ especif.

Fonte: Adaptado de ESTRE (2009 a 2016).

Pela Tabela 10 verifica-se que as concentrações de metais presentes no lixiviado estão todos abaixo dos limites estabelecidos pela CONAMA 430/2011, para lançamento de efluentes em corpos de água.

Os principais indicativos da idade do lixiviado é o pH e concentração de Nitrogênio Amoniacal, pois segundo Reichert (1999), a partir da fase metanogênica os ácidos voláteis são consumidos pela microbiota metanogênica e posteriormente transformados em gás carbônico e metano. Esse processo leva ao aumento do pH para a faixa de 7,1 – 8,7 e das concentrações de nitrogênio amoniacal para valores entre 50 e 2400, além da queda dos teores de ácidos e da carga orgânica.

Na Tabela 11 verifica-se que a célula C9 ainda gera lixiviado e apresenta valores de pH superiores a 7. O mesmo ocorre com os valores de concentração de N-amoniacal acima dos 400 mg/L, indicando que o maciço se encontra entre as fases metanogênica e de maturação, em concordância com os dados de gás metano observados.

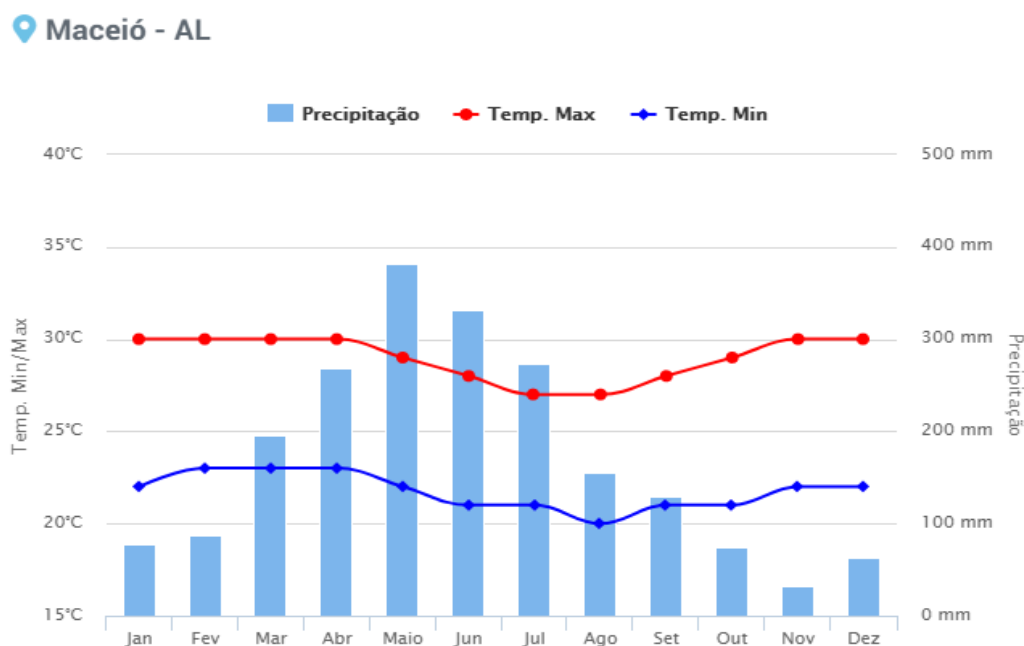
O lixiviado, após o encerramento, também apresenta baixos valores de DBO, entre 730 e 900, enquanto a DQO variou entre 1600 mg/L e 2080 mg/L, que segundo Souto (2009), também são característicos da fase metanogênica já em transição para maturação. Para

TCHOBANOGLOUS et al (1993) esses valores de DQO estão próximo dos valores atribuídos para aterros com mais de 10 anos.

Segundo Lange e Amaral (2009) o tempo de aterramento dos resíduos é um dos fatores que afetam diretamente a qualidade do lixiviado de maneira inversamente proporcional, ou seja, seu potencial poluidor tende a reduzir à medida que o seu tempo de aterramento cresce. Para Elk (2007), no caso do lixiviado do lixão de Maceió, os valores de DQO coincidem com os resultados obtidos no aterro da Muribeca, em Jaboatão dos Guararapes-PE, para resíduos com 23 anos de idade, cujo intervalo varia de 2.102 a 8.416 mg/L.

Os fatores climáticos como a precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura também têm influência direta na produção de lixiviado em aterros sanitários, tornando primordial o acompanhamento desses fatores para se obter um eficiente monitoramento de lixiviado (LANGE E AMARAL, 2009). O gráfico da Figura 37 mostra o comportamento da chuva e da temperatura ao longo dos últimos 30 anos a cidade de Maceió/AL, onde se verifica que o período o seco/quente ocorre entre de setembro a março e o chuvoso/frio ocorre entre os meses de abril a agosto, requerendo maior atenção neste período.

Figura 37 - Climatologia dos últimos 30 anos



Fonte: Climatempo (2018).

De maneira semelhante, a Tabela 12 apresenta as precipitações nos últimos 8 anos pós-encerramento do antigo vazadouro, além da Figura 38 representar graficamente esses dados. Observa-se que há um crescimento significativo de precipitação durante a quadra chuvosa de Maceió-AL, que corresponde ao período de abril a julho, contribuindo significativamente para o aumento do volume de lixiviado.

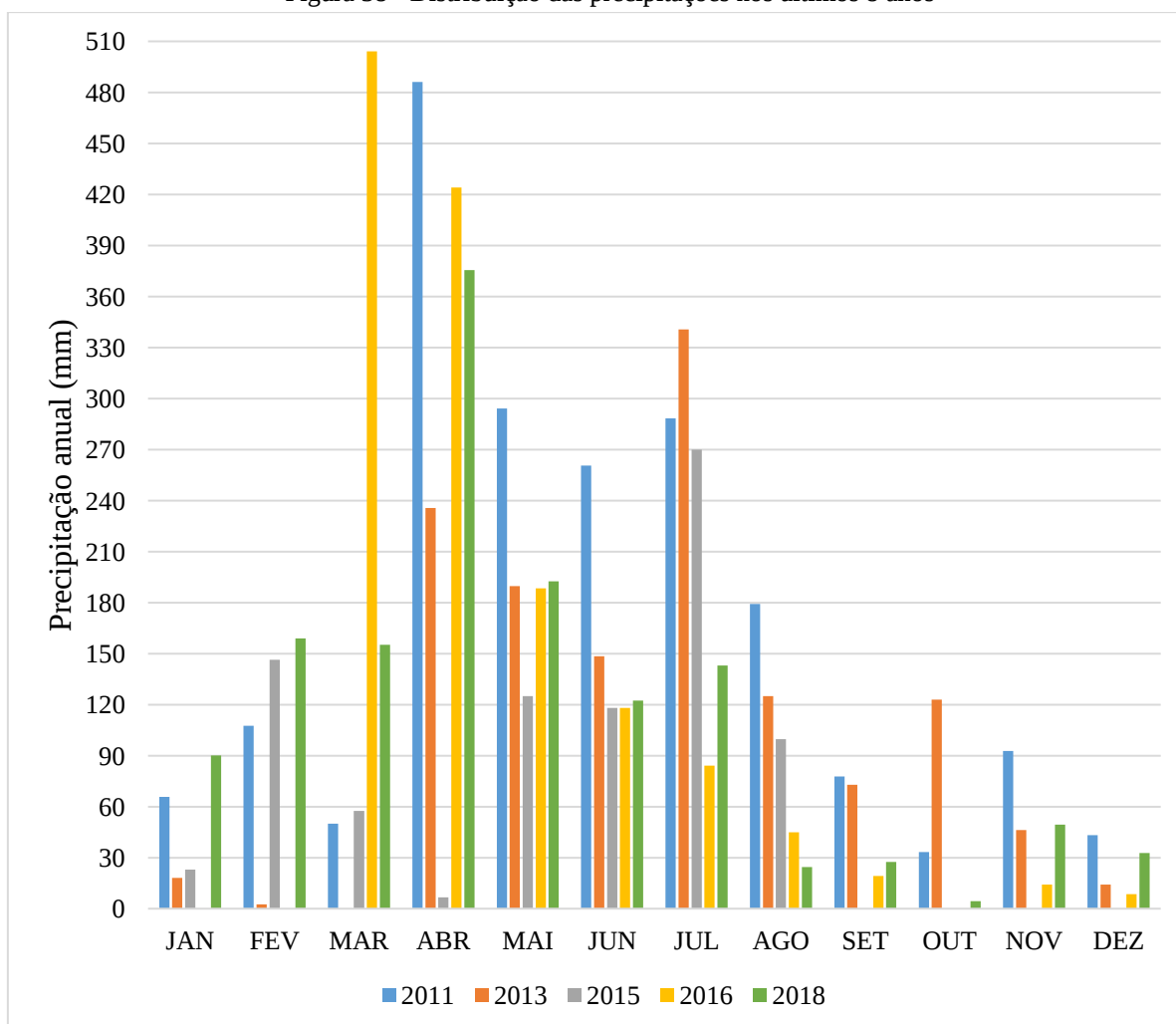
Tabela 12 - Precipitações anuais dos últimos 8 anos

Maceió - Cruz das Almas (CEMADEN) - Precipitação mensal (mm)					
	2011	2013	2015	2016	2018
JAN	65,8	18,2	23,0	-	90,2
FEV	107,5	2,5	146,4	-	158,9
MAR	50	0	57,5	504,2	155,1
ABR	486,2	235,6	6,6	424,0	375,5
MAI	294,1	189,6	125,0	188,4	192,4
JUN	260,5	148,5	118,1	118,1	122,3
JUL	288,3	340,7	269,9	84,1	142,9
AGO	179,2	124,9	99,6	45,0	24,4
SET	77,7	72,9	0,0	19,2	27,5
OUT	33,3	122,9	0,0	-	4,4
NOV	92,8	46,2	0,0	14,1	49,4
DEZ	43,2	14,1	0,0	8,6	32,8
TOTAL	1978,6	1301,7	846,1	1405,7	1289,2

Fonte: Adaptado de SEMARH (2019).

Nota: O símbolo (-) refere-se à falha ocorrida no mês ou manutenção do equipamento.

Figura 38 - Distribuição das precipitações nos últimos 8 anos

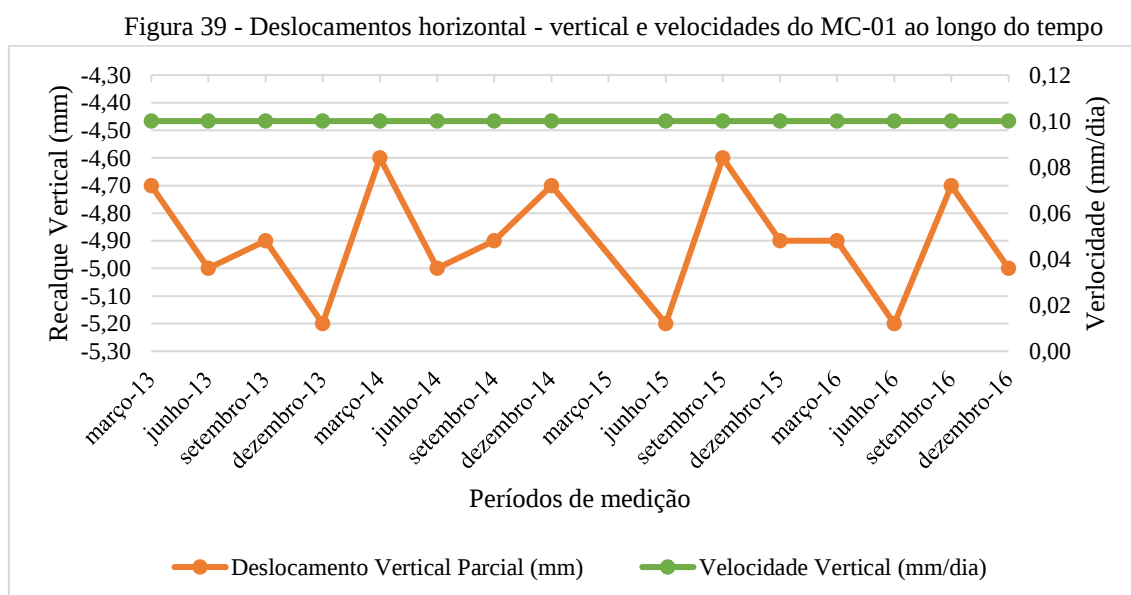


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a resolução Conama 430/2011, os parâmetros do lixiviado apresentam valores que atendem aos valores limites indicado pela resolução supracitada, com exceção apenas do Nitrogênio Amoniacal. De maneira geral, os resultados obtidos indicam uma tendência de redução compatível com a fase citada pela literatura como metanogênica, associada a um lixiviado de resíduos velhos com mais de 30 anos. Contudo, apesar dos valores encontrados estarem dentro dos padrões aceitáveis pela resolução vigente citada anteriormente, a possibilidade de haver uma contaminação remanescente, tanto do solo quanto das águas subterrâneas, deve ser considerada relevante, pois a disposição dos resíduos ocorreu por décadas diretamente no solo, sem qualquer técnica de proteção. Além disso, o lençol freático foi localizado a uma profundidade de 0,85m abaixo da cota 18m, de acordo com sondagem realizada em 1994 e representada na Figura 27.

4.5 MONITORAMENTO DO RECALQUE DO MACIÇO

O antigo lixão de Maceió recebeu por 43 anos os resíduos de toda a cidade de forma desordenada. Após encerramento recebeu cobertura com solo compactado, sobre o qual foram instalados os marcos topográficos, sendo destacadas a leitura trimestral dos marcos de número 1 a 8, no período de dezembro de 2012 a março de 2017, conforme Anexo A, mostrando valores aproximados e repetitivos entre si. Desta forma, aqui serão apresentados e discutidos apenas os dados lidos no marco 01 (MC-01), os quais estão apresentados na Tabela 13, e ilustrados na Figura 39, com as leituras de 4 anos de monitoramento trimestral.



Fonte: A Autora (2019).

Os valores obtidos refletem um padrão que se repete nos demais marcos superficiais monitorados, com deslocamento horizontal médio de 0,24 cm/mês ou 0,10 mm/dia, a uma velocidade média de 0,15 mm/dia. O deslocamento vertical (recalque) acompanha os valores médios de 0,70 mm/dia a uma velocidade aproximada de 0,10 mm/dia. Esse resultado se mostra muito inferior ao apresentado por Boscov (2008) para o aterro Bandeirantes conforme Tabela 14, indicando que o resíduo do antigo lixão de Maceió seja ainda mais antigo.

Tabela 13 - Monitoramento do marco topográfico MC-1

Datas de leitura	Deslocamentos				Velocidade	
	Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
	Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
09/03/2013	0,66	0,66	-0,47	-0,47	0,01	0,01
10/06/2013	0,70	1,36	-0,50	-0,96	0,01	0,01
09/09/2013	0,69	2,05	-0,49	-1,45	0,01	0,01
15/12/2013	0,73	2,79	-0,52	-1,97	0,01	0,01
11/03/2014	0,65	3,44	-0,46	-2,43	0,01	0,01
13/06/2014	0,71	4,15	-0,50	-2,93	0,01	0,01
13/09/2014	0,70	4,85	-0,49	-3,43	0,01	0,01
10/12/2014	0,67	5,51	-0,47	-3,90	0,01	0,01
10/03/2015	0,06	5,45	0,04	-3,85	0,00	0,00
16/06/2015	0,74	6,19	-0,52	-4,38	0,01	0,01
10/09/2015	0,65	6,84	-0,46	-4,84	0,01	0,01
10/12/2015	0,69	7,53	-0,49	-5,33	0,01	0,01
10/03/2016	0,69	8,22	-0,49	-5,81	0,01	0,01
15/06/2016	0,73	8,96	-0,52	-6,33	0,01	0,01
11/09/2016	0,67	9,62	-0,47	-6,80	0,01	0,01
13/12/2016	0,70	10,33	-0,50	-7,30	0,01	0,01
14/03/2017	1,07	10,05	-	-3,19	0,01	0,05

Fonte: Adaptado de ESTRE (2018).

Tabela 14 - Valores mínimos e máximos do histórico de dados do Aterro Sanitário Bandeirantes/SP

Tempo (anos)	RE (%)		VR (mm/dia)		VDH (mm/dia)	
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.
1	0	7	1,0	14,0	9,0	15,0
5	3	22	-2,0	5,0	4,5	11,0
10	5	32	-3,0	2,5	2,0	9,5
15	6	38	-4,0	2,0	1,0	7,0

RE - Recalque específico; VR - Velocidade de Recalque; VDH - Velocidade de deslocamento horizontal

Fonte: Boscov e Abreu (2010).

Nessa mesma linha de estudo, Teixeira (2015) apresenta os dados registrados no aterro remediado de São Leopoldo/RS para um intervalo de tempo de 7 anos de monitoramento. Os valores médios obtidos foram de 0,21 mm/dia para o recalque e 0,10 mm/dia para o deslocamento horizontal. Por isso, Boscov (2008) ressalta que os dados podem variar de acordo com a geometria do aterro, composição dos resíduos, o clima e o sistema de drenagem adotado.

Segundo Boscov (2008), não há valores característicos de referência para deslocamentos e velocidades em norma técnica específica para aterros sanitários, pois seu comportamento apresenta muitas particularidades em relação ao maciço de solo. Por esse motivo, a análise deve ser feita com base nos dados históricos do aterro e nas experiências anteriores da empresa responsável pelo monitoramento.

Dessa forma, Marques (2001) ressalta que os recalques de RSU apresentam grandes variações iniciais, ainda nos primeiros meses, devido à alta compressibilidade dos resíduos ocasionada pela degradação. Entretanto, essa degradação ainda permanece ao longo de muitos anos, em menor proporção, mesmo não recebendo novos resíduos.

De acordo com os as informações a respeito do monitoramento dos deslocamentos verticais e horizontais, aliado às informações de caracterização dos resíduos depositados, a massa de resíduos apresenta elevado grau de resistência a escavações, resultante da fase de estabilização em que se encontra a maior parte do volume de resíduos. Entretanto, a drenagem pluvial e de lixiviado requerem atenção constante por afetarem diretamente essa tendência de estabilização, em especial na quadra chuvosa do município de Maceió que ocorre entre os meses de abril a agosto

4.6 ANÁLISE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

Embora estejam expostas à mesma fonte potencial de contaminação, as águas superficiais e subterrâneas apresentaram alguns resultados distintos como apresentado abaixo.

4.6.1 Águas Superficiais

Verificou-se que as águas superficiais aparentemente não são impactadas pelo lixiviado produzido, mas as águas subterrâneas apontam para uma contaminação por metais pesados, o que deve ser motivo de alerta e sofrer restrição de uso. Não tem nascente no entorno, é um talvegue, que configurava como um riacho intermitente, e que com a

construção da rodovia ele praticamente deixou de existir. O mesmo passou a receber apenas águas de chuva e efluentes domésticos da comunidade situada à jusante do antigo vazadouro que não possuem rede coletora de esgoto.

De acordo com Lima e Nunes (1996), a hidrogeologia da área em estudo destacada na Figura 40, apresenta dois tipos de aquíferos: depósitos quaternários, constituídos de areias finas, médias e grossas, além de argilas litorâneas; e os terciários (Formação Barreiras) são formados por sedimentos arenosos com matriz argilosa, intercalado com argila e siltito não litificados com granulometria variável.

Figura 40 - Bacia hidrográfica onde está inserido o antigo lixão de Maceió



Fonte: GERSRAD (2004).

Como principais características no quaternário destacam-se a localização em zonas planas de cotas baixas, vulneráveis à poluição na superfície da terra e por influência das marés, pequena profundidade do nível freático; e o terciário apresenta escoamento subterrâneo extenso, situado em zonas de tabuleiros entrecortados por vales profundos, tornando-se zona de descarga natural do aquífero, para os quais o escoamento subterrâneo se dirige, vulnerabilidade nas zonas de descarga (LIMA E NUNES, 1996).

A bacia hidrográfica na qual o antigo vazadouro está inserido apresenta todo o escoamento superficial para o riacho de águas férreas, classificado como intermitente e ainda recebe despejos de águas servidas. Iniciando ao norte do antigo lixão, o seu curso d'água

segue na direção sul até o canal de Cruz das Almas, cortando a área do antigo lixão, e só então seguir na direção leste até a praia de Cruz das Almas. Esta bacia possui uma área de contribuição de 1,41km², tendo os morros como divisores naturais, além da participação de uma sub-bacia com 0,68km² com influências das áreas à montante, ao norte (LIMA E NUNES, 1996).

As amostras de águas superficiais coletadas no riacho de águas férreas no ponto à jusante do lixão foram avaliadas conforme a Resolução Conama 357/2005 como sendo de classe II, para efeito de monitoramento. Os resultados das análises estão agrupados na Tabela 15 (metais analisados) e Tabela 16 demais parâmetros físico-químicos.

Tabela 15 - Parâmetros físico-químicos analisados

Metais	jan/15	jun/15	abr/16	CONAMA 357/2005
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,07	<0,07	< 0,05	0,1
Arsênio Total (mg/L)	< 0,01	-	-	0,01
Bário Total (mg/L)	< 0,01	<0,01	-	0,7
Cádmio total (mg/L)	<0,001	<0,001	< 0,001	0,0001
Chumbo Total (mg/L)	-	<0,01	-	0,01
Cobalto Total (mg/L)	-	<0,05	< 0,003	0,05
Cobre dissolvido (mg/L)	0,012	0,004	-	0,009
Cromo Total (mg/L)	0,012	<0,03	< 0,005	0,05
Ferro Dissolvido (mg/L)	-	0,33	< 0,2	0,3
Manganês Total (mg/L)	0,023	0,02	< 0,049	0,1
Mercurio Total (mg/L)	<0,0001	<0,0001	-	0,0002
Níquel Total (mg/L)	<0,001	<0,001	-	0,025
Potássio (mg/L)	-	42	15,8	-
Zinco Total (mg/L)	0,023	0,021	0,008	0,18

Fonte: Adaptado de ESTRE (2015, 2016).

De acordo com a Tabela 15, verifica-se que as concentrações de metais presentes nas águas do riacho das Águas Férreas estão todos abaixo dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005, para mananciais superficiais de água doce classe II, inclusive ferro e manganês que conferem cor a água, motivo pelo qual o manancial recebeu a denominação de águas Férreas.

Na Tabela 16 observa-se que as características físicas cor e turbidez atendem ao estabelecido para rios classe 2, embora só tenham sido obtidas duas análises, os valores de sólidos apresentam valores elevados.

Tabela 16 - Parâmetros físico-químicos analisados

Não metais	jan/15	jun/15	abr/16	CONAMA 357 / 2005
Cor (mg PT-Co/L)	30	-	-	75
Turbidez (NTU)	8,15	-	-	100
Sólidos Totais (mg/L)	-	3800	360	500
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	-	594	128	S/ Especific.
pH	6,89	7,05	7,5	6,0 a 9,0
Alcalinidade Bicarbonato (CaCO ₃ /L)	-	-	128	S/ Especific.
Alcalinidade Total (CaCO ₃ /L)	-	54	128	S/ Especific.
Cálcio (mg/L)	-	102,5	34,2	-
Magnésio (mg/L)	-	44,5	4	-
Sulfato (mg/L)	161,5	-	-	250
Sódio (mg/L)	-	80,2	54,1	S/ Especific.
Cloretos (mg/L)	142,4	110,2	48,98	250
Condutividade (us/cm)	-	1880	473	S/ Especific.
OD (mg/L)	2,1	-	3	> 6
DBO (mg/L)	8	16	-	3
DQO (mg/L)	28	72	45	S/ Especific.
Fósforo (mg/L)	1,15	11,34	0,049	0,05
Nitrato (mg/L)	0,84	-	-	10
Nitrito (mg/L)	0,22	-	-	1
N-Amoniacal (mg/L)	2,8	26,8	1,96	3,7mg/L N, pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, 7,5 < pH ≤ 8,0
Termotolerantes (NMP/100mL)	-		1,60E+03	200
Coliformes Fecais (UFC/100ml)	2200	3200	1,60E+03	1000

Fonte: Adaptado de ESTRE (2015, 2016).

Quanto às características químicas, verifica-se que o pH está próximo à neutralidade e que a alcalinidade é devido ao bicarbonato, como era de se esperar para essa faixa de pH. A presença de cálcio e magnésio indicam que é uma água com dureza moderada, e que os cloretos estão dentro da faixa estabelecida para rios de água doce.

No entanto, os valores de OD e DBO apresentam valores fora do limite especificado pela resolução Conama N° 357/2005 para classe II. Verifica-se também um aporte de

nutrientes, nitrogênio e fósforo, o que aliado a presença de matéria orgânica, medida como DQO e DBO podem contribuir para um processo de eutrofização.

Observa-se, também a presença de coliformes fecais acima do limite máximo para mananciais doces classe II.

Embora Pereira *et. al* (2013), assim como Miyagawa, Mendes e Marmos (2016), tenham comprovado a sazonalidade das concentrações de carga geral de contaminantes, Santos (2008) mostra que a presença de níveis elevados de Fósforo, Sólidos Totais e Nitrogênio Amoniacal são parâmetros indicativos da presença de lixiviado nas águas superficiais.

No entanto, os valores de matéria orgânica e nutrientes, aparentemente não estão associados ao escoamento do lixiviado, visto que o mesmo é todo drenado e armazenado nos reservatórios de efluentes que ficam na parte frontal da área a (lado de frente para o mar), e pós as obras de recuperação da área degradada, não mais se observa fuga de lixiviado pelo maciço drenando para o corpo de água. Entretanto, é a parte mais antiga do lixão (lado em frente ao riacho de águas férreas) que está próximo ao corpo de água.

Paralelamente, foi observado durante as visitas técnicas à área de estudo, que a comunidade do entorno, não possui rede coletora de esgoto, e seus respectivos efluentes escoam superficialmente para o riacho das Águas Férreas. Esses resultados confirmam o que já foi constatado no local, o despejo indiscriminado de efluentes domésticos nas águas do riacho pelas comunidades circunvizinhas que não dispõe de rede coletora de esgoto.

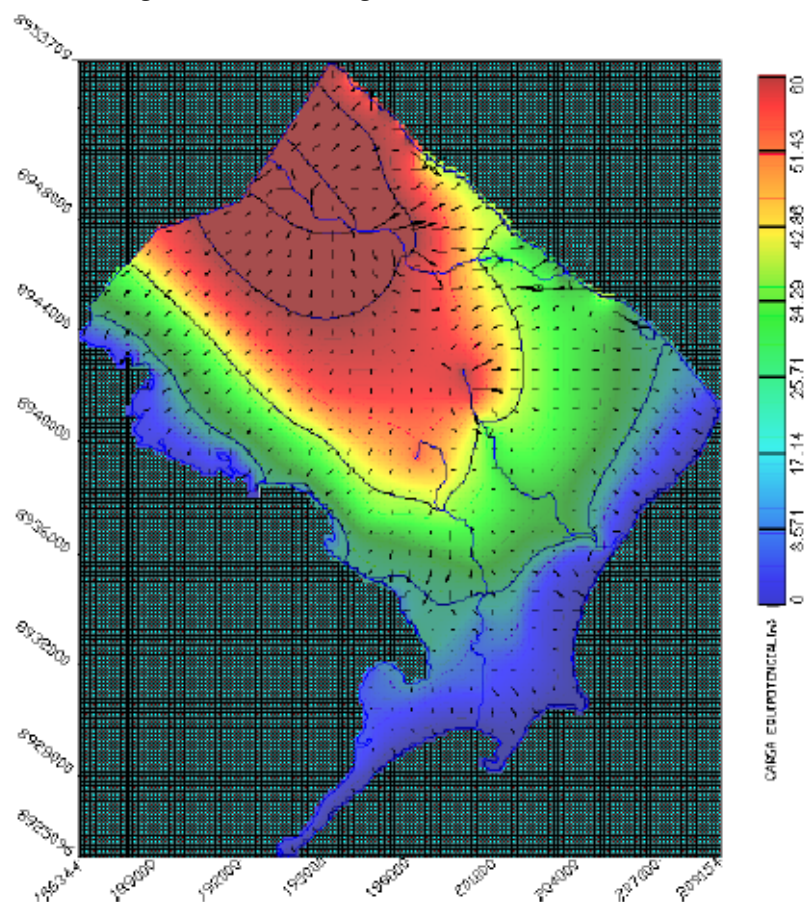
4.6.2 Águas Subterrâneas

Quanto às águas subterrâneas, mesmo os resíduos estando depositados, em sua maior área, sobre uma camada de argila areno-siltosa muito rija, com aproximadamente 52 anos, o antigo lixão de Maceió é considerado pelos especialistas em hidrogeologia como a área com maior potencial de contaminação das águas subterrâneas no perímetro urbano de Maceió (GERSRAD,2004).

O sistema aquífero de Maceió é composto de três formações, Barreiras, Marituba e Poção. As duas primeiras são interligadas hidraulicamente, sendo qualificadas como aquíferos de qualidade excelente devido a significativas espessuras de arenitos areias que elevam sua transmissibilidade de fluidos (OLIVEIRA *et al.*, 2018; NOBRE, 2006; NOBRE & NOBRE,

2001). A área de estudo está situada na área de formação Barreiras com fluxo subterrâneo representado na Figura 41.

Figura 41- Fluxo das águas subterrâneas de Maceió



Fonte: Menezes Jr. (2011).

Conforme as análises realizadas nas amostras de águas subterrâneas coletadas nos 4 poços construídos na área do antigo vazadouro, os resultados estão apresentados nas duas tabelas seguintes: Tabela 17 com os valores dos metais analisados e a Tabela 18 com os demais parâmetros analisados.

Ressaltando que os poços PM3 e PM4 estão situados na área mais próxima dos resíduos velhos, conforme mostra a Figura 42, e seriam os poços de montante. Os poços PM1 e PM2, encontram-se nas proximidades onde foram depositados os resíduos finais (célula C9), portanto mais novos, estes são os poços de jusante, levando em consideração sentido do fluxo da água subterrânea.

Tabela 17 - Metais analisados nas amostras coletadas em maio de 2016

Metais	JUSANTE		MONTANTE		CONAMA 396/08
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	
Alumínio (mg/L)	1.770	7.970	1.914	1.552	50
Cádmio (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	5
Chumbo Total (mg/L)	45	27	66	22	10
Cobalto (mg/L)	< 3	< 3	3	12	10
Cobre (mg/L)	24	30	64	38	50
Cromo Total (mg/L)	9	10	8	49	5
Ferro Solúvel ou Dissolvido (mg/L)	3,84	3,20	2,9	11,2	0,2
Magnésio (mg/L)	5,59	15,6	5,59	16	1
Manganês Total (mg/L)	57	28	48	37	25
Zinco Total (mg/L)	160	180	303	121	100

Fonte: ESTRE (2016).

Tabela 18 - Parâmetros físico-químicos (não metais) analisados nas amostras coletas em maio 2016

Não metais	JUSANTE		MONTANTE		CONAMA 396/08
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	
pH	6,8	5,62	6,25	8,05	1
Alcalinidade Bicarbonato (mg CaCO ₃ /L)	109	56	142	43	1
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	109	56	142	43	1
Cálcio (mg/L)	17,2	15,2	47	20,2	1
Potássio (mg/L)	4,05	10,93	7,6	482	1
Sódio (mg/L)	146.350	86.260	171.900	478.800	1.000
Cloretos (mg/L)	65.970	174.945	63.980	534.800	2.000
Condutividade	660	857	919	7110	1,5
DBO (mg/L)	3,5	3,9	1,9	23,2	1
DQO (mg/L)	11	< 0,02	< 5	1.000	5
Fósforo (mg/L)	7,02	4,2	12,14	5,84	0,3
Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L)	1,4	200	< 1	396,7	1
Coliformes Termotolerantes	1,60E+03	2	Ausência	140	Ausência
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,60E+03	1,60E+03	Ausência	1,60E+03	Ausência

Fonte: ESTRE (2016).

Pela Tabela 17 verifica-se que as águas subterrâneas apresentam concentrações de metais pesados, em sua maioria em limites muito acima dos estabelecidos pela CONAMA 396/2008, nos 4 poços monitorados, sugerindo uma contaminação pela área de influência do antigo lixão.

Verificam-se que o pH está próximo a neutralidade e que a alcalinidade é devida ao bicarbonato, como era de se esperar para essa faixa de pH. A presença de cálcio e magnésio indicam que é uma água com dureza baixa (água mole).

Os cloretos apresentam valores muito elevados, acima de 60 g/L, podendo-se classificar essa água como salgada, talvez também por influência da proximidade do mar.

No PM04 os valores de DBO e DQO apresentam valores altos, e também um aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo. Observa-se, também a presença de coliformes fecais. Esse ponto recebe infiltração de lixiviado da região de base do antigo lixão conforme a Figura 42. Além disso, pode haver influência dos efluentes lançados pela população vizinha e devido à proximidade do bueiro construído para canalizar as águas do talvegue que por sua vez acaba recebendo contribuições dos efluentes domésticos.

Figura 42 - Localização dos poços de monitoramento de águas subterrâneas na área do antigo lixão



Fonte: Adaptado do Google Earth (2019).

Em junho de 2016 foram analisadas novas amostras dos poços localizados dentro da área do antigo lixão nas quais foram encontrados os seguintes parâmetros acima do estabelecido pela resolução Conama Nº 396/2008:

- PM 01 (próximo à creche) – Termotolerantes, coliformes fecais, alumínio e chumbo;
- PM 02 (próximo à Vila Emater) - Termotolerantes, coli-fecal, alumínio e chumbo;
- PM 03 (próximo ao campo) - Alumínio e chumbo;
- PM 04 (lateral do lixão/frente shopping) -Termotolerantes, coli-fecal, alumínio/chumbo.

Os resultados da análise das amostras de águas subterrâneas coletadas nos 2 poços utilizados para abastecimento humano, P-Emater e P-Firenze, estão apresentados respectivamente nas Tabelas 19 e 21 (metais analisados) e Tabelas 20 e 22, demais parâmetros físico-químicos. Nas tabelas também constam o Limite Quantificável Praticável (LQP) pela resolução Conama 396/08 e o Valor Máximo Permitido (VMP) correspondente de potabilidade pelo Ministério da Saúde (Portaria 05/2017) para facilitar comparação dos resultados.

Tabela 19 - Resultado das amostras do poço localizado na Vila Emater

Metais	abr/11	jun/15	jun/16	LQP (mg/L)	VMP (mg/L)
Alumínio (mg/L)	0,8664	<0,05	79,7	50	0,2
Arsênio (mg/L)	<0,0001	<0,01	-	8	0,01
Bário (mg/L)	0,0089	<0,05	-	20	0,7
Cádmio (mg/L)	<0,0001	<0,001	< 1	5	0,005
Chumbo (mg/L)	<0,0005	<0,01	27	10	0,01
Cobre (mg/L)	<0,0001	<0,005	-	50	2
Cromo (mg/L)	0,0094	<0,03	10	S/Especif.	0,05
Ferro Total (mg/L)	0,1853	0,16	320,0	100	0,3
Manganês (mg/L)	<0,0001	0,07	28,0	25	0,1
Merúrio (mg/L)	<0,0001	<0,001	-	1	0,001
Níquel (mg/L)	<0,0001	<0,03	-	10	0,07
Zinco (mg/L)	0,0037	0,05	180,0	100	5

Fonte: Adaptado de ESTRE (2015/2016).

Nas amostras coletadas no mês de junho 2015, no poço próximo à Vila Emater (P-Emater), utilizado para o consumo humano, não foi identificada presença de metais. Todos os valores mensurados estavam de acordo com o preconizado pela resolução Conama Nº

396/2008 e pela resolução nº 05/2017 do MS. Contudo, os valores de DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH estavam em desconformidade com as normas vigentes analisadas.

Tabela 20 - Resultado das amostras do poço localizado na Vila Emater

Não metais	abr/11	jun/15	jun/16	LQP(mg/L)	VMP(mg/L)
pH	6,3	5,24	5,62	1	Sem Esp.
Alcalinidade Total (mg/L)	58	192	56	S/Especif.	Sem Esp.
DBO (mg/L)	16	30	3,9	1	Sem Esp.
DQO (mg/L)	7	96	< 0,02	5	Sem Esp.
Fósforo (mg/L)	0,05	0,15	4,2	0,33	Sem Esp.
Nitrato (mg/L)	0,11	8,54	-	300	10
Nitrito (mg/L)	0,01	0,45	-	20	1
N-Amoniacal (mg/L)	0,12	2,82	200	1	Sem Esp.
STD (mg/L)	312	302	10544	2000	1000
Sulfato (mg/L)	37,11	50	-	5000	250
Cloretos (mg/L)	157,23	200	174945	2000	250
Turbidez	2,7	14,2	14,2	S/Especif.	5
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	Ausente	Ausente	2	Ausente	Ausente
Coliformes Totais (UFC/100mL)	7800	Ausente	1,60E+03	Ausente	Ausente

Fonte: Adaptado de ESTRE (2015/2016).

Tabela 21 - Resultado das amostras coletadas no poço do Ed. Firenze

Metais	abr/11	jun/15	jun/16	CONAMA 396/2008 LQP (mg/L)	Res. MS Nº 05/2017 VMP (mg/L)
Alumínio (mg/L)	-	<0,05	34,53	50	0,2
Arsênio (mg/L)	<0,0001	<0,01	-	8	0,01
Bário (mg/L)	0,0391	<0,05	-	20	0,7
Cádmio (mg/L)	<0,0001	<0,001	< 1	5	0,005
Chumbo (mg/L)	<0,0005	<0,01	< 5	10	0,01
Cobre (mg/L)	0,04	<0,005	< 5	50	2
Cromo (mg/L)	<0,0001	<0,03	< 5	S/ Especif.	0,05
Ferro Total (mg/L)	0,092	0,04	0,27	100	0,3
Manganês (mg/L)	0,1	0,02	12,0	25	0,1
Mercúrio (mg/L)	<0,0001	<0,001	-	1	0,001
Níquel (mg/L)	<0,0001	<0,03	-	10	0,07
Zinco (mg/L)	0,07	0,04	35	100	5

Fonte: Adaptado de ESTRE 2015/2016.

LQP – Limite Quantificável Praticável e VMP – Valor Máximo Permitido

Em junho de 2016, uma nova análise identificou no P-Emater a presença dos metais alumínio, cádmio, chumbo, ferro total, manganês e zinco, todos com valores acima do LQP e do VMP recomendados pela legislação Conama 396/08 quanto pela resolução 05/17 do Ministério da Saúde (MS) para potabilidade, respectivamente. Também foi identificada a presença de coliformes fecais.

No poço do Condomínio Firenze, também utilizado para o consumo humano, a análise realizada nas amostras coletadas em 2011 e 2015 não apresentou contaminação por metais, apenas valores elevados de DBO e DQO.

Em 2016 verificou-se que as amostras analisadas do P-Firenze apresentavam apenas o alumínio desconforme com a resolução Conama. As altas concentrações de alumínio condizem com os valores de pH encontrados. Entretanto, de acordo com a resolução 05/2017 do MS, além do alumínio, os metais cobre, chumbo, manganês e zinco, também estavam acima dos limites de potabilidade recomendados.

Tabela 22 - Resultado das amostras coletadas no poço do Ed. Firenze

Não metais	abr/11	jun/15	jun/16	CONAMA 396/2008 LQP(mg/L)	Res. MS Nº 05/2017 VMP(mg/L)
pH	5,9	6,74	5,25	1	S/Especif.
Alcal.Total (mg/L)	-	60	79,5	S/Especif.	S/Especif.
DBO (mg/L)	40	16	< 1	1	S/Especif.
DQO (mg/L)	31	76	11	5	S/Especif.
Fósforo (mg/L)	-	0,08	< 0,016	0,33	S/Especif.
Nitrato (mg/L)	-	5,59	-	300	10
Nitrito (mg/L)	-	0,04	-	20	1
N-Amoniacal (mg/L)	0,03	0,71	1,54	1	S/Especif.
Sólidos Totais Dissol. (mg/L)	0,3	277	502	2000	1000
Cloretos (mg/L)	-	26	55.980	2000	250
Sulfato (mg/L)	-	12,2	-	5000	250
Coliformes Fecais (UFC/100mL)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes Totais (UFC/100mL)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Adaptado de ESTRE 2015/2016.

LQP – Limite Quantificável Praticável e VMP – Valor Máximo Permitido

A presença dessas substâncias nas amostras, em valores desconformes tanto com a resolução Conama 396/08 quanto com a portaria 05/2017 do Ministério da Saúde, reforçam os indícios de contaminação por lixiviado. Para Wendland e Marin (2013) esses resultados demonstram a evolução da contaminação das águas subterrâneas, que segundo eles, ocorre rapidamente em solos arenosos, ou se espalha lentamente em solos argilosos, podendo se afastar quilômetros da fonte de contaminação. Na figura 43 é possível observar a coleta das amostras em 4 pontos distintos.

Figura 43 - Coleta de amostras nos poços do Ed. Firenze, PM-02, PM-03 e PM-04, respectivamente.

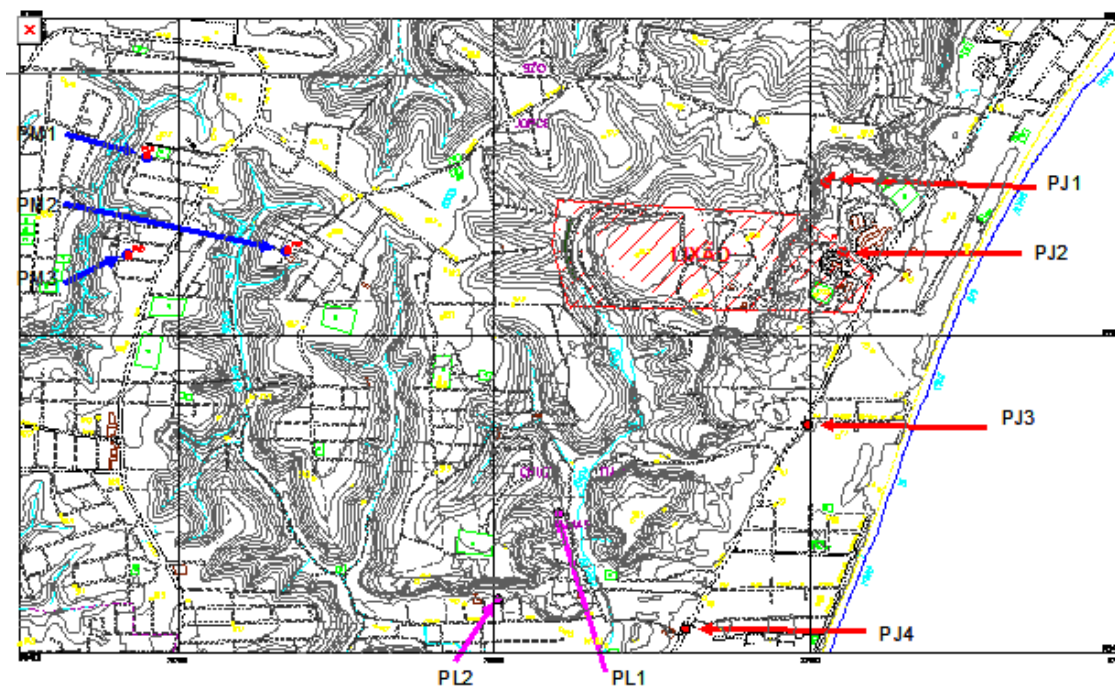


Fonte: ESTRE (2016).

Segundo uma análise semelhante realizada por Costa (2004) para o município de Belo Horizonte/MG, cujo lixão havia sido desativado há 30 anos, apesar da idade dos resíduos, ainda havia presença de chumbo, alumínio, alta condutividade elétrica, entre outros metais, acima do aceitável pela legislação, indicando uma contaminação pela infiltração de lixiviado.

Monteiro (2005) realizou uma análise com 9 poços subterrâneos, sendo 4 à jusante (PJ), 3 à montante (PM) e 2 laterais (PL), conforme a Figura 44, obtendo análises físico-químicas tanto do laboratório da companhia de abastecimento do estado quanto do laboratório de saneamento ambiental da UFAL. Porém, dentre os parâmetros analisados, apenas 8 são comuns aos analisados nos poços do antigo lixão, conforme a Tabela 23.

Figura 44 - Localização dos poços utilizados como base para os dados de 2005



Fonte: Adaptado de Monteiro (2005).

Tabela 23 - Resultado das análises realizadas nas águas subterrâneas em 2005.

PARÂMETRO		UNID.	V.M.P.	PM1	PM2	PM3	PL1	PL2	PJ1	PJ2	PJ3	PJ4
METAIS	Ferro	mg.Fe/L	0,3	0,9	0,67	0,26	0,02	0,02	3,27	2,71	0,02	0,02
	Cobre	mg/L	2	1,8	7,2	20	0,01	0,1	1,37	0,18	0	0,11
NÃO METAIS	pH	-	6,0 - 9,5	5,19	4,17	4,2	4,84	5,14	4,81	6,33	5,79	5,74
	Turbidez	UNT	5	0,86	1,14	1,24	0,55	0,63	2,46	1,51	2,2	0,63
	Cloretos	mg.Cl ⁻ /L	250	26,8	31,46	29,19	48,13	41,4	12,67	76,04	125,1	40,43
	Nitrato	mg.N/L	10	2,6	6,57	3,53	3,23	0,9	5,83	9,03	5,13	0,65
	Nitrito	mg.N/L	1	*	1,67	1,67	0	0	0	0	0	0
	DQO	mg/L		85,5	20,05	6,31	28,67	5,7	62,98	89,49	80,97	3,32

Fonte: Adaptado de Monteiro (2005).

VMP- Valor Máximo Permitido. PM - Poços a Montante. PJ - Poços a Jusante; PL - Poços Laterais

4.7 POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ÁREA

Apesar de ter apenas pouco mais de 8 anos de iniciada as atividades de remediação ambiental, com base nos resultados apresentados, a área de estudo apresenta uma redução significativa no impacto visual negativo que apresentava antes de iniciar esse processo de recuperação. O ar que antes era altamente contaminado pela emissão dos gases sem nenhum controle, apresenta uma qualidade maior para as comunidades circunvizinhas, assim como para os bairros próximos que também eram afetados pelos odores desagradáveis levados pelos ventos. Já não se vê acúmulo de lixo em locais inadequados ou escoando livremente pelos resíduos, atualmente é coletado e tratado no aterro sanitário. Tudo Isso contribui para um aproveitamento da área para usos mais nobres, visto que a área do antigo lixão possui localização privilegiada.

A massa de resíduos modificou a paisagem do bairro, dando origem a um morro com vista para parte da cidade a poucos metros do litoral, elevando seu potencial para o turístico com pontos de comercialização de artesanato, arte e cultura local, prática de esporte e lazer para a população e seus visitantes. A sugestão de uso futuro para essa área está adequadamente representada no projeto do parque sócio-ambiental elaborado pelo GERSRAD (2004), conforme a Figura 25 mostrada anteriormente. A implantação desse parque, além de atender às exigências de monitoramento ambiental, preenche uma lacuna social da comunidade circunvizinha, promovendo opção de lazer, tornando-se uma excelente sugestão de uso para a área.

Com isso, a área se tornaria uma referência no estado de recuperação de área degradada e de atração turística para contemplação da cidade, gerida por um órgão específico que o mantenha o espaço preservado e seguro. Assim como também pode ser aproveitada para divulgar técnicas e boas práticas de educação ambiental desenvolvidas na urbanização do local.

Segundo Elk (2007), o uso futuro mais comum de áreas de antigos lixões e aterros sanitários é construção de parques de lazer para a comunidade, podendo ser usado para lazer e/ou geração de empregos e renda através de atividades ambientalmente corretas. Contudo é fundamental ter um cuidado especial para construir na sobre essa área, que não pode receber construções de grande porte, pois sua composição de resíduos extremamente heterogênea pode causar recalques elevados, além de riscos para os frequentadores.

O antigo aterro Jacuí, na cidade de São Paulo deu lugar ao Parque Primavera após a análise de estudos ambientais específicos para avaliar potenciais riscos de contaminação do solo e águas subterrâneas, implicando em riscos à saúde dos futuros frequentadores (RAMIRES E VITOR, 2010).

Outra obra de recuperação ambiental foi o trabalho realizado para recuperar a área do antigo Aterro Sanitário de Sapopemba. Segundo a Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (2018), a área foi desativada em 1986. O terreno de 304.477m² recebeu uma cobertura de terra de boa qualidade para se tornar um parque esportivo, inaugurado em 2013, com o apoio da população que já utilizava o espaço informalmente para práticas esportivas diversas. O Aterro Sanitário de Sapopemba, localizado na capital de São Paulo, deu lugar a um parque com infraestrutura de quadras esportivas, dois campos de futebol, caminhos, sede, praça central, áreas de estar e equipamentos de ginástica, dispondo de estacionamento gratuito, rede *wi-fi*, acessibilidade em banheiros, entrada do parque e áreas de circulação.

5 CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido neste trabalho teve o intuito de traçar um panorama atual do antigo lixão da cidade de Maceió/AL, através da análise dos dados do monitoramento desde o encerramento de suas atividades em abril de 2010. As medidas mitigadoras adotadas para remediação da área foram impacto visual, acompanhamento do recalque ao longo do tempo, controle de lixiviado, gases produzidos pela massa de resíduos, e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Baseada no histórico da área de estudo e sua transformação em lixão de RSU da cidade Maceió/AL, a pesquisa mostrou a importância da agilidade na implantação das ações mitigadoras para reduzir o avanço dos impactos causados pela disposição inadequada dos resíduos.

Baseado nos relatórios do plano recuperação da área e de visitas realizadas no local, foi constatado que o maciço apresenta retaludamento com inclinação 1:2 ou 1:3, construção de bermas com 10m de largura para facilitar o acesso de veículos, cobertura total dos resíduos com solo argiloso, camada de cobertura como 0,60m de espessura em solo argilo/arenoso compactado e plantação de vegetação nativa em toda a área, atendendo às normas vigentes. A área recebe inspeção visual diária por parte da empresa licitada e responsável pela obra de adequação assim como pela gestão do CTR da cidade.

O monitoramento geotécnico realizado por meio de marcos superficiais implantados na massa de resíduos, com leituras trimestrais apresentou resultados de deslocamentos horizontais e verticais reduzidos com velocidade de deslocamento igualmente baixa, com valores médios de 0,01 cm/dia para ambos, refletindo comportamento de maturação.

O reaproveitamento energético dos gases não foi recomendado, pois o estudo de realizado pela UFBA em 2012, indicou a inviabilidade financeira e baixo volume de gás produzido pelos resíduos pré-existentes já em fase de maturação. Assim a alternativa adotada foi queimar os gases em “*flares*” para reduzir a emissão de metano.

Assim como os gases apresentaram uma concentração de metano típica de uma faixa compatível com a fase de maturação, as análises do lixiviado gerado pelos resíduos depositados na região mostraram que os níveis de pH, DBO, DQO, N-Amônia apresentaram valores compatíveis com a fase metanogênica. Entretanto, a contaminação do solo da base do lixão foi inevitável, uma vez que os resíduos foram depositados sem nenhuma proteção do solo.

O monitoramento das águas superficiais mostrou valores de DBO, Fósforo, Oxigênio Dissolvido e Coli-Fecais fora dos padrões da Resolução Conama Nº 357/2005, devido às grandes contribuições de efluentes domésticos das comunidades circunvizinhas que não possuem esgotamento sanitário, assim como a presença N-Amoniacal.

Quanto às águas subterrâneas o seu monitoramento revelou principalmente a presença de metais pesados. Nos poços 01 e 02 os valores que não atenderam às a CONAMA 396/2008 foram os Termotolerantes, coli-fecais, alumínio e chumbo, resultado semelhante ao poço 04. Todos os poços têm concentrações de cloretos acima de 60 g/L. No poço 03 apenas o Alumínio e o chumbo estavam com valores acima do tolerável pela legislação. Esses resultados indicam presença de lixiviado.

Apesar dos resultados indicando uma área em processo de estabilização, as ações de remediação ainda requerem continuidade, pois de acordo com a literatura, o tempo indicado para acompanhamento é de 30 a 40 anos.

Para uma região que na década de 40 era considerada afastada o suficiente para receber os resíduos da cidade sem causar nenhum transtorno, a área do antigo lixão se tornou bastante urbanizada pela população de baixa renda. Entretanto, após o encerramento das atividades do antigo lixão e da execução das ações de remediação, a área ganhou valorização imobiliária, atraindo investidores, construção de vias públicas, além de grandes empreendimentos residenciais e comerciais no entorno do antigo lixão.

Mesmo com tantas mudanças, e da proximidade com o litoral, o terreno do antigo lixão é cercado de um lado por empreendimentos comerciais, na frente há a construção de residenciais de alto padrão, configurando área nobre, e nos dois lados restante está a favela da Vila Emater, cujos moradores são antigos catadores lixão. Uma comunidade com grande carência de uma área de lazer adequada, redução da vulnerabilidade de segurança por meio do cercamento total da região do antigo vazadouro e implementação de ações de segurança.

Após constatada a estabilização do maciço de resíduos, a construção de um parque sócio-ambiental é uma ótima oportunidade para trabalhar com os moradores da Vila Emater, envolvendo-os na valorização e utilização do espaço que pode vir a ser construído na área do antigo lixão, atendendo às demandas dessa população circunvizinha, assim como criando um novo atrativo aos visitantes da cidade, pois o local poderá abrir oportunidades para um futuro ponto turístico com atividades educativas, esporte, lazer e artesanatos locais.

Contudo, o desenvolvimento do presente trabalho revelou diversas lacunas para um acompanhamento mais completo e preciso. Iniciando com a carência de literatura e publicações a respeito de monitoramento de lixões encerrados e os resultados de seus respectivos acompanhamentos ao longo do tempo. Outro fator relevante é a obtenção de dados secundários, cuja disponibilidade é limitada, e a falta de uniformidade dos mesmos, o que pode levar à geração de dados confusos é a falta de padronização nas coletas e análises das amostras e resultados, bem como o singelo aprofundamento no que tange à instrumentação do maciço para produção de dados mais completos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Baseado no estudo desta pesquisa, algumas necessidades foram surgindo ao longo do desenvolvimento da mesma, evidenciando algumas dificuldades que fomentaram sugestões para futuras pesquisas.

- Avaliar a presença de bolsões de gás em camadas mais profundas por meio de sondagem geotécnica e/ou recursos geofísicos disponíveis especialmente nas proximidades dos resíduos mais velhos e dos mais novos.
- Avaliação da resistência mecânica do maciço e da camada de cobertura como indicativo para uso futuro da área.

REFERÊNCIAS

- AGENCE FRANCE-PRESSE (AFP). **Ethiopia - Landslide**. Disponível em: http://www.afpforum.com/AFPForum/Search/Results.aspx?pn=1&smd=8&mui=1&q=11105305763930692948_0&fst=Ethiopia+landfill&fto=1&t=8.2.5.9.7.11.10&cck=2bb351. Acesso em: 05 mai. 2018.
- ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Dados municipais**. Maceió: SEMARH, 2018. Disponível em: <http://www.residuossolidos.al.gov.br/gestao-municipal/o-municipio>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Precipitações mensais**. Maceió: SEMARH, 2019. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/banco-de-dados/precipitacao-mensal>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- ALVES, I. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. 118 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Roteiro para encerramento de lixões – os lugares mais poluídos do mundo**. São Paulo: ABRELPE, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2008**. São Paulo: ABRELPE, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2009**. São Paulo: ABRELPE, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2010**. São Paulo: ABRELPE, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2011**. São Paulo: ABRELPE, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2012**. São Paulo: ABRELPE, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2013**. São Paulo: ABRELPE, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2015**. São Paulo: ABRELPE, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10703**: degradação do solo – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13896**: aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8412**: apresentação de projetos de aterro sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BANDEIRA, R. **Moradores reclamam do abandono na região do antigo lixão de Maceió**. Disponível em: <http://g1.globo.com/al/alagoas/bom-dia-alagoas/videos/t/edicoes/v/moradores-reclamam-do-abandono-na-regiao-do-antigo-lixao-de-maceio/7352585/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; KORF, E. P. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: Perspectivas e desafios. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 711-744, out.2016/mar. 2017.

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

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: www.planalto.gov.br/legislacao. Acesso em: 26 mai. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas contaminadas**. Brasília, DF: MMA, 2017. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/8%20-%20mcs_lixo.pdf. Acesso em: 17 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990**. Brasília, DF: CONAMA, 1990. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 20 out.2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 386, de 27 de dezembro de 2006**. Brasília, DF: CONAMA, 2006. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=524>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 07 de abril de 2008**. Brasília, DF: CONAMA, 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 26 mai. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008**. Brasília, DF: CONAMA, 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=592>. Acesso em: 05 jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Brasília, DF: CONAMA, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=62030>. Acesso em: 26 mai. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília, DF: CONAMA, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 26 mai. 2017.

CARVALHO, D. T. **As políticas públicas de gestão de desastres ambientais: o caso do município de Niterói após o episódio do Morro do Bumba**. 2014. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2014. 163p.

CARVALHO, J. L. V. **Estimativa energética e recuperação de metano a partir dos RSU pelo processo de digestão anaeróbica e poder calorífico: estudo de caso Barreiras – BA**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. 120p.

CLIMATEMPO. **Gráficos de climatologia de Maceió**. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/8/maceio-al>. Acesso em: 15 de jan. 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. **A UE e a gestão dos resíduos**. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2000. 18p.

COMISSÃO EUROPEIA. **Diretiva 2008/98/CE de 09 de junho de 2016**. Relativa aos resíduos (Directiva-Quadro Resíduos ou DQR). Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>. Acesso em: 18 abr. 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. **Diretiva 94/62/CE de 20 de dezembro de 1994**. Relativa a embalagens e resíduos de embalagens. Bruxelas, 1994. (Jornal Oficial nº L 365). Disponível

em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121207>. Acesso em: 18 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2017. (Decisão de Diretoria nº 038/2017/C). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Shopping Center Norte entra para a lista de áreas contaminadas críticas**. São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2011/09/16/shopping-center-norte-entra-para-a-lista-de-areas-contaminadas-criticas/>. Acesso em: 12 mai. 2017.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal** – manual de gerenciamento integrado. Coordenação geral André Vilhena. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: CEMPRE, 2018.

CONFEDERATION OF EUROPEAN WASTE-TO-ENERGY PLANTS. CEWEP. 2018. **Municipal waste treatment in 2016 EU 28 + Switzerland, Norway and Iceland**. Disponível em: <http://www.cewep.eu/2018/07/05/municipal-waste-treatment-2016/>. Acesso em: 12 set. 2018.

DRONE MÍDIA. **Imagens aéreas do antigo vazadouro de Maceió**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ec7fUjDFePQ>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ESTRE. **[Análise laboratorial referente ao monitoramento das águas subterrâneas do antigo vazadouro de Maceió]**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2011.

ESTRE. **[Análise laboratorial referente ao monitoramento de lixiviado do antigo vazadouro de Maceió]**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2011.

ESTRE. **[Análise laboratorial referente ao monitoramento de lixiviado do antigo vazadouro de Maceió]**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2013.

ESTRE. **[Relatório de avaliação preliminar do vazadouro de Cruz das Almas como primeira etapa para definição do marco zero para futuras intervenções de 2009]**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2009.

ESTRE. **Amostragens em Drenos de Gás das Camadas de Cobertura do Antigo Vazadouro de Maceió. Relatório Técnico N° 001953/2015. Monitoramento de Emissões Atmosféricas**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Amostragens em Drenos de Gás das Camadas de Cobertura do Antigo Vazadouro de Maceió. Relatório Técnico N° 002207/2016. Monitoramento de Emissões Atmosféricas**. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2016.

ESTRE. **Amostragens em Drenos de Gás das Camadas de Cobertura do Antigo Vazadouro de Maceió. Relatório Técnico N° 003409/2018. Monitoramento de Emissões Atmosféricas.** Maceió: V2 Ambiental SPE, 2018.

ESTRE. **Monitoramento das águas subterrâneas no antigo vazadouro de Cruz das Almas e nas áreas circunvizinhas: 1ª campanha ano 2016.** Maceió: V2 Ambiental SPE, 2016.

ESTRE. **Monitoramento das águas superficiais no antigo vazadouro de Cruz das Almas. 1ª campanha ano 2016.** Maceió: V2 Ambiental SPE, 2016.

ESTRE. **Monitoramento de efluentes no antigo vazadouro de Cruz da Almas. 1ª campanha ano 2016.** Maceió: V2 Ambiental SPE, 2016.

ESTRE. **Relatório de execução das obras de recuperação do antigo vazadouro de Cruz das Almas.** Elaboração Elaine S. Santos, Rafael Máximo. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Relatório referente ao monitoramento do efluente do antigo vazadouro de Maceió (chorume).** [1ª campanha]. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Relatório referente ao monitoramento dos recursos hídricos do antigo vazadouro de Maceió (águas subterrâneas).** Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Relatório referente ao monitoramento dos recursos hídricos do antigo vazadouro de Maceió (águas superficiais).** [1ª campanha]. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Relatório referente ao monitoramento dos recursos hídricos do antigo vazadouro de Maceió (águas superficiais).** [2ª campanha]. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2015.

ESTRE. **Relatório Técnico referente aos serviços de perfuração de 04(quatro) poços de monitoramento,** denominado Poço PMR-01/ PMP-02 / PMR-03/ PMR-04, no Antigo Vazadouro no bairro de Jacarecica. Maceió: V2 Ambiental SPE, 2016.

FIRMO, A.L.B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos.** 2013. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FLORAM ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA. **Plano estadual de resíduos sólidos de Alagoas – PERS/AL** - panorama de resíduos sólidos. Eunápolis, Bahia, 2016. v. 1, t. 1. 294 p. Disponível em: <http://www.residuossolidos.al.gov.br/planos/estadual>. Acesso em: 20 fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em:

<http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?lang=_ES&codmun=270430&search=alagoas|maceio|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em: 01 jun. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama social e político do estado de Alagoas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. CPTEC. **Monitoramento climático no Brasil**. São Paulo: INPE; CPTEC, 2018. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>. Acessado em 15 de janeiro de 2018.

JUCÁ, J. F. T.; MARIANO, M. O. H.; SILVA, L. R. S. **Relatório final: diagnóstico de resíduos sólidos do Estado de Alagoas**. Brasília, DF: PNUD; MMA, 2002.

LANGE, L.C.; AMARAL, M. C. S. Geração e características do lixiviado. In: GOMES, L. P. G. (Coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 26 – 59.

LANZA, V. C. V. **Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

LEAL, K. R. D. **Análise ambiental de um aterro sanitário e sua influência sobre a qualidade das águas superficiais do entorno**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, 2011. 129 p.

LIMA, J. D.; JUCÁ, J. F. T.; NÓBREGA, C. C.; MARIANO, M. O. H.; CARVALHO JUNIOR, F. H.; LIMA, M. T. C. D. Modelo de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região nordeste do Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 6, n. 3, p. 11–28, 2013.

LIMA, L. M. Q. **Lixo, tratamento e biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004.

LUCENA, T. V. **Avaliação da geração de biogás sob diferentes condições de biodegradação de Resíduos alimentares**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. 132p.

MACEIÓ (Prefeitura). Secretaria de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente. **Mapa de abairramento de Maceió**. Maceió: SEDET, 2018. Disponível em: http://sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/mapas/Mapa%20de%20Abairramento_painel%202m%20x%202m.pdf. Acesso em: 14 jan. 2018.

MACIEL, F. J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. 2009. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. 333p.

MARQUES, A.C.M. **Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos**. 2001. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MENEZES Jr., J. C. M.; XAVIER, H. V. S.; FREIRE, C.C.; FRAGOSO Jr, C. R. Avaliação dos efeitos de atividades antrópicas e rebaixamento do aquífero da região metropolitana de Maceió. *In*: CONGRESSO MUNDIAL DE ÁGUAS, 14., 2011. **Anais [...]**. Porto de Galinhas, Ipojuca: IWRA; SRHE/PE, 2011.

MIYAGAWA, L. J. P. P.; MENDES, T. A. A.; MARMOS, J. L. Caracterização da contaminação por chorume nos recursos hídricos superficiais no entorno do aterro de resíduos sólidos de Manaus/AM. **Revista Geonorte**, Manaus-AM, v. 7, n. 27, 2016, p. 30-42.

MONDELLI, G.; FREITAS, L. G.; MACEDO, L. S. Avaliação do desempenho das intervenções. *In*: MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. S. (Org.). **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. 1 ed. rev. São Paulo: IPT ; BNDES, 2014. p. 333-350.

MONTEIRO, I. C. **Investigação de contaminação de água subterrânea por chorume proveniente de lixões** – estudo de caso – Maceió-AL. 2005. Monografia (Especialização), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005. 61 f.

OLIVEIRA, A.M.; TOLEDO, P.H.O.; FREIRE, C.C.; GOMES, M. G.; BUARQUE, A. C. S. Análise do avanço da cunha salina em sistema aquífero costeiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, São Paulo, v.23, n. 5, set/out. 2018. p. 939-950.

PALMA, J. B.; SCUDELARIABILIO, G.; MATOS, S. L. F. Contaminação de materiais geológicos e da água subterrânea. *In*: ZUQUETTE, L. V. (Org.). **Geotecnia Ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 182-214.

PEJON, O. J.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETTE, L. V. Impactos ambientais sobre o solo. *In*: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 317-343.

PEREIRA, A. R.; SANTOS, A. A.; SILVA, W. T. P.; FROZZI, J. C.; PEIXOTO, K. L. G. Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté/SP, v. 8, n. 3, set/dez. 2013. p. 239-246.
PJM DRONE. **Imagens aéreas do antigo lixão de Maceió**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dsTb9qTdosw>. Acesso em: 15 jun. 2017.

PORTELLA, M. O. RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Rev. Dir. Ambl. e Soc.**, Caxias do Sul, RS, v. 4, n. 1, 2014. p. 115-134.

POTT, C. M. ESTRELA, C.C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v.31, n. 89, jan./abr. 2017. p. 271- 283.

RAMIRES, J. Z. S.; VITOR, J. D. S. O impacto ambiental oriundo do descarte irregular de resíduos: a contaminação do solo e das águas subterrâneas no município de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luis, MA. **Anais [...]**. São Luis: ABAS, 2010.

RATHMANN, R. (Org.). **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de gestão de resíduos**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; ONU Meio Ambiente, 2017.

REGIS, W. Maceió vira motivo de vergonha em rede nacional. **Alagoas 24h**, Maceió, 08 jul. 2007. Disponível em: <http://www.alagoas24horas.com.br/805486/maceio-vira-motivo-de-vergonha-em-rede-nacional>. Acesso em: 02 jul. 2017.

REICHERT, G. A. **A vermicompostagem aplicada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 1999. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999. 136 p. + anexos.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008. 111 f.

SANTOS, A. C. **Geração de metano devido à digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos** - estudo de caso do aterro sanitário metropolitano centro, Salvador – BA. 2011. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. 154 p.

SEIDEL, J. M. **Desafios da cadeia de resíduos sólidos domiciliares: ciclo do consumo: um estudo no Litoral Norte Paulista**. 2014. Tese (Doutorado em Aspectos Sociais de Sustentabilidade e Conservação) – Universidade Estadual de Campinas, Universidade de São Paulo, Campinas, 2014.

SOARES, E. L. S. F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. 133 p.

SOUTO, G. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros** – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”). 2009. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 371 p.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Resíduos sólidos. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 565-588.

TAVARES, J. C. L. **Caracterização dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió - AL**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008. 98 f. TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. 2. ed. 2002. 834p.

TEIXEIRA, M. C. **Previsão e monitoramento de recalques em aterros sanitários** / estudo de casos: central de resíduos de recreio – Minas do Leão/RS e São Leopoldo/RS. 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2015. 217p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA – U.S. **Landfill methane outreach program and landfill gas energy**. Creating partnerships and renewable energy across the country. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-03/documents/lmop_onepager.pdf. Acesso em: 10 mai. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA – U.S. LFG energy project development handbook. In: EPA – U.S. **Landfill Gas Energy Basics**. chapter 1, p. 1-15, 2017. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-07/documents/pdh_chapter1.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA – U.S. **Requisitos de atendimento e pós-fechamento de aterros e lixões segundo a EPA**. Disponível em: <https://www.epa.gov/landfills/requirements-municipal-solid-waste-landfills-mswlfsclosure>. Acesso em: 25 ago. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. **Relatório final de caracterização dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió**. UFBA: Departamento de ciência e tecnologia dos materiais, 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos e Recuperação de Áreas Degradadas. **Gerenciamento Integrado para transferência e destino final dos resíduos urbanos de Maceió**: relatório final completo: Maceió e região metropolitana. Maceió: UFAL; Prefeitura Municipal, 2004.

VAN ELK, A. G. H. P. **Redução de emissões na disposição final**. Coordenação Karin Segala. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. (Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos). 40 p.

VILAR, O. M.; MACHADO, S. L.; CARVALHO, M. F. Resíduos sólidos. In: ZUQUETTE, L. V. (Org.). **Geotecnia ambiental**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 238-240.

WENDLAND, E.; MARIN, I. S. P. **Contaminação de águas subterrâneas**. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.). Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier Editora Ltda., 2013. p. 269 – 316.

WESTLAKE, K. **Landfill waste pollution and control**. Loughborough University of Technology, UK. Ed. Woodhead Publishing Limited, 1995.

YOUCAI, Z. ZIYANG, L. **Pollution Control and Resource Recovery: Municipal Solid Wastes at Landfill**. London. Elsevier, 2017.

ANEXO A – TABELAS DE DESLOCAMENTOS

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L01	12/12/2012						
MC-L01	09/03/2013	0,66	0,66	-0,47	-0,47	0,01	0,01
MC-L01	10/06/2013	0,70	1,36	-0,50	-0,96	0,01	0,01
MC-L01	09/09/2013	0,69	2,05	-0,49	-1,45	0,01	0,01
MC-L01	15/12/2013	0,73	2,79	-0,52	-1,97	0,01	0,01
MC-L01	11/03/2014	0,65	3,44	-0,46	-2,43	0,01	0,01
MC-L01	13/06/2014	0,71	4,15	-0,50	-2,93	0,01	0,01
MC-L01	13/09/2014	0,70	4,85	-0,49	-3,43	0,01	0,01
MC-L01	10/12/2014	0,67	5,51	-0,47	-3,90	0,01	0,01
MC-L01	10/03/2015	0,06	5,45	0,04	-3,85	0,00	0,00
MC-L01	16/06/2015	0,74	6,19	-0,52	-4,38	0,01	0,01
MC-L01	10/09/2015	0,65	6,84	-0,46	-4,84	0,01	0,01
MC-L01	10/12/2015	0,69	7,53	-0,49	-5,33	0,01	0,01
MC-L01	10/03/2016	0,69	8,22	-0,49	-5,81	0,01	0,01
MC-L01	15/06/2016	0,73	8,96	-0,52	-6,33	0,01	0,01
MC-L01	11/09/2016	0,67	9,62	-0,47	-6,80	0,01	0,01
MC-L01	13/12/2016	0,70	10,33	-0,50	-7,30	0,01	0,01

Continua...

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L03	12/12/2012						
MC-L03	09/03/2013	0,66	3701,27	-0,47	694,91	0,01	0,01
MC-L03	10/06/2013	0,70	3701,49	-0,50	694,42	0,01	0,01

MC-L03	09/09/2013	0,69	3701,70	-0,49	693,93	0,01	0,01
MC-L03	15/12/2013	0,73	3701,92	-0,52	693,41	0,01	0,01
MC-L03	11/03/2014	0,65	3702,12	-0,46	692,95	0,01	0,01
MC-L03	10/03/2015	0,06	3702,73	0,04	691,53	0,00	0,00
MC-L03	16/06/2015	0,74	3702,95	-0,52	691,00	0,01	0,01
MC-L03	10/09/2015	0,65	3703,15	-0,46	690,54	0,01	0,01
MC-L03	10/12/2015	0,69	3703,36	-0,49	690,05	0,01	0,01
MC-L03	10/03/2016	0,69	3703,57	-0,49	689,57	0,01	0,01
MC-L03	15/06/2016	0,73	3703,80	-0,52	689,05	0,01	0,01
MC-L03	11/09/2016	0,67	3704,00	-0,47	688,58	0,01	0,01
MC-L03	13/12/2016	0,70	3704,22	-0,50	688,08	0,01	0,01

Continua...

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L04	12/12/2012						
MC-L04	09/03/2013	0,66	8563,63	-0,47	1214,78	0,01	0,01
MC-L04	10/06/2013	0,70	8563,35	-0,50	1214,29	0,01	0,01
MC-L04	09/09/2013	0,69	8563,09	-0,49	1213,80	0,01	0,01
MC-L04	15/12/2013	0,73	8562,80	-0,52	1213,28	0,01	0,01
MC-L04	11/03/2014	0,65	8562,55	-0,46	1212,82	0,01	0,01
MC-L04	13/06/2014	0,71	8562,27	-0,50	1212,32	0,01	0,01
MC-L04	13/09/2014	0,70	8562,00	-0,49	1211,82	0,01	0,01
MC-L04	10/12/2014	0,67	8561,74	-0,47	1211,35	0,01	0,01
MC-L04	10/03/2015	0,06	8561,76	0,04	1211,40	0,00	0,00
MC-L04	16/06/2015	0,74	8561,47	-0,52	1210,87	0,01	0,01
MC-L04	10/09/2015	0,65	8561,22	-0,46	1210,41	0,01	0,01
MC-L04	10/12/2015	0,69	8560,95	-0,49	1209,92	0,01	0,01
MC-L04	10/03/2016	0,69	8560,68	-0,49	1209,44	0,01	0,01

MC-L04	15/06/2016	0,73	8560,40	-0,52	1208,92	0,01	0,01
MC-L04	11/09/2016	0,67	8560,14	-0,47	1208,45	0,01	0,01
MC-L04	13/12/2016	0,70	8559,86	-0,50	1207,95	0,01	0,01

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L05	12/12/2012						
MC-L05	09/03/2013	0,66	10691,26	-0,47	1197,20	0,01	0,01
MC-L05	10/06/2013	0,70	10690,74	-0,50	1196,71	0,01	0,01
MC-L05	09/09/2013	0,69	10690,24	-0,49	1196,22	0,01	0,01
MC-L05	15/12/2013	0,73	10689,69	-0,52	1195,70	0,01	0,01
MC-L05	11/03/2014	0,65	10689,21	-0,46	1195,24	0,01	0,01
MC-L05	10/03/2015	0,06	10687,73	0,04	1193,82	0,00	0,00
MC-L05	16/06/2015	0,74	10687,18	-0,52	1193,29	0,01	0,01
MC-L05	10/09/2015	0,65	10686,70	-0,46	1192,83	0,01	0,01
MC-L05	10/12/2015	0,69	10686,19	-0,49	1192,34	0,01	0,01
MC-L05	10/03/2016	0,69	10685,68	-0,49	1191,86	0,01	0,01
MC-L05	15/06/2016	0,73	10685,14	-0,52	1191,34	0,01	0,01
MC-L05	11/09/2016	0,67	10684,65	-0,47	1190,87	0,01	0,01
MC-L05	13/12/2016	0,70	10684,13	-0,50	1190,37	0,01	0,01

Continua...

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L06	12/12/2012						
MC-L06	09/03/2013	0,66	12506,59	-0,47	810,04	0,01	0,01
MC-L06	10/06/2013	0,70	12505,94	-0,50	809,55	0,01	0,01

MC-L06	09/09/2013	0,69	12505,30	-0,49	809,06	0,01	0,01
MC-L06	15/12/2013	0,73	12504,62	-0,52	808,54	0,01	0,01
MC-L06	11/03/2014	0,65	12504,01	-0,46	808,08	0,01	0,01
MC-L06	13/06/2014	0,71	12503,35	-0,50	807,58	0,01	0,01
MC-L06	13/09/2014	0,70	12502,71	-0,49	807,08	0,01	0,01
MC-L06	10/12/2014	0,67	12502,09	-0,47	806,61	0,01	0,01
MC-L06	10/03/2015	0,06	12502,14	0,04	806,66	0,00	0,00
MC-L06	16/06/2015	0,74	12501,46	-0,52	806,13	0,01	0,01
MC-L06	10/09/2015	0,65	12500,85	-0,46	805,67	0,01	0,01
MC-L06	10/12/2015	0,69	12500,21	-0,49	805,18	0,01	0,01
MC-L06	10/03/2016	0,69	12499,57	-0,49	804,70	0,01	0,01
MC-L06	15/06/2016	0,73	12498,89	-0,52	804,18	0,01	0,01
MC-L06	11/09/2016	0,67	12498,27	-0,47	803,71	0,01	0,01
MC-L06	13/12/2016	0,70	12497,62	-0,50	803,21	0,01	0,01

Continua...

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L07	12/12/2012						
MC-L07	09/03/2013	0,66	18235,99	-0,47	1220,49	0,01	0,01
MC-L07	10/06/2013	0,70	18235,32	-0,50	1220,00	0,01	0,01
MC-L07	09/09/2013	0,69	18234,67	-0,49	1219,51	0,01	0,01
MC-L07	15/12/2013	0,73	18233,97	-0,52	1218,99	0,01	0,01
MC-L07	11/03/2014	0,65	18233,35	-0,46	1218,53	0,01	0,01
MC-L07	10/03/2015	0,06	18231,45	0,04	1217,11	0,00	0,00
MC-L07	16/06/2015	0,74	18230,74	-0,52	1216,58	0,01	0,01
MC-L07	10/09/2015	0,65	18230,13	-0,46	1216,12	0,01	0,01
MC-L07	10/12/2015	0,69	18229,47	-0,49	1215,63	0,01	0,01

L07							
MC-L07	10/03/2016	0,69	18228,82	-0,49	1215,15	0,01	0,01
MC-L07	15/06/2016	0,73	18228,12	-0,52	1214,63	0,01	0,01
MC-L07	11/09/2016	0,67	18227,49	-0,47	1214,16	0,01	0,01
MC-L07	13/12/2016	0,70	18226,83	-0,50	1213,66	0,01	0,01

Marco	Data	Deslocamentos				Velocidade	
		Horizontal		Vertical		Horizontal	Vertical
		Parcial (cm)	Total (cm)	Parcial (cm)	Total (cm)	(cm/dia)	(cm/dia)
MC-L08	12/12/2012						
MC-L08	09/03/2013	0,66	19977,91	-0,47	964,05	0,01	0,01
MC-L08	10/06/2013	0,70	19977,23	-0,50	963,56	0,01	0,01
MC-L08	09/09/2013	0,69	19976,56	-0,49	963,07	0,01	0,01
MC-L08	15/12/2013	0,73	19975,85	-0,52	962,55	0,01	0,01
MC-L08	11/03/2014	0,65	19975,22	-0,46	962,09	0,01	0,01
MC-L08	13/06/2014	0,71	19974,53	-0,50	961,59	0,01	0,01
MC-L08	13/09/2014	0,70	19973,85	-0,49	961,09	0,01	0,01
MC-L08	10/12/2014	0,67	19973,21	-0,47	960,62	0,01	0,01
MC-L08	10/03/2015	0,06	19973,26	0,04	960,67	0,00	0,00
MC-L08	16/06/2015	0,74	19972,55	-0,52	960,14	0,01	0,01
MC-L08	10/09/2015	0,65	19971,91	-0,46	959,68	0,01	0,01
MC-L08	10/12/2015	0,69	19971,25	-0,49	959,19	0,01	0,01
MC-L08	10/03/2016	0,69	19970,58	-0,49	958,71	0,01	0,01
MC-L08	15/06/2016	0,73	19969,87	-0,52	958,19	0,01	0,01
MC-L08	11/09/2016	0,67	19969,22	-0,47	957,72	0,01	0,01
MC-L08	13/12/2016	0,70	19968,54	-0,50	957,22	0,01	0,01