



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar - CCTA
Unidade Acadêmica de Ciência e Tecnologia Ambiental - UACTA
Campus de Pombal - PB
Engenharia Ambiental

Iris Rebeca Dantas Leite

**ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO DE UMA
ÁREA DE LIXÃO: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
POMBAL - PB**

POMBAL - PB
2019

Iris Rebeca Dantas Leite

**ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO DE UMA
ÁREA DE LIXÃO: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE
POMBAL - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientadora: Profa. Ma. Sc. Naiara Angelo Gomes

Coorientadora: Ma. Sc. Elisângela Maria da Silva

POMBAL - PB
2019

L533a Leite, Iris Rebeca Dantas.
Análises de propriedades físico-químicas do solo de uma área de lixão: um estudo de casa no município de Pombal - PB / Iris Rebeca Dantas Leite. – Pombal, 2019.
58 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.
"Orientação: Profa. Ma. Naiara Angelo Gomes".
"Coorientação: Ma. Elisângela Maria da Silva".
Referências.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Disposição final inadequada. 3. Metais pesados. 4. Meio ambiente. I. Gomes, Naiara Angelo. II. Silva, Elisângela Maria da. III. Título.

CDU 628.4(043)

IRIS REBECA DANTAS LEITE

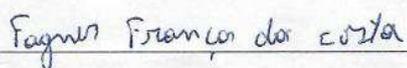
ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO DE UMA
ÁREA DE LIXÃO: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB

Aprovado em 28/06/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Ma. Sc. Naiara Angelo Gomes
Orientadora – UFCG/Campus de Pombal – PB



Prof. Me. Sc. Fagner França da Costa
Examinador Interno – UFCG/Campus de Pombal - PB



Ma. Eng. Katherine da Silva Sousa
Examinadora Externa –
Project Engenharia, Arquitetura, Construções e Consultoria LTDA

Pombal – PB

Junho 2019

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, em primeiro lugar, por ter sido (e continuar sendo) meu refúgio e a minha fortaleza em todos os momentos. Sem Ele eu não sei o que seria de mim.

Aos meus pais, Maria Neuman e Gerson Magno, e ao meu irmão, Gerson Jr., por todo apoio e amor durante toda a minha vida, por todo esforço que fizeram para que eu pudesse realizar este sonho e por terem me dado ensinamentos que eu não poderia ter encontrado em nenhum outro lugar. A vocês, o meu amor e minha gratidão.

Ao meu querido esposo, Felipe Pedro, por ser, além de tudo, o meu melhor amigo. Obrigada por todo amor, toda compreensão e por não medir esforços para me ver sempre bem e feliz.

À minha orientadora, Profa. Ma. Naiara Angelo Gomes, e minha coorientadora, Ma. Elisângela Maria da Silva, por todos os ensinamentos que me passaram, pela paciência e por me transmitirem segurança e tranquilidade no decorrer deste trabalho. Não tenho palavras para agradecer. Vocês são exemplos para mim!

Aos meus amigos de curso e de grupo de estudo Luan, Yargo, Ludemário, Maila e Tassio. Juntos aprendemos a conviver, a cultivar amizades em meio às diferenças e, acima de tudo, aprendemos que é mais fácil superar as dificuldades quando se tem ajuda. O meu muito obrigada, a cada um de vocês.

A Carol e Yasmin por terem sido companheiras quando eu precisei e por terem dividido tantos momentos felizes comigo. Estendo o agradecimento a estas pessoas maravilhosas que tive o prazer de conhecer durante essa jornada: Rayana, Gabriella, Thamirys, Iuri, Priscilla, Luah, Olavio e, especialmente, Andrea Cavalcanti, técnica do Laboratório de Geoprocessamento, por toda ajuda sempre que precisei e pela amizade cultivada ao longo desse tempo.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos sobre a Engenharia Ambiental e sobre a vida.

À banca examinadora, pela disponibilidade em ler e contribuir para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, me ajudaram a chegar até aqui. Muito obrigada!

LEITE, Iris Rebeca Dantas. **Análise de propriedades físico-químicas do solo de uma área de lixão: Um estudo de caso no município de Pombal - PB.** 2019. 58 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2019

RESUMO

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, mais de 40% dos resíduos sólidos urbanos coletados ainda são dispostos em vazadouros a céu aberto ou lixões. A falta de medidas de controle ambiental nessas áreas, torna esta atividade um inconveniente tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades físico-químicas do solo de uma área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos na cidade de Pombal, Paraíba, Brasil. O estudo consistiu na observação das condições da área do lixão e na coleta de amostras de solo na camada 0-0,2m para a avaliação das propriedades físico-químicas e dos teores de metais pesados. Além disso, foi realizado um estudo bibliográfico sobre as consequências da disposição ilegal de RSU para o meio ambiente e para a saúde pública. Como resultados obteve-se, então, um diagnóstico da área, observando-se as condições ambientais e as irregularidades da atividade, somado a isto, foi realizada a caracterização físico-química do solo, que demonstrou a influência dos resíduos orgânicos na determinação das concentrações de propriedades como N, Ca e Mg, e os teores de metais pesados, os quais apresentaram-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação. Dessa forma foi possível perceber a influência significativa dos resíduos orgânicos nas propriedades físico-químicas do solo. Mesmo obtendo baixas concentrações de metais na superfície do solo, é necessário a realização de estudo em outras profundidades para afirmar ou não a sua contaminação.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Disposição final inadequada. Metais Pesados. Meio Ambiente.

LEITE, Iris Rebeca Dantas. **Analysis of physical and chemical properties of the soil of a dump area: a case study in the municipality of Pombal - PB.** 2019. 58 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2019

ABSTRACT

In Brazil, according to the Brazilian Association of Cleaning and Special Waste Services Companies, more than 40% of urban solid waste is still covered by open pit leaks or dumps. The lack of flexibility in the environment is a human concern. In this way, the objective of this work was to analyze the physical-chemical properties of the soil of an area of inadequate disposal of urban waste in the city of Pombal, Paraíba, Brazil. The study consisted in the observation of the conditions of the landfill area and the collection of soil samples in the 0-0.2m phase for an evaluation of the physical-chemical properties and the heavy metal contents. In addition, a literature review was carried out on the consequences of discontinuation of therapy in humans for the environment and for human health. Results were then a diagnosis of the area, observing as environmental conditions and as irregularities of the activity, in addition to this, a physical-chemical characterization of the soil was performed, which demonstrated the influence of the data in the determination of the concentrations. of properties such as N, Ca and Mg, and the levels of heavy metals, which are the same as the limits established by the legislation. From now on, it is possible to find one of the main organic in the physical-chemical properties of the soil. Even with the low concentrations of soil on the surface, it is necessary to perform a study in other depths to affirm that it is not contaminated

Keywords: Urban solid waste. Inappropriate final disposition. Heavy metals. Environment

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Fluxograma ilustrativo da classificação dos RS quanto à sua periculosidade	19
Figura 2 - Esquema ilustrativo de um aterro sanitário	25
Figura 3 - Esquema ilustrativo da disposição de resíduos em aterro controlado	26
Figura 4 - Esquema ilustrativo da disposição de RSU em lixão	26
Figura 5 - Fluxograma com as etapas metodológicas	34
Figura 6 - Mapa de Localização do município de Pombal em relação ao Estado da Paraíba.....	35
Figura 7 - Coleta do solo da área de lixão: (A) Limpeza da área para coleta; (B) Coleta da amostra com trado holandês e armazenamento em saco plástico.....	37
Figura 8 - Espacialização dos pontos de coleta em relação a área do lixão	37
Figura 9 - Constituição das amostras AC1 e AC2	38
Figura 10 – Amostras de solo coletadas no lixão de Pombal - PB.....	38
Figura 11 - Peneiramento das amostras de solo.....	39
Figura 12 - Preparação das amostras para análise de metais: (A) Amostras de solo com HCl; (B) Agitação das amostras; (C) Filtragem das amostras.	40
Figura 13 - Localização do lixão de Pombal - PB em relação a BR 230 e ao rio Piranhas	42
Figura 14 - Local de despejo de restos de animais e em destaque residências construídas no loteamento	43
Figura 15 - Locais de acúmulo de água na área potencial de disposição dos RSU no lixão de Pombal - PB: (A) Lago formado devido às precipitações; (B) Acúmulo de água em valas abertas no solo pelo processo erosivo.....	43
Figura 16 - Formas de armazenamento de resíduos recicláveis: (A) Barracos improvisados; (B) Resíduos armazenados em sacos e pacotes feitos com tecido; (C) galpão usado por catadores da cooperativa	44
Figura 17 - Animais se alimentando dos RSU: (A) Cachorro; (B) Cavalos.....	45
Figura 18 – Pluma de fumaça causada pela queima de resíduos na área de estudo	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem.....	18
Quadro 2 - Estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil....	21
Quadro 3 - Composição gravimétrica dos RSU coletados em Pombal - PB	21
Quadro 4 - Efeitos dos metais em determinados seres vivos	33
Quadro 5 - Propriedades físico-químicas avaliadas nas amostras AC1, AC2 e AF. .	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição de lixiviados em relação à idade de aterros norte-americanos	30
Tabela 2 - Composição do lixiviado gerado em diferentes aterros sanitários brasileiros	31
Tabela 3 - Valores de prevenção e investigação para avaliar a qualidade dos solos	32
Tabela 4 - Propriedades físico-químicos do solo para as amostras AC1, AC2 e AF.	46
Tabela 5 - Concentrações de metais pesados para as amostras AC1, AC2 E AF....	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E NOMENCLATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AC1 - Amostra Composta 1

AC2 - Amostra Composta 2

AF - Área Florestada

Al - Alumínio

As - Arsênio

°C - grau Célsius

Ca - Cálcio

CCTA - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar

Cd - Cádmiio

CE - Condutividade Elétrica

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CH₄ - Metano

CO - Carbono Orgânico

CO₂ - Dióxido de carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr - Cromo

Cu - Cobre

Cu - Cobre

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETA - Estação de Tratamento de Água

Fe - Ferro

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

FVMP - Frequência de ocorrência dos Valores Mais Prováveis

g - Grama

H - Hidrogênio

h - hora

ha - hectare

hab/km² - habitantes por quilômetro quadrado

HCl - ácido clorídrico
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
km- quilômetro
km² - quilômetro quadrado
LRS - Laboratório de Resíduos Sólidos
m - metro
M - Molar
Mg - Magnésio
mg.L⁻¹ - miligramas por litro
min - minuto
mL - mililitro
Mn - Manganês
MO - Matéria Orgânica
N - Nitrogênio
NBR - Norma Brasileira
NH₃ - Amônia livre ou gasosa
NO_x - Óxidos de nitrogênio
NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl
OD - Oxigênio Dissolvido
P - Fósforo
Pb - Chumbo
pH - potencial Hidrogeniônico
PL - Projeto de Lei
PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
RO - Resíduos Orgânicos
RS - Resíduos Sólidos
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos
Sisnama - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO_x - Óxidos de enxofre
SUASA - Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SV - Sólidos Voláteis
tonRSU/dia - tonelada de Resíduos Sólidos Urbanos por dia

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

VI - Valor de intervenção

VP - Valor de Prevenção

VRQ- Valores de Referência de Qualidade

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Resíduos Sólidos	17
3.1.1 Definição	17
3.1.2 Classificação.....	17
3.1.3 Resíduos sólidos urbanos: Aspectos gerais	20
3.1.4 A problemática dos resíduos sólidos urbanos.....	22
3.2 Formas de disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil	24
3.2.1 Aterro sanitário.....	24
3.2.2 Aterro controlado.....	25
3.2.3 Vazadouro ou lixão a céu aberto	26
3.3 Impactos no meio ambiente e na saúde pública devido à disposição de resíduos sólidos em lixões	27
3.3.1 Impactos ambientais no solo.....	27
3.3.2 Impactos ambientais nos recursos hídricos	28
3.3.3 Impactos ambientais no ar atmosférico.....	29
3.4 A contaminação do solo em áreas de lixões por metais pesados	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 Caracterização da área de estudo	34
4.2 Descrição das condições atuais da área de estudo	35
4.3 Coleta e preparo das amostras de solo	36
4.4 Análises das propriedades físico-químicas do solo	40
4.5 Consequências da disposição inadequada de RSU ao meio ambiente e à saúde pública	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Condições atuais da área de estudo	42
5.2 Propriedades físico-químicas do solo	46
5.3 Consequências da disposição inadequada de RSU	50
5.3.1 Consequências para o meio ambiente.....	50

5.3.2 Consequências sobre a saúde pública	51
6 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O aumento na geração de Resíduos Sólidos (RS), em geral, advindo do crescimento populacional e do padrão de consumo da população, aliado a falta de gerenciamento adequado, vem causando inúmeros inconvenientes, tanto para o meio natural, quanto para o meio antrópico.

Dessa forma, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, constituiu-se em um marco regulatório no que se refere à gestão dos RS no Brasil. Dentre o que é proposto pela PNRS, tem-se que a disposição final dos rejeitos deve ser realizada em um local ambientalmente e sanitariamente adequado (BRASIL, 2010). No entanto, muitos municípios brasileiros ainda dispõem os seus RS em vazadouros a céu aberto, conhecidos popularmente como lixões.

Ainda de acordo com a referida lei, o prazo para a erradicação dos lixões e substituições destes por áreas de disposição ambientalmente adequadas, como é o caso dos aterros sanitários, deveria ter acontecido até o dia 02 de agosto de 2014, porém, vários municípios brasileiros, inclusive os de pequeno porte, não conseguiram cumprir esse prazo. Em virtude disso, tramita na câmara dos deputados uma proposta de prorrogação desse prazo inicial, na forma do Projeto de Lei (PL) n. 2.289 (BRASIL, 2015).

Cabe ressaltar que, entre os RS dispostos nos lixões, têm-se os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), os quais são compostos, principalmente, por matéria orgânica, papéis e papelão, plásticos, alumínio, metais ferrosos, rejeitos entre outros (GALDINO e MARTINS, 2016; REZENDE et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2016). Além desses materiais, também é comum constatar em lixões, o descarte inadequado de materiais eletroeletrônicos, lâmpadas fluorescentes, resíduos de cemitérios, restos de animais mortos e até mesmo resíduos hospitalares, aumentando assim, o grau de periculosidade em relação ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), foram gerados, no Brasil, no ano de 2017, cerca de 78,4 milhões de toneladas de RSU, das quais 59,1% foram encaminhadas a aterros sanitários e 40,9% foram dispostas em aterros controlados ou em lixões, por 3.352 municípios. Ainda conforme o Panorama,

na Região Nordeste, 861 municípios destinaram seus RSU em lixões e 484 em aterros controlados; sendo esta, a região com o maior número de lixões no Brasil.

É importante destacar que, a disposição de RSU e rejeitos em lixões pode acarretar diversos efeitos negativos na qualidade do solo, do ar atmosférico, bem como nas características da água. Em um estudo desenvolvido no lixão de Humaitá-AM, foram identificados impactos ambientais como: alterações na qualidade do solo, das águas subterrâneas e superficiais, e do ar atmosférico (OLIVEIRA et al., 2015). Dessa forma, é possível perceber que a problemática da disposição inadequada de resíduos em lixões engloba desde impactos nos recursos naturais até impactos na saúde das pessoas que estão em contato com a área, como é o caso de catadores de material reciclável e moradores das áreas circunvizinhas.

Diante do exposto, faz-se necessário a realização de estudos com foco no monitoramento dos diversos contaminantes, a exemplo dos metais pesados, em áreas de lixões. Salienta-se que, com base nesses estudos, é possível pressupor os potenciais impactos ambientais negativos que podem afetar o meio ambiente e a saúde pública, bem como propor medidas de controle ambiental, tendo em vista a recuperação da área.

Além disso, tais estudos fornecem um banco de dados que pode ser utilizado como subsídio para as tomadas de decisão do poder público quanto a otimização do gerenciamento adequado dos resíduos, e ainda, podem servir de base para o desenvolvimento de investigações mais aprofundadas na área de resíduos sólidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar as propriedades físico-químicas do solo de uma área de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos na cidade de Pombal - PB.

2.2 Específicos

- Realizar um levantamento das condições atuais da área de estudo (lixão de Pombal - PB);
- Avaliar propriedades como matéria orgânica, pH, condutividade elétrica, macronutrientes e metais em solos oriundos da área do lixão de Pombal - PB e de uma área florestada;
- Descrever as principais consequências que a disposição ambientalmente inadequada de resíduos sólidos urbanos causa ao meio ambiente e à saúde pública.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 Definição

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conceitua Resíduos Sólidos (RS) como sendo:

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

Já a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), define RS como sendo materiais sólidos ou semissólidos de origem industrial, doméstica, comercial, de serviços de limpeza urbana, agrícola e hospitalar. Neste caso, estão incluídos como resíduos sólidos: o lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA); os resíduos de equipamentos de controle a poluição; e os líquidos que não devem ser lançados na rede pública de esgotos e em corpos hídricos, devido suas particularidades, ou que para isso se exija soluções economicamente inviáveis, mesmo considerando-se a melhor tecnologia disponível.

Os RS por serem gerados em diversas fontes se tornam diversificados e complexos (ZANTA e FERREIRA, 2003). Com o objetivo de conhecer a diversidade e complexidade desses resíduos, legislações vigentes no Brasil, como a PNRS e normas técnicas da ABNT (NBR 10.004, NBR 10.005 e a NBR 10.006), estabeleceram critérios para a sua classificação e a correta disposição final.

3.1.2 Classificação

Os RS podem ser classificados conforme alguns critérios, sendo que os mais usuais no Brasil se referem a sua natureza ou origem e ao seu grau de periculosidade.

No que diz respeito à origem, os RS podem ser classificados, como exposto no Quadro 1. Quanto à periculosidade, tais resíduos podem ser perigosos (que apresenta características de corrosividade, reatividade, patogenicidade, inflamabilidade,

toxicidade, teratogenicidade, carcinogenicidade e mutagenicidade) e não perigosos (BRASIL, 2010).

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem

ORIGEM	DESCRIÇÃO
Domiciliares	Provenientes de atividades domésticas em residências da área urbana.
Limpeza urbana	Provenientes da limpeza de vias públicas, varrição e outros serviços de limpeza urbana.
Urbanos	Todos os resíduos classificados como domiciliares e de limpeza urbana.
Estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço	Provenientes destas atividades, excetuando-se os serviços de limpeza urbana, saneamento básico, serviços de saúde, construção civil e serviços de transporte.
Serviços públicos de saneamento básico	Provenientes das atividades de saneamento básico, excetuando-se os resíduos sólidos urbanos.
Industriais	Originados nos processos produtivos e nas instalações industriais.
Serviço de saúde	Originados nos serviços de saúde, como definido pelos órgãos: Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).
Construção civil	Resultantes de reformas, construções, demolições e reparos de construções civis, incluindo os gerados nos processos de preparação e escavação dos terrenos para as obras.
Agrossilvopastoris	Provenientes das atividades agropecuárias e silviculturais, incluindo os resíduos relacionados aos insumos utilizados nestas atividades.
Serviços de transporte	Originados em aeroportos, portos, terminais alfandegados, ferroviários e rodoviários, e passagens de fronteira.
Mineração	Oriundos das atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Ainda neste contexto, a normativa da ABNT, a NBR 10.004 (ABNT, 2004), traz a classificação dos RS quanto ao critério periculosidade. Este critério, classifica tais resíduos em duas classes, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma ilustrativo da classificação dos RS quanto à sua periculosidade



Fonte: Adaptado da NBR 10.004 (ABNT, 2004)

Cabe ressaltar que, a norma técnica NBR 10.004 (ABNT, 2004), define periculosidade como sendo uma característica inerente aos resíduos, que em função de suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas podem oferecer riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

Nesse sentido, os resíduos sólidos Classe I (perigosos), são aqueles que apresentam uma ou mais das seguintes características: corrosividade, patogenicidade, reatividade, toxicidade ou inflamabilidade, oferecendo, desta forma, riscos à saúde pública e ao meio ambiente quando manuseados e depositados inadequadamente.

Já os resíduos Classe II (não perigosos), especificamente, os Classe II A (não inertes) são aqueles que podem apresentar as características de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água, com possibilidade de causar riscos à saúde pública e problemas ambientais, caso não sejam gerenciados de maneira adequada. No que se refere aos resíduos Classe II B (inertes), estes são aqueles que ao entrarem em contato dinâmico e estático com água deionizada ou destilada, não têm os seus constituintes solubilizados a concentrações que superem os limites de potabilidade da água estabelecidos pela Portaria de Consolidação n. 5 (BRASIL, 2017), excetuando-se os parâmetros cor, dureza, turbidez e sabor.

Outra forma de classificação dos RS é quanto ao grau de degradabilidade, na qual os resíduos são classificados como (Bidone e Povinelli, 1999):

- Facilmente degradáveis – resíduos orgânicos de fácil degradação como restos de alimentos, frutas, folhas etc.;
- Moderadamente degradáveis – resíduos que podem ser decompostos biologicamente em um período de duas a quatro semanas, a exemplo de papel, papelão e outros produtos à base de celulose;

- Dificilmente degradáveis – neste grupo estão os resíduos que possuem uma degradação por via biológica desprezível, como tecidos, couro, madeira e borrachas;
- Não degradáveis – resíduos resistentes à biodegradação, como plásticos, metais, cinzas, areia e vidros.

Em termos de composição, os RSU – foco do presente estudo – apresentam uma variabilidade considerável, constituindo-se de matéria orgânica, papeis, plásticos, metais, vidros, rejeitos, entre outros materiais (GALDINO E MARTINS, 2016; REZENDE et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2016), devido a isso, é sempre importante classificar os RSU quanto ao seu grau de periculosidade.

3.1.3 Resíduos sólidos urbanos: Aspectos gerais

De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), os RSU são formados pelos resíduos sólidos de origem domiciliar e de limpeza urbana. No entanto, devido à falta de fiscalização em executar o que recomenda a referida lei, geralmente, nas cidades brasileiras, os RSU são aqueles materiais resultantes das diversas atividades atuantes no município, inclusive, de atividades que produzem resíduos considerados de alto risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Segundo Cheng e Hu (2010) e Silva (2016), os RSU são constituídos pelos materiais descartados das inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas. Em geral, compõem-se de resíduos resultantes de atividades residenciais, comerciais e institucionais, contendo uma fração significativa de resíduos orgânicos putrescível, papel, plásticos, metais entre outros, sendo a sua composição variável, em função da situação socioeconômica, cultural e das condições e hábitos de vida de cada população.

De acordo com a ABRELPE (2018), no Brasil, durante o ano 2017, foram gerados 241.868 tonRSU.dia⁻¹. Desse total, aproximadamente 55.492 tonRSU.dia⁻¹, foram gerados na região Nordeste. No contexto municipal, de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Pombal - PB (PMSB, 2015), foram produzidos, em 2015, cerca de 12,592 tonRSU.dia⁻¹.

Quando se trata da composição dos RSU no Brasil, o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012),

apresenta uma estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no país, com dados dos anos 2000 e 2008, conforme se observa no Quadro 2.

Quadro 2 - Estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no Brasil

MATERIAIS	PARTICIPAÇÃO (%)
Metais	2,9
Papel, papelão e tetra pak	13,1
Plástico	13,5
Vidro	2,4
Matéria orgânica	51,4
Outros	16,7
Total coletado	100

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

Já no Quadro 3, encontram-se dados da composição gravimétrica dos RSU coletados na área urbana de Pombal-PB (PMSB, 2015).

Quadro 3 - Composição gravimétrica dos RSU coletados em Pombal - PB

MATERIAIS	PARTICIPAÇÃO (%)
Matéria orgânica	35
Plástico	15
Papel e papelão	10
Vidro	3
Metal	2
Madeira	1
Trapos, panos, couro e borracha	5
Contaminantes químicos	1
Contaminantes biológicos	9
Inertes	18
Diversos	1
Total coletado	100

Fonte: Adaptado de PMSB de Pombal - PB (2015)

3.1.4 A problemática dos resíduos sólidos urbanos

O cenário dos dilemas gerados pela temática dos resíduos sólidos no Brasil segue uma tendência de geração elevada e diversificada de materiais, o que acaba causando diversos problemas socioambientais, dentre os quais é possível destacar três principais, conforme apresentado por Figueiredo (2013):

- I – Aspectos sociais e econômicos no que diz respeito às condições precárias de vida e trabalho dos catadores de material reciclável;
- II – A degradação ambiental causada pela disposição inadequada dos resíduos em lixões, praia, terrenos baldios, além da queima destes resíduos;
- III – A falta de eficiência na gestão dos resíduos.

A grande problemática socioeconômica que envolve os catadores de material reciclável se dá por alguns fatores, como: exclusão social, falta de regulamentação, precariedade nas condições de trabalho e falta de acesso a condições sanitárias adequadas. Como destaca Bortoli, Reis e Teles (2016), os catadores não trabalham dentro de indústrias de reciclagem, eles estão nas ruas, alguns deles se organizam em associações e cooperativas que repassam o resultado de cada dia de trabalho para os compradores de materiais recicláveis.

No que se refere à vida social, os catadores sofrem inúmeros preconceitos, considerados como figuras que tornam a imagem dos centros urbanos “suja”, sendo tratados como “entulhos”. Além disso, as condições de trabalho precárias e as grandes jornadas de trabalho não garantem a formalidade da profissão, o que os tornam desprotegidos das insalubridades da atividade que desenvolvem, além de não existir uma garantia de renda mínima mensal (ROSS, CARVALHAL e RIBEIRO, 2010).

Sendo assim, a falta de condições financeiras adequadas, muitas vezes, obriga os catadores a morarem em residências onde as condições sanitárias não são atendidas, que aliado aos perigos da coleta de resíduos, tornam estes indivíduos vulneráveis a diversos (e sérios) problemas de saúde (BORTOLI, REIS e RELES, 2016).

Em se tratando da degradação ambiental causada pela disposição inadequada de resíduos, é possível constatar impactos negativos em diferentes locais, como leitos de rios, margens de rodovias e ruas, e em terrenos baldios (MUCELIN e BELLINI, 2008).

Neste contexto, alguns dos impactos ambientais negativos identificados em uma área de lixão são: alteração das características do solo, alteração da paisagem, alteração da qualidade das águas, contaminação do solo e contaminação do lençol freático (GOMES et al., 2015; COSTA et al., 2016; OLIVEIRA, 2016).

Sobre o quesito da problemática relacionado às dificuldades da gestão e gerenciamento dos RSU, Silva, Fugii e Santoyo (2017) destacam que:

A gestão de resíduos sólidos urbanos demanda uma ação integrada entre os diversos atores e variáveis da cadeia, de acordo com as especificidades de cada região e população, devendo ser planejada pelo poder público municipal. Não basta a promulgação da lei que definiu a PNRS para que os princípios e objetivos sejam cumpridos e adequados à realidade dos municípios brasileiros (SILVA, FUGII e SANTOYO, 2017).

No entanto, essa não é a realidade vista na maior parte do Brasil. A gestão integrada é uma dificuldade para muitos municípios, os quais não lidam com os impactos relacionados à geração, coleta, disposição e reaproveitamento dos RSU de forma setorial e desarticulada, o que impede a visão da gestão e gerenciamento de RSU como um sistema que necessita de ações integradas nos mais diversos níveis (DIAS, 2012).

Quando a gestão e o gerenciamento dos RSU não são eficientes ocorre uma potencialização dos impactos ambientais, os quais atingem diretamente a população, um exemplo disso é o caso abordado por Jacobi e Besen (2011), em que as falhas na coleta dos resíduos ocasionam diversos transtornos, tais como: obstrução dos bueiros de drenagem urbana, causando intensificação das enchentes; assoreamento de corpos hídricos; odor desagradável; proliferação de vetores de doenças. Todas estas consequências trazem impactos negativos diretos e/ou indiretos à saúde pública.

No que diz respeito ao destino dos resíduos, a PNRS afirma que uma destinação ambientalmente adequada se refere a:

Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente), do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do SUASA (Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Além disso, o Art. 9º da PNRS (BRASIL, 2010) relata que no gerenciamento e na gestão dos resíduos deve-se considerar a seguinte ordem hierárquica: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada. Contudo, a realidade em muitos municípios brasileiros, é

que a destinação dos resíduos sempre diz respeito à disposição final, sem o aproveitamento ou beneficiamento dos resíduos recicláveis. Dias (2012) afirma que “paga-se para ‘enterrar’ resíduos que, muitas vezes, poderiam ser previamente reduzidos ou, então, reciclados”.

Outra problemática em relação aos RSU no Brasil é o custeio para dispor ambientalmente esses resíduos. Além da diminuição da vida útil dos aterros, quando não se cumpre a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos citada na PNRS, aumenta-se os gastos com o transporte dos resíduos, visto que, em alguns casos, tais resíduos percorrem grandes distâncias para chegarem ao seu destino final (JACOBI e BESEN, 2011).

3.2 Formas de disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil

3.2.1 Aterro sanitário

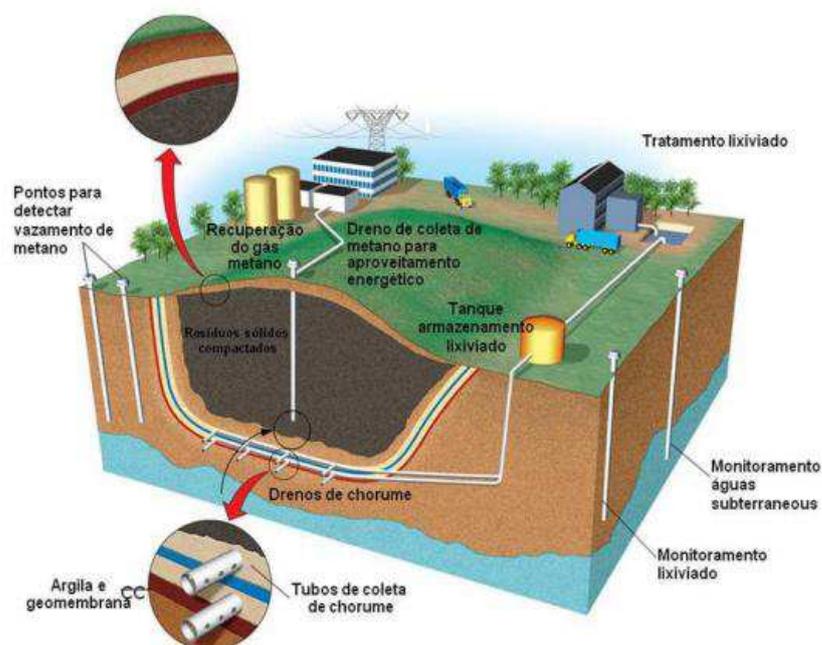
O aterro sanitário, forma de disposição de RSU ambientalmente adequada, é definido na NBR 8.419 (ABNT, 1996), como sendo:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 1996).

De acordo com Aquino et al. (2015), um aterro sanitário constitui-se de uma área de grande extensão, a qual recebe um preparo técnico para o recebimento dos resíduos; este preparo deve garantir a proteção do meio ambiente, impedindo a contaminação, por exemplo, do lençol freático. Além disso, destaca-se a possibilidade do aproveitamento energético dos gases formado no interior das células do aterro. Na Figura 2, encontra-se ilustrado o esquema de um aterro sanitário.

A estrutura de um aterro sanitário compreende, além da equipe operacional: balança para pesagem dos veículos transportadores de resíduos; portaria; refeitório; vias de acesso; vestiários; cercas de proteção; impermeabilização das bases das células de aterro; sistemas de drenagem de gases, de lixiviado e águas pluviais; poços de monitoramento de água subterrânea; sistema de tratamento do lixiviado; sistemas de controle de recalques e; máquinas e equipamentos (GUIZARD et al., 2006).

Figura 2 - Esquema ilustrativo de um aterro sanitário



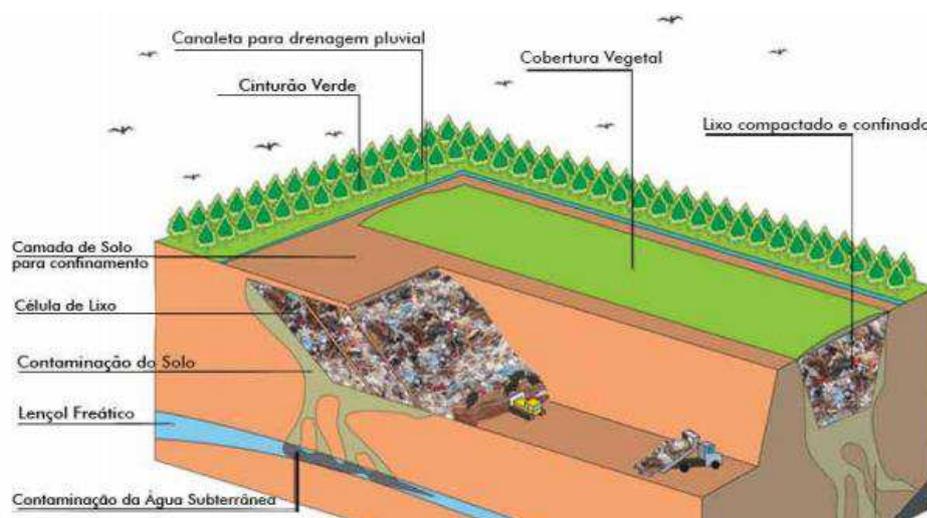
Fonte: Miller Jr. (2008)

3.2.2 Aterro controlado

Os aterros controlados, de acordo com Pinto (1992, p. 72 apud OLHER, OLHER e OLIVEIRA, 2012), consistem no confinamento dos RSU realizando compactação para que estes ocupem o menor volume possível, aterrando-os com uma camada de solo para impedir a exposição ao ar livre, minimizando a proliferação de macro e micro vetores, os riscos de incêndio, o espalhamento de resíduos para áreas vizinhas e os odores emitidos pelos resíduos. A Figura 3, ilustra a disposição de RSU em aterros controlados.

Nessa forma de disposição, são utilizados alguns princípios de engenharia para o confinamento dos resíduos, a exemplo da cobertura destes com um material inerte ao final de cada dia. Neste método, ao contrário do aterro sanitário, não é feita a impermeabilização do solo, potencializando os impactos na qualidade das águas subterrâneas e não dispõe de sistemas de coleta e tratamento do líquido e do biogás (CEMPRE, 2018).

Figura 3 - Esquema ilustrativo da disposição de resíduos em aterro controlado



Fonte: AUTOGLASS (2017)

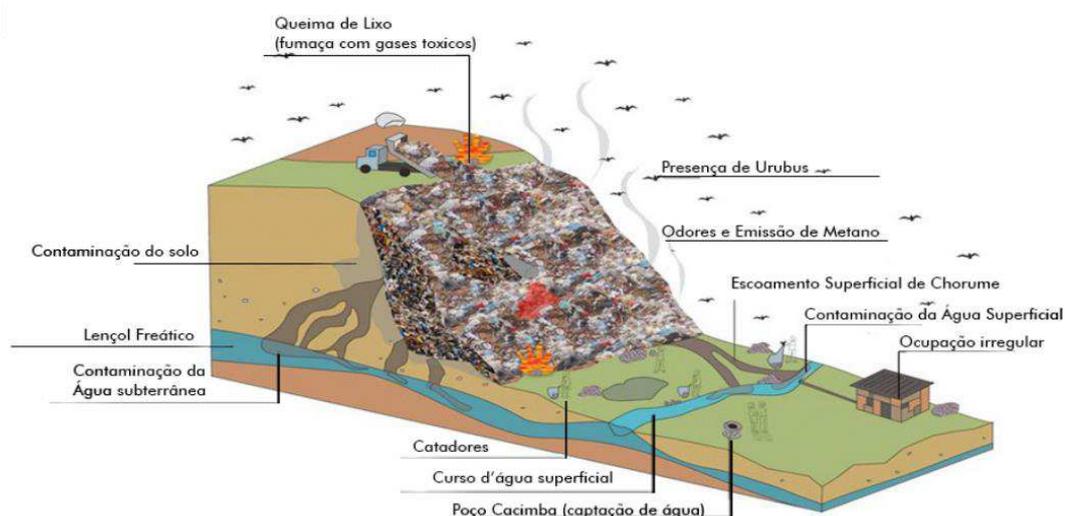
3.2.3 Vazadouro ou lixão a céu aberto

O lixão é um tipo de disposição final de resíduos, em que os RSU são dispostos em terrenos inadequados, conforme a Figura 4, normalmente, afastados da zona urbana e sem nenhum manejo adequado do solo. Este tipo de disposição também não apresenta quaisquer medidas de proteção ambiental ou à saúde pública (MARCHI, 2015). No entanto, em alguns municípios brasileiros o lixão se localiza próximo a zona urbana (como é o caso do município de Pombal - PB, objeto deste estudo), corroborando para a ocorrência de efeitos adversos na população.

No caso dos lixões não é possível perceber medidas que controlem a entrada de pessoas e animais, nem dispositivos que evitem os impactos ambientais negativos que são causados pela lixiviação e pela decomposição dos materiais que são depositados nesses locais (BAHIA, 2007).

Ações como impermeabilização do solo, coleta de lixiviado, drenagem de águas de chuva e coleta de gases, as quais impedem a contaminação do solo, da água e o ar não são empregadas nas áreas de lixões. A falta de medidas de controle ambiental resulta no aumento potencial de impactos negativos ao meio ambiente.

Figura 4 - Esquema ilustrativo da disposição de RSU em lixão



Caracterização da degradação social e ambiental do Lixão
Fonte: AUTOGLASS (2017)

3.3 Impactos no meio ambiente e na saúde pública devido à disposição de resíduos sólidos em lixões

No que diz respeito aos impactos à saúde humana, alguns elementos presentes nos RSU podem afetá-la, entre os quais destacam-se (FERREIRA e ANJOS, 2001):

- Físicos – odor, ruídos, poeira, objetos perfuro cortantes e a fumaça liberada na queima desses resíduos;
- Químicos – pilhas e baterias, óleos, pesticidas, tintas, produtos de limpeza, solventes e remédios;
- Biológicos – microrganismos patogênicos (microvetores) e macrovetores.

A seguir, estão descritos os principais impactos ambientais que atingem o meio físico e seus elementos, em virtude da disposição inadequada de RSU.

3.3.1 Impactos ambientais no solo

Dentre os impactos ambientais que atingem diretamente o solo, causados pela disposição inadequada dos RSU, destacam-se: compactação do solo, aceleração dos processos erosivos e a contaminação desse elemento (COSTA et al., 2016; ARAÚJO, 2015). A compactação do solo é ocasionada pelo trânsito dos caminhões que transportam os resíduos até o lixão e dos tratores que realizam o amontoamento dos

resíduos, que, juntamente com a exposição do solo, contribui para o aumento dos processos erosivos. A contaminação do solo, por sua vez, pode ser causada pela disposição de resíduos que possuem em sua composição alguns metais pesados (BENDITO et al., 2017) e pela degradação desses resíduos que produzem o lixiviado, líquido rico em metais pesados, matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e outros constituintes.

Em um diagnóstico ambiental realizado no lixão de Pombal - PB, foi constatado que o solo se encontrava em condições de degradação, apresentando focos de erosão, locais sem vegetação, compactação e revolvimento em grande parte da área de disposição dos RSU e, ainda, em algumas localidades, o solo estava escarpado (GOMES et al., 2017)

Em um outro estudo realizado por Araújo (2014), observou-se diferenças significativas dos atributos físicos e químicos do solo da área de um lixão desativado, em comparação com uma área de mata nativa, o que evidencia uma redução da qualidade deste solo. O referido autor também relatou que, devido a área do lixão desativado não ter recebido uma impermeabilização prévia do solo, houve, provavelmente, uma transferência vertical de elementos químicos e metais pesados para o subsolo. Logo, é importante mencionar que tudo isso dificulta os processos de revegetação e recuperação da área.

Já em uma outra investigação realizada por Milhome et al. (2018), na qual se analisou a qualidade do solo de uma área utilizada como lixão, foi comprovado que esse recurso estava contaminado pelos metais Cu, Zn e Pb, sendo que as concentrações de Cu e Zn encontravam-se acima dos Valores de Prevenção (VP), e as concentrações de Pb acima, até mesmo, do Valor de Intervenção (VI), valores estes estabelecidos pela Resolução n. 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009).

3.3.2 Impactos ambientais nos recursos hídricos

Sobre a influência da disposição inadequada dos resíduos nos recursos hídricos, Oliveira (2016), observou os seguintes impactos: assoreamento de corpos hídricos, contaminação do lençol freático, poluição dos corpos d'água superficiais e contaminação das águas superficiais.

A contaminação das águas subterrâneas ocorre, principalmente, pelo processo de biodegradação dos RSU que gera o lixiviado, o qual ao se infiltrar no solo pode atingir os lençóis freáticos. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), a fonte de contaminação de 18,6% dos poços rasos é a destinação inadequada de resíduos; esta mesma atividade é também responsável pela contaminação de 16,8% dos poços profundos no país.

Oliveira et al. (2016) constataram que, as concentrações de Ferro (Fe), fósforo total e Oxigênio Dissolvido (OD) de um corpo hídrico superficial que apresentava influência de um lixão, não estavam em conformidade com a Resolução n. 357 (CONAMA, 2005). Destaca-se que a concentração de OD, no ponto de coleta mais próximo ao lixão foi de 2,9 mg.L⁻¹, não atingindo, assim, o mínimo estabelecido pela supracitada Resolução que é de 5 mg.L⁻¹. As baixas concentrações de OD podem ocasionar sérias consequências à biota aquática.

Além do mais, é importante destacar a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas nas áreas de influência de um lixão por metais pesados. Isso ocorre em consequência da disposição de resíduos que contém metais pesados em sua composição e da falta de impermeabilização prévia do solo, permitindo que esses elementos contaminem o solo, e, possivelmente, o lençol freático (BENDITO et al., 2017).

3.3.3 Impactos ambientais no ar atmosférico

Uma grande problemática nos lixões é a queima dos resíduos que é feita, entre outras finalidades, para reduzir o volume de materiais e para o afastamento de animais peçonhentos. Essa queima libera grandes quantidades de gases de efeito estufa, alterando a qualidade do ar (COSTA et al., 2016), além da liberação de material particulado. A queima de resíduos sólidos a céu aberto, ou em equipamentos não licenciados, é uma atividade proibida pela PNRS (BRASIL, 2010).

Gomes et al. (2017), observaram que além da queima irregular de RSU em lixões, o ar atmosférico pode ser poluído em função da decomposição da matéria orgânica, que libera odores desagradáveis e gases poluentes, dentre os quais, o mais importante é o gás metano (CH₄), pois apresenta alta toxicidade e contribui para o agravamento do aquecimento global.

Além disso, no processo de biodegradação dos RSU também ocorre a liberação de gases como óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de carbono (CO₂). Ao entrar em contato com a atmosfera, estes gases podem contribuir para o acontecimento de chuva ácida, ser tóxicos para alguns indivíduos e contribuir para o agravamento do efeito estufa (MARQUES, 2011).

3.4 A contaminação do solo em áreas de lixões por metais pesados

A contaminação do solo, de uma forma geral, ocorre pela percolação de um líquido chamado lixiviado nas camadas subsuperficiais do solo. Este líquido pode apresentar em sua composição substâncias danosas, as quais podem causar problemas de toxicidade a animais, espécies vegetais e ao homem (SILVA, 2016).

O lixiviado é "... um efluente resultante da ação enzimática dos microrganismos sobre a matéria orgânica e inorgânica, além dos produtos resultantes da biodegradação e da água de chuva infiltrada nos resíduos sólidos..." (NASCENTES et al., 2015).

Em termos de composição, o lixiviado pode ser constituído por nutrientes, matéria orgânica, ácidos orgânicos voláteis, metais pesados, organoclorados e microrganismos (CASTILHOS JUNIOR, 2006). Nas Tabelas 1 e 2, estão apresentadas composições de lixiviados gerados em aterros da América do Norte e do Brasil, respectivamente.

Tabela 1 - Composição de lixiviados em relação à idade de aterros norte-americanos

PARÂMETROS*	IDADE DO ATERRO SANITÁRIO (ANOS)				
	< 2 ⁽¹⁾	0 – 5 ⁽²⁾	5 – 10 ⁽²⁾	10 – 15 ⁽²⁾	>20 ⁽²⁾
pH	4,75- 7,5	3-6	6-7	7-7,5	7,5
Alcalinidade	1.000-10000	-	-	-	-
DBO₅	2.000-30.000	10.000-25.000	1.000-4.000	50-1.000	< 50
DQO	3.000-60.000	15.000-40.000	10.000-20.000	1.000-5.000	<1.000
NTK	-	1.000-3.000	400-600	75-300	< 50
H-NH₃	10-800	500-1.5000	300-500	50-200	< 30

N-orgânico	10-800	-	-	-	-
Nitrato	5-40	-	-	-	-
Fósforo Total	4-100	100-300	10-100	-	< 10
Cloreto	-	1.000-3.000	500-2.000	100-500	< 100
Sulfato	-	500-2.000	200-1.000	50-200	< 50

Fonte: ⁽¹⁾ Tchobanoglous, Thiesen e Vigil (1993); ⁽²⁾ Farquhar (1989 apus EL-FADEL et al., 2002)

Legenda: *Parâmetros em mg.L⁻¹, exceto pH que é adimensional.

Tabela 2 - Composição do lixiviado gerado em diferentes aterros sanitários brasileiros

PARÂMETROS*	FAIXA MÁXIMA	FAIXA MAIS PROVÁVEL	FVMP (%)
pH	5,7-8,6	7,2-8,6	78
Alcalinidade	750-11.400	750-7.100	69
Total			
DBO ₅	< 20-30.000	< 20-8.600	75
DQO	190-80.000	190-22.300	83
N-NH ₃	0,4-3.000	0,4-1.800	72
N-orgânico	5-1.200	400-1.200	80
Nitrito	0-50	0-15	69
Nitrato	0-11	0-3,5	69
Cloreto	500-5.200	500-3.000	72
Sulfato	0-5.400	0-1.800	77
Ferro	0,01-260	0,01-65	69
Manganês	0,04-2,6	0,04-2,0	79
Cobre	0,005-0,6	0,05-0,15	61
Níquel	0,03-1,1	0,03-0,5	71
Cromo	0,003-0,8	0,003-0,5	89
Cádmio	0-0,26	0-0,065	67
Chumbo	0,01-2,8	0,01-0,5	64
Zinco	0,01-8,0	0,01-1,5	70

Fonte: Souto e Povinelli (2007)

Legenda: *Valores em mg.L⁻¹, exceto pH que é adimensional; FVMP – Frequência de ocorrência dos Valores Mais Prováveis.

A Resolução n. 420 (CONAMA, 2009) estabelece valores para orientação sobre a qualidade do solo quanto às concentrações de substâncias químicas, incluindo os metais pesados. Nesta Resolução, são descritos os VP e VI de cada substância, ficando a cargo dos estados e do Distrito Federal a elaboração de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para as substâncias inorgânicas, conforme a Tabela 3. Sendo assim, os VRQ para os metais pesados, por exemplo, devem ser estabelecidos pelo órgão ambiental estadual responsável.

Tabela 3 - Valores de prevenção e investigação para avaliar a qualidade dos solos

SUBSTÂNCIA*	VP	VI (agrícola)	VI (residencial)	VI (industrial)
Alumínio	-	-	-	-
Antimônio	2	5	10	25
Arsênio	15	35	55	150
Bário	150	300	500	750
Boro	-	-	-	-
Cádmio	1,3	3	8	20
Chumbo	72	180	300	900
Cobalto	25	35	65	90
Cobre	60	200	400	600
Cromo	75	150	300	400
Ferro	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	-
Mercúrio	0,5	12	36	70
Molibdênio	30	50	100	120
Níquel	30	70	100	130
Nitrato (como N)	-	-	-	-
Prata	2	25	50	100
Selênio	5	-	-	-
Vanádio	-	-	-	1000
Zinco	300	450	1000	2000

Fonte: Adaptado de BRASIL (2009)

Legenda: *Valores em mg.L⁻¹; VP - valor de prevenção; VI - valor de investigação.

A Resolução n. 420 do CONAMA (2009) define o VRQ como sendo a concentração de uma substância presente no solo em sua qualidade natural. Já o VP, é a concentração limite, na qual o solo consegue sustentar suas funções principais. O VI, no entanto, é a concentração que, ao ser ultrapassada, apresenta riscos potenciais à saúde humana, sejam estes riscos diretos ou indiretos.

No que diz respeito aos impactos ambientais que a contaminação por metais pesados pode trazer ao meio ambiente, no Quadro 4 apresenta-se um resumo de alguns efeitos causados a partir da exposição de seres aquáticos, como plantas, algas e moluscos a determinados metais.

Quadro 4 - Efeitos dos metais em determinados seres vivos

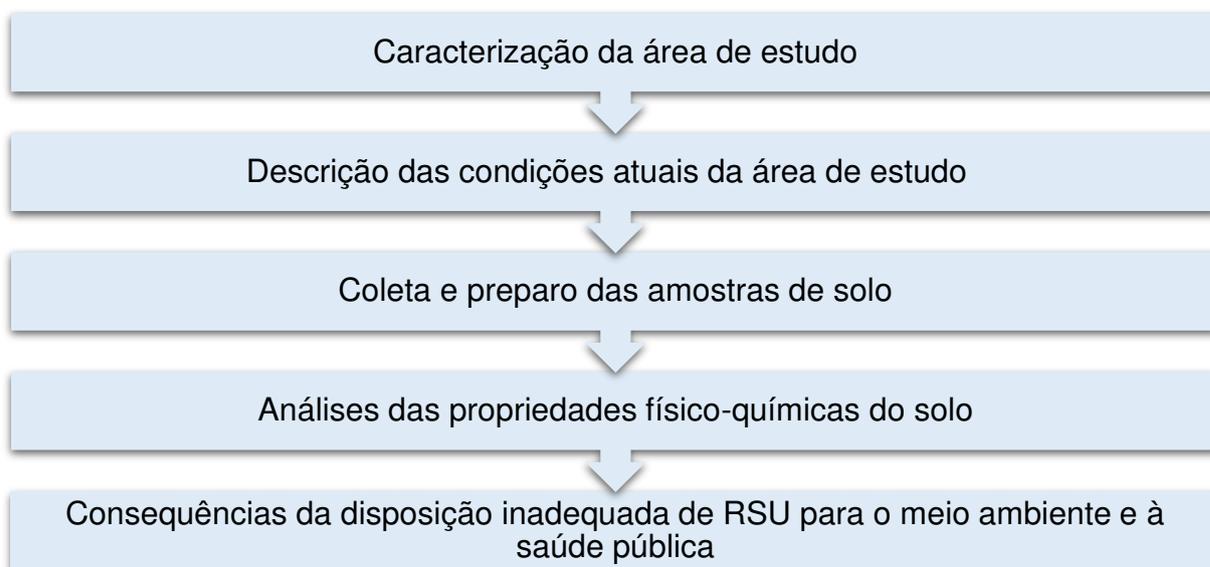
METAIS	SERES VIVOS	EFITOS
Al	- <i>Charophyceae</i> (alga)	- Cloroses, necroses, descolamento do córtex e amolecimento do tálus.
Pb	- <i>Phanerochaete chrysosporium</i> (alga) - <i>Athyrium wardii</i> (planta) - <i>Lolium perenne</i> (planta)	- Alta capacidade de acumulação e alta tolerância. - Inibição do crescimento. - Baixas concentrações: auxilia na remediação, altas concentrações: inibição de crescimento
Cd	- <i>Athyrium wardii</i> (planta) - <i>Danio rerio</i> (peixe)	- Inibição do crescimento - Diminuição da fertilidade e degeneração das células da retina
Cr	- <i>Salmo gairdneri</i> (peixe)	- Inibição da atividade enzimática
Ni	- <i>Acropora aspera</i> , <i>Acropora digitifera</i> , <i>Platygyra daedalea</i> (corais)	- Inibição da fertilização.
Cu	- <i>Acropora aspera</i> , <i>Acropora digitifera</i> , <i>Platygyra daedalea</i> (corais).	- Inibição da fertilização.
Hg	- <i>P. corethrurus</i> (anelídeo) - <i>Enguias europeias</i> - <i>Corbicula fluminea</i> (molusco bivalve)	- Movimento e habilidade, inibição de crescimento, reprodução e desenvolvimento - Bioacumulação e baixa eficiência de reprodução. - Inibição de atividade enzimática, hipóxia e diminuição da energia.

Fonte: Marques e Américo-Pinheiro (2018)

4 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas metodológicas desenvolvidas para a execução deste trabalho encontram-se apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma com as etapas metodológicas



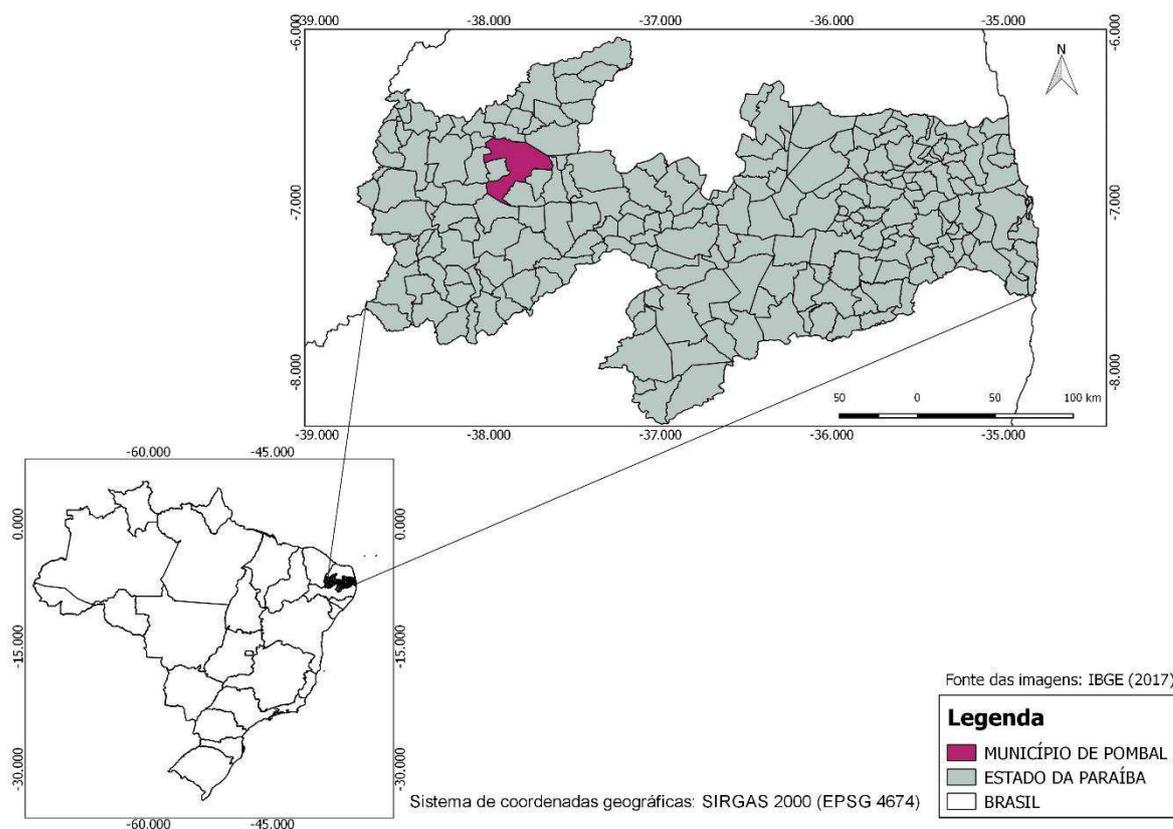
Fonte: Autoria própria (2019)

4.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na área de um lixão localizado na cidade de Pombal, Estado da Paraíba, Brasil, conforme ilustrado na Figura 6.

O referido município está situado no Sertão Paraibano e faz parte da microrregião de Sousa-PB, podendo ser localizado a partir das seguintes coordenadas de latitude 06° 46' 13" S e longitude 37° 48' 06" W. Além disso, Pombal - PB situa-se a cerca de 385 km da capital do estado João Pessoa, possui uma área territorial de 889,493km², 32.110 habitantes e uma densidade populacional de 36,13 hab/km² (IBGE, 2010). O município está localizado na bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, a qual tem a sua gestão compartilhada entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

Figura 6 - Mapa de Localização do município de Pombal-PB em relação ao Estado da Paraíba e ao Brasil



Fonte: Autoria própria (2019)

Em termos da fisiográfica, o município de Pombal - PB faz parte da Depressão Sertaneja, a qual representa a paisagem típica do semiárido nordestino, sendo caracterizada por processos de formação de superfícies aplainadas, onde predomina o relevo suave-ondulado. No que diz respeito aos tipos de solos, os principais são os Planossolos, Brunos não Cálcicos, Podzólicos e Litólicos (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 2005).

Em relação ao clima do município, segundo a classificação Köppen, este é classificado como BSh (semiárido, quente e seco), sendo a precipitação média anual de 431,8mm (SOUSA, et al., 2018; CPRM, 2005).

4.2 Descrição das condições atuais da área de estudo

A descrição das condições da área de estudo foi realizada a partir de visitas de campo, compreendidas entre os meses de novembro de 2018 a fevereiro de 2019. Para isso, foram feitas inspeções de campo e a fotodocumentação de diferentes aspectos da área do lixão e seu entorno, tais como: presença de animais, presença

de corpos d'água naturais ou artificiais, tipos de resíduos que estavam sendo depositados na área, a presença de catadores de materiais recicláveis e a forma como os catadores estavam manuseando os RSU.

Ademais, foi realizado o georreferenciamento da área lixão de Pombal - PB, com auxílio de um GPS, da marca *Garmim*, modelo GPSMAP 64s. Utilizando o *software QGIS* (versão 2.18) como ferramenta e imagens de satélite fornecidas pela aplicação *GoogleEarth* (2019), fez-se a delimitação da área total e potencial do lixão avaliado.

4.3 Coleta e preparo das amostras de solo

A coleta das amostras de solo foi realizada no mês de abril de 2019, em meio ao período chuvoso da região, visto que, nesse período, os processos de lixiviação na massa de RSU acontecem de forma mais intensa. Dessa forma, o solo estava úmido em decorrência das precipitações que ocorreram em dias anteriores a coleta.

A amostragem se deu de forma aleatória, observando-se a acessibilidade aos locais de coleta. Para a coleta das amostras de solo, inicialmente, realizou-se a limpeza de uma área de 0,30mx0,30m, utilizando uma enxada para a retirada superficial dos RSU e da vegetação (Figura 7A). Com o auxílio de um trado holandês as amostras de solo foram coletadas numa profundidade de 0-0,2m, conforme apresentado na Figura 7B.

Figura 7 - Coleta do solo da área de lixão: (A) Limpeza da área para coleta; (B) Coleta da amostra com trado holandês e armazenamento em saco plástico



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Foram selecionados 9 (nove) pontos para a amostragem simples de solo na área potencial de depósito de RSU no lixão de Pombal - PB, que se encontram espacializados na Figura 8.

Figura 8 - Espacialização dos pontos de coleta em relação a área do lixão

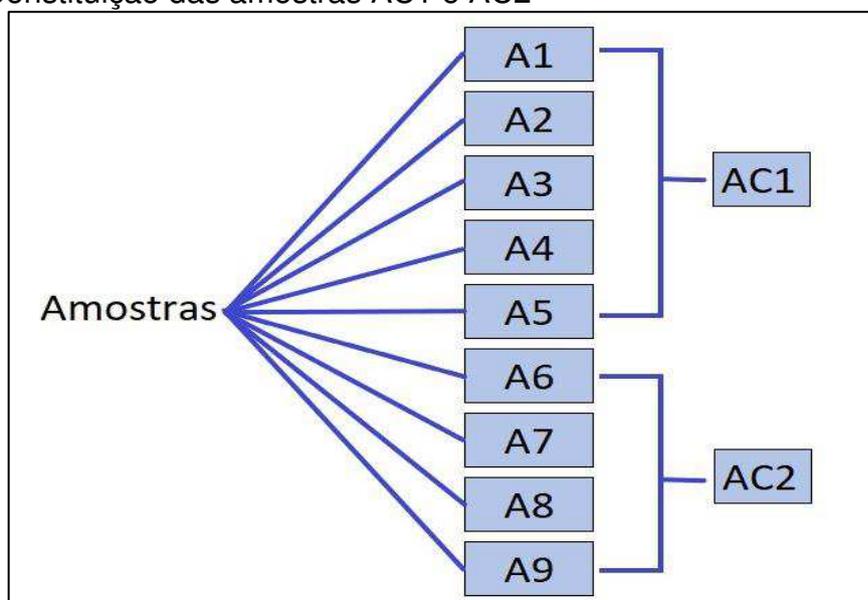


Fonte: Autoria própria (2019)

Além disso, coletou-se uma amostra simples de solo em uma Área Florestada (AF) próxima ao lixão, a qual não sofre influência significativa dessa atividade, para servir de parâmetro de comparação, visto que o estado da Paraíba ainda não dispõe dos valores de referência de qualidade para os metais que foram analisados. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com identificação e encaminhadas ao Laboratório de Resíduos Sólidos (LRS), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *campus* de Pombal - PB.

Ao chegar no LRS, as amostras foram homogeneizadas e, após isso, das nove amostras simples de solo coletadas na área do lixão, foram produzidas duas amostras compostas, denominadas de: Amostra Composta 1 (AC1) – constituída pelas amostras simples de 1 a 5 – representa a parte final do lixão, onde o acúmulo de resíduos e lixiviado é mais intenso; Amostra Composta 2 (AC2) – formada pelas amostras simples de 6 a 9 – representa a área mais próxima do galpão, onde os catadores trabalham. Na Figura 9, apresenta-se o esquema de formação das amostras composta e na Figura 10 estão registradas as três amostras (AC1, AC2 e AF) analisadas neste trabalho.

Figura 9 - Constituição das amostras AC1 e AC2



Fonte: Autoria própria (2019)

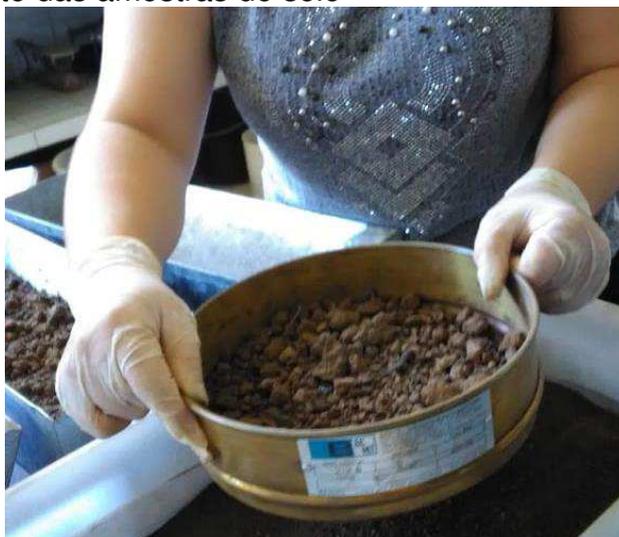
Figura 10 - Amostras de solo coletadas no lixão de Pombal – PB e na área florestada



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Após a homogeneização, as amostras foram preparadas para a análise de suas propriedades físico-químicas, seguindo os procedimentos propostos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM, 2013). Sendo assim, o solo úmido foi conduzido à estufa de secagem, a 40°C, por um período de 48h. Em seguida, foi feito o destorroamento manualmente, com o auxílio de almofariz e pistilo, e, por fim, o peneiramento em uma peneira de malha igual a 2,36mm de diâmetro (Figura 11).

Figura 11 - Peneiramento das amostras de solo



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Para a determinação das concentrações dos metais pesados, as amostras AC1, AC2 e AF foram submetidas ao processo de digestão em ácido clorídrico (HCl) 0,1M, seguido de agitação em Mesa Agitadora Orbital ou *Shaker* da marca *THELGA* e filtragem em papel de filtro duplo, para a obtenção do extrato líquido das citadas

amostras de solo (USEPA, 1998; OLIVEIRA, 2012). Logo, a preparação desse extrato se deu da seguinte maneira: (i) em uma balança analítica foram pesados 0,4 g de solo de cada amostra, em triplicata, e transferidos para erlenmeyers com capacidade de 250 mL; (ii) com o auxílio de uma proveta foi acrescentado em cada erlenmeyer 20mL de HCl (Figura 12A); (iii) depois disso, as amostras foram submetidas à agitação por 2h (Figura 12B); (iv) passado o período de agitação, foi realizado o processo de filtração das amostras (Figura 12C).

Figura 12 - Preparação das amostras para análise de metais: (A) Amostras de solo com HCl; (B) Agitação das amostras; (C) Filtragem das amostras.



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

4.4 Análises das propriedades físico-químicas do solo

Neste estudo, foram feitas análises de propriedades físico-químicas das amostras de solo AC1, AC2 e AF. No Quadro 5, apresentam-se as propriedades analisadas, bem como, a metodologia empregada.

Quadro 5 - Propriedades físico-químicas avaliadas nas amostras AC1, AC2 e AF.

Propriedade analisada	Metodologia
Sólidos Voláteis (SV) (%)	Adaptado de WHO (1979)
Carbono orgânico (CO) [mg/kg]	EMBRAPA (1997)
Matéria orgânica (MO) [mg/kg]	
pH (H ₂)	
Cálcio (Ca) [mg/kg]	
Magnésio (Mg) [mg/kg]	
Nitrogênio (N) [mg/kg]	
Condutividade Elétrica (CE) [mmhos/cm]	APHA (2012)
Metais (Zn, Mn, Fe, Pb, As, Cd e Cr)	

Fonte: Autoria própria (2019)

O ensaio de Sólidos Voláteis (SV) foi realizado adaptando-se a metodologia de WHO (1979). Portanto, foram selecionados cadinhos de porcelana e anotados os respectivos pesos; em seguida, adicionou-se solo e fez-se uma nova pesagem; após isso, os cadinhos foram levados à estufa a 105°C por 24h. Depois desse período, foi feita novamente a pesagem dos cadinhos e as amostras foram direcionadas à mufla, para calcinação (550°C por 30min). Para finalizar, os cadinhos foram pesados mais uma vez e os SV determinados utilizando a Equação (1):

$$SV = \frac{(MS-MC)}{MS} * 100 \quad (1)$$

Onde:

SV: Sólidos voláteis (%);

MS: Massa da amostra seca em estufa (g);

MC: Massa da amostra calcinada (g).

No que se refere as propriedades químicas: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Hidrogênio (H), Alumínio (Al), Carbono Orgânico (CO), Matéria Orgânica (MO), Nitrogênio (N), pH a água e Condutividade Elétrica (CE), suas concentrações foram mensuradas no Laboratório de Irrigação e Salinidade, da UFCG, *campus* sede.

As análises dos metais zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e chumbo (Pb), foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica, no espectrofotômetro AA240FS da marca *Variam*; enquanto arsênio (As), cádmio (Cd) e cromo (Cr), no espectrofotômetro da marca *PerkinElmer*, modelo AAnalyst 200.

4.5 Consequências da disposição inadequada de RSU ao meio ambiente e à saúde pública

Para a avaliação das consequências que a disposição inadequada de RSU podem apresentar ao meio ambiente e à saúde pública foi realizado um levantamento bibliográfico em trabalhos acadêmicos (artigos científicos, dissertações entre outros) que tratam sobre o assunto, levando em consideração os resultados obtidos nas análises das propriedades físico-químicas do solo na localidade estudada, bem como as observações das condições da área nas visitas de campo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições atuais da área de estudo

lixão de Pombal – PB está localizado a 35m da Rodovia Transamazônica (BR 230), a 1,2km do rio Piranhas (Figura 13) e possui uma área total de 25,57ha. É importante destacar que, o referido lixão se encontra ao lado de um loteamento, o qual se encontra em processo de implantação de residências. Na Figura 14, observa-se a proximidade entre as residências e o lixão estudado (local de despejo de restos de animais).

Figura 13 - Localização do lixão de Pombal - PB em relação a BR 230, ao rio Piranhas e ao loteamento populacional



Fonte: Autoria própria (2019)

No lixão estudado, verifica-se, ainda, pequenas áreas com vegetação nativa, as quais são, em grande maioria, envolvidas por resíduos. Nas inspeções de campo, também, foi possível perceber o acúmulo de água em vários pontos, devido às chuvas que precipitaram sobre a região, como ilustrado na Figura 15.

No que diz respeito à flora do local, é possível perceber presença de vegetação nativa, tais como Jurema-preta (*Mimosa hostilis*), Angico branco (*Anadenanthera colubrina*) e Algaroba (*Prosopis juliflora*) (GOMES et al., 2017). Com relação à fauna, há uma predominância da presença de animais domésticos, podendo observar

frequentemente a presença de cachorros e cavalos, que vão ao local em busca de alimento.

Figura 14 - Local de despejo de restos de animais e em destaque residências construídas no loteamento



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 15 - Locais de acúmulo de água na área potencial de disposição dos RSU no lixão de Pombal - PB: (A) Lago formado devido às precipitações; (B) Acúmulo de água em valas abertas no solo pelo processo erosivo.

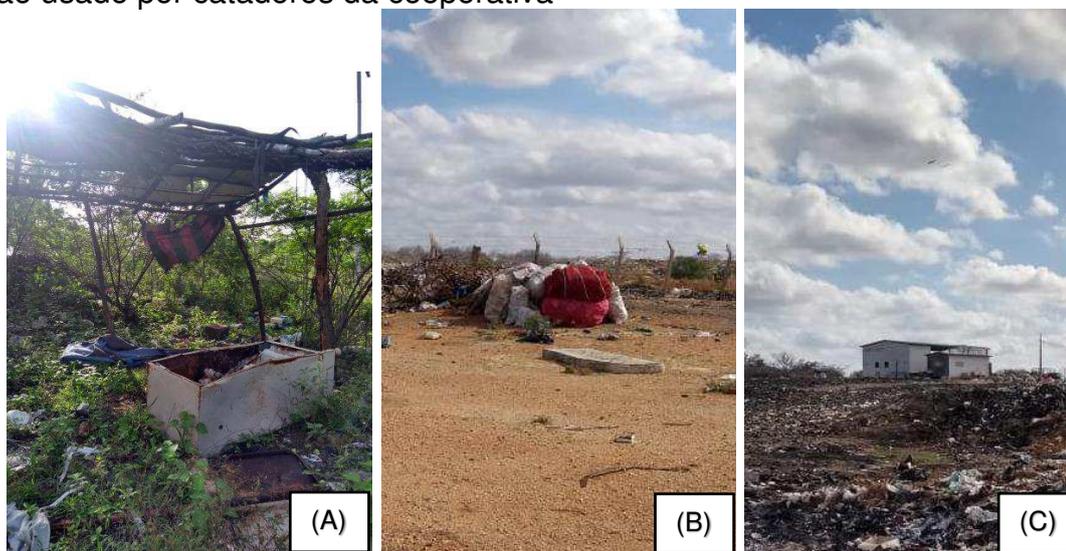


Fonte: Arquivo pessoal (2019)

No que se refere ao “trabalho” de catação de materiais recicláveis realizado dentro da área do lixão de Pombal - PB, foi possível observar a existência de um galpão, no qual os catadores que fazem parte da cooperativa realizam a separação e o armazenamento do material coletado. No entanto, nem todos os catadores são membros dessa cooperativa. Estes, por sua vez, improvisam formas de armazenar os materiais recicláveis coletados, construindo barracos e utilizando sacos ou envolvendo grandes volumes de resíduos em tecidos. Na Figura 16, mostram-se as

formas de armazenamento dos resíduos recicláveis pelos catadores que não são membros da cooperativa.

Figura 16 - Formas de armazenamento de resíduos recicláveis: (A) Barracos improvisados; (B) Resíduos armazenados em sacos e pacotes feitos com tecido; (C) galpão usado por catadores da cooperativa

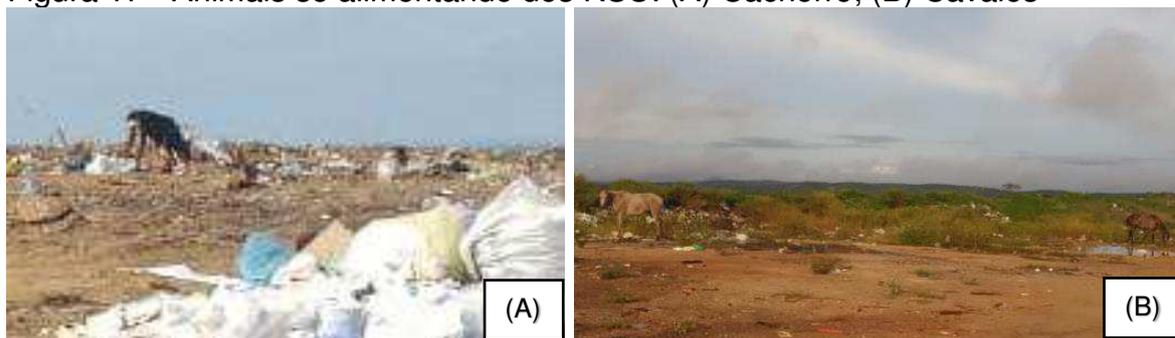


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

É possível observar a presença de animais, como na Figura 17, que são vetores de doenças, tais como: moscas (*musca domestica*) e outros insetos; cachorros (*canis lupus familiaris*); cavalos (*equus caballus*); aves, como garças (*ardeidae*) e carcarás (*caracara plancus*). Estes animais se alimentam dos resíduos dispostos no lixão de Pombal - PB, e, no caso dos cachorros, estes mantêm contato direto com os catadores de materiais recicláveis. Os insetos, por sua vez, transportam microrganismos para outras localidades. Além disso, o acúmulo de RSU torna-se um abrigo para animais peçonhentos, a exemplo de cobras de diferentes espécies (família *Elapidae*) e escorpiões (ordem *Scorpiones*) que buscam alimento e abrigo.

Uma prática comum no lixão de Pombal - PB, é a queima dos resíduos que não são vendidos ou não podem mais ser aproveitados pelos catadores. Durante as visitas *in loco*, antes do período chuvoso da região, foi possível perceber que os RSU depositados na área potencial do lixão estavam sendo queimados. Devido a essa queima, notou-se, durante as visitas realizadas, a ausência de odores desagradáveis resultantes do processo de biodegradação, justamente pelo fato de grande parte dos resíduos, incluindo a parte orgânica, estarem sendo queimados

Figura 17 - Animais se alimentando dos RSU: (A) Cachorro; (B) Cavalos



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Em função do ateamento do fogo nos RSU dispostos na área do lixão, é bastante comum perceber, na zona urbana do município, uma pluma de fumaça formada por essas queimadas (Figura 18), acarretando, assim, a ocorrência de diversos desconfortos para a comunidade.

Figura 18 – Pluma de fumaça causada pela queima de resíduos na área de estudo



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

A queima dos resíduos a céu aberto, ou em equipamentos não licenciados, é uma prática proibida pela PNRS (BRASIL, 2010). Esta prática, além de liberar fumaça e material particulado é responsável pela liberação de gases de efeito estufa e outras substâncias. O desconforto causado por esta prática atinge a população, ocasionando problemas respiratórios e até prejuízo na visibilidade, o que se torna um grande inconveniente nesta área de estudo, visto que, o lixão da cidade de Pombal - PB situa-se às margens da BR 230. No que diz respeito aos problemas de saúde, no Brasil, em

2009, 13,8% dos casos de internações foram por motivos de problemas no sistema respiratório (DATASUS, 2009), o que pode ser facilmente relacionado a alteração da qualidade do ar causada pelas ações antrópicas.

5.2 Propriedades físico-químicas do solo

Os resultados das propriedades físico-químicas analisadas nos solos das amostras AC1, AC2 e AF, estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas do solo para as amostras AC1, AC2 e AF

PARÂMETROS	AMOSTRAS		
	AC1	AC2	AF
SV [%]	1,69	1,56	1,37
Carbono orgânico [%]	0,91	1,36	0,77
Matéria orgânica [%]	1,57	2,34	1,33
Matéria orgânica [mg.kg ⁻¹]	15.700	23.400	13.300
pH (H ₂ O)	7,89	7,76	7,25
Cond. Elétrica [dS.m ⁻¹]	1,51	0,75	0,32
Cálcio [mg.kg ⁻¹]	1.354	1.224	1.346
Magnésio [mg.kg ⁻¹]	381,5	210,2	461,7
Nitrogênio [mg.kg ⁻¹]	900	1400	800

Fonte: Autoria própria (2019)

Legenda: AC1: Amostra Composta 1; AC2: Amostra Composta 2; AF: Área Florestada.

Verifica-se na Tabela 4, que os resultados obtidos para os SV das amostras AC1, AC2 e AF foram de 1,69%, 1,56% e 1,37%, respectivamente, sendo o solo das amostras AC1 e AC2 os que apresentaram as maiores percentagens, os quais estão localizados dentro da área do lixão, conforme pode ser visto na Figura 8. De acordo com Araújo (2017) e Silva (2017), os sólidos voláteis representam indiretamente a concentração de MO no solo. Diante disso, pode-se notar que, os valores obtidos para os SV condizem com as percentagens encontradas para a matéria orgânica.

Ainda, baseando-se na Tabela 4, observa-se que a partir dos dados de Carbono Orgânico (CO), é possível determinar as concentrações de Matéria Orgânica (MO), multiplicando-se pelo fator 1,724 (EMBRAPA, 2011). Dessa forma, é possível verificar que os dados de CO corroboram com os dados de SV e MO obtidos, visto

que, ao multiplicar os valores das amostras pelo fator de conversão obtém-se os dados de MO para as amostras AC1, AC2 e AF de 1,57%, 2,34% e 1,33%, respectivamente.

No que diz respeito aos dados de MO percebe-se uma maior concentração na área do lixão, com destaque para a amostra de solo AC2 que apresenta 2,34%. É importante salientar que, em alguns pontos de coleta para formação dessa amostra composta observou-se uma coloração escura no solo, característica de um solo rico em matéria orgânica. Estes dados foram semelhantes aos encontrados por Korf et al. (2008), que aferiram uma porcentagem de 1,9% em um solo de uma área de lixão desativada. Mamedes (2017), ao estudar uma área de lixão, também, desativada, obteve resultados para MO entre 1,39% e 3,3%.

A maior concentração de MO na área do lixão em relação a área natural – cuja porcentagem foi a menor entre as três amostras, a saber 1,33% ou $13.300 \text{ mg.kg}^{-1}$ – se dá, principalmente, pela grande quantidade de Resíduos Orgânicos (RO) depositados no local, visto que, de acordo com os resultados apresentados no Quadro 3 (composição gravimétrica), os RSU gerados na cidade de Pombal - PB compõem-se de 35% de RO. Esses resíduos são facilmente degradáveis, e, em função disso, é gerado o lixiviado (rico em MO) que percola nas camadas do solo.

O pH para a AC1 foi de 7,89, AC2 de 7,76 e AF de 7,25, sendo possível perceber unidades em torno da basicidade para as três amostras e valores mais elevados para AC1 e AC2 (amostras de dentro da área do lixão). Casos semelhantes a este foram observados por Nascimento (2017) que obteve uma média de 7,36 neste parâmetro para a área do lixão e por Medeiros et al. (2008) que aferiu um pH igual a 7,4 na área do lixão e até uma distância de 200m deste.

No que diz respeito à Condutividade Elétrica (CE), aferiu-se para AC1, AC2 e AF: $1,51 \text{ dS.m}^{-1}$, $0,75 \text{ dS.m}^{-1}$ e $0,32 \text{ dS.m}^{-1}$, respectivamente. Todas as amostras de solo analisadas apresentaram valores baixos de condutividade elétrica, indicando indiretamente solos com baixas concentrações de íons, corroborando, dessa forma, com os teores de metais pesados determinados na Tabela 5.

Os teores de Cálcio (Ca) nas amostras de solo não variaram significativamente entre si, sendo para: AC1 – 1.354 mg.kg^{-1} ; AC2 – 1.224 mg.kg^{-1} e; AF – 1.346 mg.kg^{-1} . Sendo assim, é possível observar que não houve uma diferença significativa de teores de Ca entre as amostras AC1 e AF. O Ca é considerado um macronutriente

secundário para o crescimento de espécies vegetativas. Um de seus benefícios para as plantas é a influência indireta na diminuição da acidez do solo, o que reduz a solubilidade e a toxidez de metais pesados como Mn, Cobre (Cu) e Al (International Plant Nutrition Institute - IPNI, 1998).

Ainda relacionado as concentrações de Ca, os valores encontrados por Medeiros et al. (2008), em uma investigação no lixão de Engenheiro Coelho-SP, foram superiores aos obtidos neste estudo, sendo aferido uma concentração de 1.760 mg.kg⁻¹. Enquanto Souza et al. (2014) em um estudo sobre a caracterização físico-química de solos com diferentes usos no município de Pombal - PB, mensuraram para uma área natural de Caatinga um teor de 840mg.kg⁻¹, valor este, significativamente, inferior ao apresentando neste estudo. Assim sendo, é possível perceber uma riqueza de macronutrientes no solo do lixão, provavelmente, devido ao processo de degradação biológica de resíduos orgânicos que contém Ca em sua composição, a exemplo dos derivados de leite.

As concentrações de Magnésio (Mg) foram de 381,5 mg.kg⁻¹, 210,2 mg.kg⁻¹ e 461,7 mg.kg⁻¹ para as amostras AC1, AC2 e AF, de modo respectivo. Resultados semelhantes a estes foram obtidos por Nascimento (2017), em um estudo realizado no lixão desativado do município de Brejinho-RN, no qual obteve concentrações entre 303,75 mg.kg⁻¹ e 577,12 mg.kg⁻¹, com uma média de 479,92 mg.kg⁻¹. Assim como o Ca, o Mg é considerado um macronutriente secundário, no entanto, é comum que os solos apresentem maiores quantidades de Ca do que Mg, visto que o Mg não é fortemente absorvido pelas argilas e pela MO, fazendo com que esse macronutriente seja mais suscetível a ser retirado da superfície do solo no processo de lixiviação (IPNI, 1998).

Quanto aos resultados determinados para o N nas amostras AC1, AC2 e AF, as concentrações foram de 900 mg.kg⁻¹, 1400 mg.kg⁻¹ e 800 mg.kg⁻¹, respectivamente. Ao comparar os resultados de MO e N é possível perceber que existe uma interação entre as propriedades, visto que, a amostra que apresenta maior teor de MO também apresenta maior concentração de N, e a amostra que apresenta menor concentração de MO, apresenta menor teor de N. Isso acontece devido à relação diretamente proporcional entre estas propriedades, uma vez que a MO ao ser biodegradada libera N, que é um macronutriente para o solo (IPNI, 1998; BARROS, 2013).

Em se tratando das concentrações de metais pesados, Na Tabela 5 estão descritos os teores destas substâncias para as três amostras analisadas (AC1, AC2 e AF)

Tabela 5 - Concentrações de metais pesados para as amostras AC1, AC2 e AF

METAL	AMOSTRAS		
	AC 1	AC 2	AF
Al [mg.kg ⁻¹]	0	0	0
As [mg.L ⁻¹]	< 0,1	< 0,010	< 0,1
Cd [mg.L ⁻¹]	< 0,005	< 0,010	< 0,005
Cr [mg.L ⁻¹]	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Zn [mg.L ⁻¹]	0,081	0,0521	---
Mn [mg.L ⁻¹] ¹	0,896	0,976	0,94
Fe [mg.L ⁻¹]	5,43	6,034	5,682
Pb [mg.L ⁻¹]	0,97	2,07	1,54

Fonte: Autoria própria (2019)

Legenda: AC1: Amostra Composta 1; AC2: Amostra Composta 2; AF: Área Florestada.

Observando os dados que estão dispostos na Tabela 5, é possível perceber que as concentrações de As, Cd, e Cr, para todas as amostras, e de Zn, para a amostra AF, foram menores do que o limite de leitura do equipamento no qual foram realizadas as análises e que as concentrações de Al chegaram a zero. Resultados semelhantes para Cd foram obtidos por Milhome et al. (2018) e Oliveira et al. (2016), da mesma forma, Mamedes (2017) obteve resultados semelhantes para o elemento Al. Como previamente mencionado, as grandes quantidades de Ca no solo, são capazes de inibir a solubilização e toxidez de metais como Al e Mn, o que, possivelmente, pode explicar as baixas concentrações destes elementos nas amostras analisadas.

Além disso, é possível destacar que o Fe foi o metal que apresentou maiores concentrações, obtendo valor máximo de 6,034mg.L⁻¹ na amostra AC2. Já os elementos Zn, Mn e Pb apresentaram concentrações baixas. Quanto às fontes de Zn e Mn uma das mais importantes é o descarte de pilhas em lixão, visto que os principais constituintes das pilhas de zinco-carvão e alcalinas são Zn e Mn (AGOURAKIS et al., 2006). As baixas concentrações de Zn e Mn podem ser explicadas pela ausência de grandes quantidades de materiais como pilhas e baterias na área do lixão, o que pôde ser percebido durante as visitas de campo na área de estudo.

Comparando-se os resultados descritos nas Tabelas 5 e 3, é possível perceber que as concentrações de todas as substâncias se encontram menores, inclusive, dos VP definidos pela Resolução n. 420 (CONAMA, 2009).

As baixas concentrações de metais podem ser explicadas por alguns fatores, tais como: o trabalho intenso dos catadores de materiais recicláveis que reduzem significativamente o volume de resíduos que ficam definitivamente na área do lixão. Outro aspecto é o volume de chuvas que atingiram a região durante o período de realização deste trabalho, o que pode ter ocasionado o carreamento de alguns destes elementos para outras camadas do solo.

Outra explicação para as baixas concentrações dos metais analisados está relacionada ao pH básico dos solos avaliados, sendo que quanto mais básico o pH do meio, menor a solubilidade dos metais. Rieuwerts et al. (2006) afirmam que, existe uma relação inversa entre o pH e a solubilidade do metal, fato verificado neste estudo.

5.3 Consequências da disposição inadequada de RSU

Os impactos ambientais causados pela disposição inadequada de RSU são muitos e atingem os mais diversos meios. Nos tópicos a seguir, foram descritas algumas dessas consequências que atingem o meio ambiente e a saúde pública.

5.3.1 Consequências para o meio ambiente

Em se tratando das consequências sobre o meio ambiente foi possível perceber, por meio das visitas de campo e pesquisas bibliográficas, que esta atividade causa impactos negativos aos meios biótico, abiótico e antrópico.

Dessa forma, para o meio abiótico destaca-se os seguintes potenciais impactos: aceleração dos processos erosivos, diminuição da qualidade do solo, compactação do solo, poluição visual, redução na qualidade do ar pela liberação de gases devido a biodegradação da MO e pela queima dos resíduos, intensificação do efeito estufa e prováveis alterações da qualidade da água subterrânea e superficial (em corpos hídricos próximos ao lixão).

Em relação ao meio biótico, é possível apontar os potenciais impactos a seguir: afugentamento da fauna local devido ao desmatamento da área, aumento na

quantidade de micro e macrovetores de doenças, contaminação dos animais que se alimentam dos RSU e alteração na atividade microbiana do solo.

Os potenciais impactos observados que atingem a sociedade, ou seja, o meio antrópico, são: desvalorização dos terrenos ao redor da área, aumento nos casos de doenças respiratórias, exposição dos catadores a doenças infecciosas e respiratórias e segregação social do grupo de catadores.

Outros estudos, realizados em áreas de lixão, identificaram impactos semelhantes a estes nos meios biótico, abiótico e antrópico (GOMES et al., 2015; COSTA et al., 2016; ARAÚJO, 2015).

5.3.2 Consequências sobre a saúde pública

Um dos mais significantes problemas da disposição inadequada de RSU é a possibilidade da contaminação do solo e, posteriormente, da água subterrânea por metais pesados devido seu poder de bioacumulação na cadeia trófica. Pois, apesar destes elementos ocorrerem de forma natural no meio ambiente e alguns deles serem essenciais para a manutenção da vida, em altas concentrações trazem consequências severas ao meio ambiente e à saúde humana, causando doenças como tipos de câncer, doença de Wilson e mal de Minamata entre outros (CHAVES, 2008).

Dessa forma, faz-se importante destacar a influência dos metais pesados na saúde humana, como é o caso do Pb o qual tem um efeito negativo sobre diversos órgãos e sistemas do corpo humano, tais como a encefalopatia – leva crianças e adultos a sérias disfunções neurocomportamentais e psicológicas –, doenças renais, além do comprometimento do desenvolvimento fetal (MOREIRA e MOREIRA, 2004).

Outra influência negativa foi observada por Ferreira et al. (2008) que, ao comparar resultados obtidos por diversos autores, chegou à conclusão de que a exposição ao Al pode causar intervenções nos processos neurofisiológicos responsáveis pela degeneração do cérebro, característica do mal de Alzheimer.

Além disso, alguns dos poluentes resultantes da queima dos RSU e do processo de biodegradação da MO também produzem efeitos adversos na saúde, tais como: irritação das vias respiratórias, inflamação pulmonar, irritações na mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior (KUNZLI et al., 2010 apud ARBEX et al., 2012).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que:

- O lixão do município de Pombal - PB é caracterizado pela proximidade à zona urbana, a BR 230 e ao Rio Piranhas;
- Nas visitas *in loco*, notou-se a presença de catadores de materiais recicláveis em condições insalubres de trabalho, presença de vetores de doenças, o acúmulo de águas de chuvas, e a constante queima de RSU;
- As propriedades físico-químicas analisadas nos solos (AC1 e AC2) da área do lixão de Pombal-PB, foram afetadas, especialmente, pela grande quantidade de RO, que exerceu influência nas seguintes propriedades: matéria orgânica, cálcio e nitrogênio;
- Quanto às concentrações dos metais pesados avaliados, estas encontram-se em níveis aceitáveis, conforme a legislação ambiental; contudo, estudos mais aprofundados a cerca dessa temática, em outros horizontes do solo, faz-se necessário a fim de afirmar se existe ou não a contaminação por estes elementos;
- Os impactos ambientais negativos atingiram os meios biótico, abiótico e antrópico, reduzindo tanto a qualidade ambiental da área de influência, quanto a qualidade de vida das pessoas que vivem nas áreas circunvizinhas;
- A área de estudo, por tratar-se de uma atividade ilegal, apresenta irregularidades que colocam em risco a saúde dos catadores do local e da população circunvizinha, sendo os maiores riscos a atração de vetores de doenças e a poluição atmosférica causada pela queima constante dos RSU;
- Espera-se que este estudo seja utilizado como subsídio para a criação de políticas públicas de prevenção à contaminação do solo e de gerenciamento de resíduos sólidos, e, ainda, como embasamento para o desenvolvimento de novas pesquisas sobre resíduos sólidos urbanos;
- Propõem-se para estudos futuros que sejam feitas análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água e do lixiviado da área de influência do lixão.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas - **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. NBR 8419. 1992, ABNT, Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. NBR 10.005. 2004, ABNT, Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. NBR 10.006. 2004, ABNT, Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – **Resíduos Sólidos**. NBR 10.004. 2004, ABNT, Rio de Janeiro.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2018.
- AGOURAKIS, Demetrios Chiuratto et al. Comportamento de Zinco e Manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 960-964, 2006.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: Ed. APHA, 2012, 1496 p.
- AQUINO, Afonso Rodrigues de et al. Sustentabilidade ambiental. 1 ed. **Rede Sirius; OUERJ**. Rio de Janeiro, 167p, 2015.
- ARAÚJO, Cristiane Souza de. **Qualidade do solo da camada de cobertura final em área de disposição de resíduos no semiárido tropical**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- ARAUJO, Pablo da Silva. **Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande
- ARAÚJO, Tiago Batista de. **Avaliação de impactos ambientais em um lixão inativo no Município de Itaporanga-PB**. 2015. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual da Paraíba.
- ARBEX, Marcos Abdo et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n.5, 2012.
- AUTGLASS – Instituto Autoglass. **Panorama da adequação das regiões metropolitanas à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Vila Velha – ES, 2017.
- BAHIA, Ministério Público. **Desafio do lixo: problemas, responsabilidades e perspectivas: Relatório 2006/2007**. Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Justiça de Meio Ambiente. Salvador, 2007, 125 p.

BARROS, José Deomar de Souza. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Revista Polêmica**, v. 12, n. 2, 2013.

BENDITO, Bianca Pietsch Cunha et al. Diagnóstico da degradação ambiental na área de depósito inadequado de resíduos sólidos de Porto Nacional–TO. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 3, 2017.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade e POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos. Editora EESC/USP, São Carlos, 1999, 109 p.

BORTOLI, Mari Aparecida; REIS, Carlos Nelson dos; TELLES, Heloisa. Condições de vida dos catadores de materiais recicláveis e estratégias de enfrentamento a exploração do trabalho. **Anais do Encontro Internacional e Nacional de Política Social**, v. 1, n. 1, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário oficial da União**, 02 de agosto de 2010.

BRASIL. Portaria da Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Ministério da saúde**, 27 de setembro de 2017

BRASIL. Projeto de Lei n. 2.289. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Senado Federal**, 2015.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **ABES**. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 494p, 2006.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4ª ed. São Paulo, 2018, 316 p.

CHAVES, Edson Valente. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e polo industrial de Manaus pelas espécies de planta *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata***. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas.

CHENG, Hefa; HU, Yuanan. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in China. **Bioresource technology**, v. 101, n. 11, p. 3816-3824, 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antropogênicas. **Diário Oficial da União**, 30 de dezembro de 2009.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e detritivos ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 de março de 2005.

COSTA, Tancio Gutier Ailan et al. Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 4, p. 79-86, 2016.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Diagnóstico do Município de Pombal**. CPRM/PRODEEM, 2005.

DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. **Cadernos de informação de saúde**. 2009

DIAS, Sylmara Gonçalves. O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. **Sociedade e gestão**, v. 11, n. 1, p. 16-20, 2012.

EL-FADEL, Mutasem et al. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. **Waste Management**, v. 22, p. 269-282, 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro – Embrapa Solos, 2011, p.230.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E), 1997.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Manual de coleta de solos para valores de referência de qualidade no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2013, 15 p.

FERREIRA, João Alberto; ANJOS, Luiz Antonio dos. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 689-696, 2001.

FERREIRA, Pricilla Costa et al. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. **Revista Latino-am Enfermagem**, v. 16, n. 1, 2008.

FIGUEIREDO, Fábio Fonseca. GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL E SEUS REBATIMENTOS EM NATAL, BRASIL. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 12, n. 2, 2013.

GALDINO, Silvana De Jesus; MARTINS, Carlos Humberto. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional de um município de pequeno porte. **Tecno-Lógica**, v. 20, n. 1, p. 01-08, 2016.

GOMES, Naiara Angelo et al. Diagnóstico ambiental qualitativo no “lixão” da cidade de Pombal, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 1, p. 61-67, 2017.

GOMES, Naiara Angelo et al. Identificação e análise dos impactos ambientais em um “lixão”: Estudo de caso no município de Pombal - PB. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, p. 1482-1493, 2015.

GUIZARD, João Batista Ricardo et al. Aterro sanitário de Limeira: diagnóstico ambiental. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 3, n. 1, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008**. Rio de Janeiro, 218 p., 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases Cartográficas contínuas**. 2017

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, 2012.

IPNI – International Plant Nutrition Institute. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2ª edição. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

KORF, Eduardo Pavan et al. Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo-RS. **Revista de Ciências Ambientais**, v.2, n.2, p. 43-60, 2008.

MAMEDES, Ingrid Moreno. Influência da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos sobre o solo: estudo de caso do lixão de Várzea Grande-MT. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.5, n.2, p. 327-336, 2017.

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p. 91-105, 2017.

MARQUES, Márjori Brenda Leite; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Efeitos Exotóxicológicos de metais aos organismos aquáticos. In: **anais do XIV Fórum Ambiental**, 2018.

MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais**. 2011. Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Lavras.

MEDEIROS, Gerson Araujo de et al. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no Estado de São Paulo. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 169-186, 2008.

MILHOME, Maria Aparecida Liberato et al. Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 1, 2018.

MILLER Jr., G. Tyller. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2008, 592 p.

MOREIRA, Fátima Ramos; MOREIRA, Josino Costa. Os efeitos do cumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panam Salud Publica**, v. 14, n. 2, p. 119 – 129, 2004.

MUCELIN, Carlos Alberto; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & natureza**, v. 20, n. 1, p. 111-124, 2008.

NASCENTES, Alexandre Lioi et al. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico-Aspectos operacionais e microbiológicos. **Revista Eletrônica TECEN**, v. 8, n. 1, p. 05-12, 2015.

NASCIMENTO, Bruno Henrique Silva do. **Qualidade do solo em lixão desativado no município de Brejinho, RN**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OLHER, Maria Luz Dalma Reis; OLHER, Bruno Silva; OLIVEIRA, Adriel Rodrigues de. Aterro Sanitário controlado e Catadores de Materiais Recicláveis: uma relação de Sustentabilidade no Gerenciamento dos Resíduos Sólidos do Município de Campo Belo-MG. **IN: IX SEGET, Simpósio em excelência em gestão de tecnologia. Tema: gestão, inovação e tecnologia para a sustentabilidade**, p. 9, 2012.

OLIVEIRA, Alessandro Lemos de et al. Análise qualitativa dos impactos ambientais no meio abiótico em um depósito de resíduos sólidos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 11, n.22, p. 184-199, 2015.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza de et al. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Eng. sanit. ambient**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

OLIVEIRA, Benone Otávio Souza. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Humaitá, Amazonas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 80-84, 2016.

OLIVEIRA, Bruna Rafaela. **Avaliação dos metais ambientalmente disponíveis em amostras de sedimento de pontos de captação de água para abastecimento público de Palmas, TO**. 2012. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico. Pombal, 2015.

REZENDE, Jozrael Henriques et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2013.

RIEUWERTS, Jhon S. et al. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. **Science of the Total Environment**, n. 366, p. 864-875, 2006

ROSS, Djeovani; CARVALHAL, Marcelo Dornelis; RIBEIRO, Solange Queiróz. A precariedade do trabalho dos catadores de material reciclável no oeste paranaense e a dinâmica estratégica da reprodutividade do capital. **PEGADA - A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 11, n. 2, 2010.

SILVA, Alessandra dos Santos. **Análise de componentes tóxicos em resíduos sólidos urbanos**. 2016. 160 fls. Tese (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SILVA, Christian Luiz; FUGII, Gabriel Massao; SANTOYO, Alain Hernández. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, 2017.

SILVA, Thiago Fernandes da. **Estudo de mistura de solos para impermeabilização eficiente de camada de base de aterros sanitários**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.

SIQUEIRA, Hygor Evangelista et al. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Nova Ponte (MG). **Revista DAE**, v. 64, n. 202, p. 39-52, 2016.

SOUSA, Valéria Fernandes de Olivera et al. Percepção sobre qualidade da arborização urbana da cidade de Pombal, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 343-347, 2018.

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito; POVINELLI, Jurandyr. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: **Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, 2007. p. 1-7.

SOUZA, Danilo Lima de et al. Características químicas de solos sob diferentes usos na Bacia do Rio Piranhas. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n.1, p. 65-71, 2010

TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel A. **Integrated solid waste management: engineering principle and management issues**. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1993, 978 p.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Method 3051A**. 1998.

WHO – World Health Organization - International Reference Center for Wastes Disposal. **Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost**. Zurich, 1979, 50 p.

ZANTA, Viviana Maria.; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: **CASTILHOS Jr. A. B. (Org.). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequenos portes**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. Cap 1, p. 1-16.