



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA

VALESKA VIANA DAMASCENO

**RISCOS DE CONTAMINAÇÃO E DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM
SOLO E PLANTAS EM UM LIXÃO: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E UM
ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
(ITAITINGA, CEARÁ)**

FORTALEZA

2023

VALESKA VIANA DAMASCENO

**RISCOS DE CONTAMINAÇÃO E DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM
SOLO E PLANTAS EM UM LIXÃO: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E UM
ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
(ITAITINGA, CEARÁ)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará como requisito para a obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D162r Damasceno, Valeska Viana.

Riscos de contaminação e dispersão de metais pesados em solo e plantas em um lixão: uma revisão bibliométrica e um estudo de caso na Região Metropolitana de Fortaleza (Itaitinga, Ceará) / Valeska Viana Damasceno. – 2023.

39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega.

1. Contaminação. 2. Disposição irregular. 3. Solo e planta. I. Título.

CDD 630

VALESKA VIANA DAMASCENO

**RISCOS DE CONTAMINAÇÃO E DISPERSÃO DE METAIS PESADOS EM
SOLO E PLANTAS EM UM LIXÃO: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E UM
ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
(ITAITINGA, CEARÁ)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará como requisito para a obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 14/ 07/2023 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Analista - Me. Francisco Orlando Holanda Costa Filho

Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Controle Urbano de Itaitinga (SEMAM)

Prof^a. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo

Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco e Viviane, pelo apoio incondicional ao longo da minha carreira acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos durante o percurso e, ter sido meu refúgio e força nesses anos de graduação.

Aos meus pais, Francisco e Viviane, pelo incentivo e apoio incondicional oferecido em todos os aspectos durante essa trajetória

Ao meu esposo André Luís, por compreender a minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho e que foi capaz de suportar todos os meus momentos de estresse durante o processo.

A todos os meus amigos da graduação, em especial, a Juliana Araújo e Tupinambá (Tupy) os quais marcaram a minha vida colaboração, apoio, reflexões, críticas e sugestões a graduação não seria a mesma sem a ajuda de vocês. Obrigada!

A todos os servidores da Secretaria de Meio Ambiente e Controle Urbano de Itaitinga (Semam), por toda colaboração, críticas e sugestões, sem nominar terão o meu eterno agradecimento.

Aos profissionais dos laboratórios de análise de solos, águas, tecidos vegetais e adubos-Convênio FUNCEME/UFC, e, do Laboratório de Nutrição e Manejo dos Solos, por toda ajuda e orientação prestadas.

Ao meu orientador, Prof^o Dr^o Gabriel Nuto Nóbrega, pela orientação e por aceitar este desafio.

Aos participantes da banca examinadora por terem aceitado o convite, e por contribuírem com minha formação.

“[...]Por isso concluí que não há nada melhor para o homem do que desfrutar do seu trabalho, porque esta é a sua recompensa[...]

Eclesiastes 3:22

RESUMO

Na maioria dos municípios, o gerenciamento de resíduos sólidos é ineficiente, sendo os locais de descarte mais comuns os lixões a céu aberto, expondo a população a doenças e prejudicando o meio ambiente. Este estudo teve como objetivo identificar os riscos de contaminação e dispersão de poluentes por metais pesados em solo e plantas encontrados em um lixão. Para isso, foi realizada uma análise em artigos científicos nacionais e internacionais relacionados ao tema. Simultaneamente, realizou-se um estudo de caso no lixão da cidade de Itaitinga-Ce, onde foram coletadas, em 5 pontos escolhidos de forma aleatória dentro do lixão, amostras de solo na camada 0-20cm em cada ponto, além de espécimes de girassol (*Helianthus annuus L*), mamona (*Ricinus communis L*) e melancia (*Citrullus lanatus*), totalizando 33 tecidos (folhas, caule e raízes) de plantas, os quais foram secos e analisados para quantificação dos teores biodisponíveis de metais (Cd, Cu, Mn) utilizando o extrator Mehlich-1. A análise foi realizada usando espectroscopia de absorção atômica e técnicas de chama. Nos solos, foram avaliados atributos como granulometria, pH, condutividade elétrica e CTC. Os valores de Cd, Cu e Mn, analisados em todas as amostras ficaram abaixo dos valores de referência da qualidade (VRQ) e de prevenção (VP) para solo do CONAMA e da CETESB. Em relação aos tecidos vegetais, pode-se verificar a absorção e acúmulo de metais nos tecidos, principalmente de Cd e Cu no *Helianthus annuus L*, para o elemento Mn a *Ricinus communis L* e a *Citrullus lanatus* se mostram mais eficientes.

Palavras-chaves: disposição irregular; resíduos sólidos urbanos; poluentes; contaminação.

ABSTRACT

In most municipalities, solid waste management is inefficient, with open dumpsites being the most common disposal sites, exposing the population to diseases and harming the environment. This study aimed to identify the risks of contamination and dispersion of pollutants by heavy metals in soil and plants found in a dumpsite. To achieve this, an analysis of national and international scientific articles related to the topic was conducted. Simultaneously, a case study was carried out in the dumpsite of Itaitinga city, Ceara states, where simple soil samples were collected at 5 randomly chosen points within the dumpsite, at a depth of 0-20cm at each point. Additionally, specimens of sunflower (*Helianthus annuus L*), castor bean (*Ricinus communis L*), and watermelon (*Citrullus lanatus*) plants were collected, totaling 33 plant tissues (leaves, stem, and roots), which were dried and analyzed for the quantification of bioavailable metal content (Cd, Cu, Mn) using Mehlich-1 extractor. Analysis was performed using atomic absorption spectroscopy and flame techniques. The soil attributes such as particle size, pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity (CTC) were evaluated. The analyzed values of Cd, Cu and Mn in all samples were below the reference values for soil quality (VRQ) and prevention (VP) established by CONAMA and CETESB. Regarding plant tissues, the absorption and accumulation of metals in the tissues were observed, especially Cd and Cu in *Helianthus annuus L*, and Mn in *Ricinus communis L* and *Citrullus lanatus* proved to be more efficient.

Keywords: irregular disposition; urban solid waste; pollutants; contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do lixão com os pontos de coleta do solo e das plantas	21
Figura 2. Área com transbordo recente de resíduos no lixão municipal de Itaitinga	21
Figura 3. Área do lixão colonizada por plantas.	22
Figura 4. Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L) no lixão municipal de Itaitinga	23
Figura 5. Mamona (<i>Ricinus communis</i> L) no lixão municipal de Itaitinga	24
Figura 6. Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>) no lixão municipal de Itaitinga	24

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Identificação das áreas de coleta e espécies vegetais coletadas em cada um dos pontos amostrais	22
Tabela 2. Valores granulométricos do solo do lixão de Itaitinga-Ce	28
Tabela 3. Valores de atributos químicos o solo do lixão de Itaitinga-Ce	29
Tabela 4. Teores biodisponíveis dos metais Cd, Cu e Mn, (mg/kg) determinados no solo do lixão do município de Itaitinga-Ce na profundidade de 0-20 cm	30
Tabela 5. Lista de Valores Orientadores (mg/Kg) para Solo e Água Subterrânea de acordo com o CONAMA Resolução n°420/2009.	30
Tabela 6. Lista de Valores Orientadores (mg/Kg) para Solo e Água Subterrânea de acordo com a CETESB, decisão da diretoria n.º125/2021/E de 09 de dezembro de 2021.	30
Tabela 7. Média dos teores biodisponíveis dos metais Cd, Cu e Mn (mg/kg) das espécies vegetais: mamona, melancia e girassol do lixão do município de Itaitinga-Ce.	31
Tabela 8. Concentração crítica de alguns metais pesados em plantas e na dieta de animais. Os níveis maiores são considerados tóxicos	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Quantidade de estudos relacionados a metais pesados por país e sua contribuição para este trabalho	26
Gráfico 2. Frequência de quantificação dos elementos na pesquisa	27
Gráfico 3. Média das concentrações dos metais identificados no levantamento bibliográfico.	27

LISTA DE ABREVIATURAS

Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cu	Cobre
Mn	Manganês

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Levantamento bibliográfico	20
3.2 Coleta de amostras de solo e planta	20
3.3 Análise e discussão de dados	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Levantamento bibliográfico	26
4.2 Caracterização granulométrica do solo	28
4.3 Caracterização química do solo	28
4.4 Quantificação de metais pesados no solo	29
4.5 Quantificação de metais pesados na planta	31
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
APÊNDICE A	38
APÊNDICE B	41

1 INTRODUÇÃO

O aumento exponencial da população e do pensamento consumista, juntamente com o progresso tecnológico levaram a um crescimento significativo da produção e consumo de bens pela sociedade (SANTOS; RIGOTTO, 2008), conseqüentemente, uma elevada quantidade de resíduos sólidos são descartados todos os dias. Um estudo realizado em 2020, pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) revelou que os brasileiros produzem em média 379,2 kg de lixo por ano, ou seja, mais de 1 kg por dia.

O termo lixo pode ser definido como todo o resíduo proveniente das atividades diárias das pessoas na cidade. Sua origem e formação estão ligadas a diversos fatores, tais como: mudanças de tempo, condições, hábitos, cultura, mudanças diversas e economia (LIMA, 2004), ou seja, são muitos fatores que exercem influência sobre as características do lixo produzido e as formas como se lida com ele (EIGENHEER, 2009).

Uma das maiores questões enfrentadas nas cidades é o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados, principalmente no que diz respeito à sua destinação final (ALCÂNTARA *et al.*, 2011), que pode ser a disposição em os aterros sanitários, aterros controlados ou lixões, também denominados vazadouros ou aterros comuns. A diferença entre eles, além da engenharia empregada, reside em como o solo é tratado: no lixão, os resíduos sólidos são depositados a céu aberto, enquanto que no aterro controlado, apesar do solo receber uma cobertura diária, ele não é impermeabilizado e não há tratamento adequado do chorume; ao passo que no aterro sanitário, são utilizadas técnicas e tecnologias adequadas, com a impermeabilização do solo, sistema de tratamento do chorume e do gás metano produzido, para garantir que este procedimento não cause danos ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, minimize os efeitos ambientais (ABNT, 1992).

Devido à capacidade de acomodar um grande volume de resíduos com um menor custo em comparação com outros métodos de tratamento, como incineração, a maioria dos locais de descarte desses resíduos continua sendo lixões a céu aberto, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento (AGBOZU; OGHAMA; ODHIKORI, 2011.).

Esses lixões a céu aberto, representam uma grave ameaça ao solo, visto que podem alterar suas características físicas, químicas e biológicas, causando danos estruturais e

estéticos (LIMA, 2004). Além disso, os lixões afetam as plantas que absorvem do solo os elementos químicos que podem ser benéficos ou tóxicos. A absorção de metais pode resultar na bioacumulação desses elementos tóxicos nos tecidos vegetais (AMUSAN; IGE; OLAWALE, 2005), fora isso, os recursos hídricos subterrâneos e superficiais também são atingidos (AGBOZU; OGHAMA; ODHIKORI, 2015), pois os contaminantes depositados no solo podem ser transportados, lixiviados ou solubilizados pela água pluvial e, assim, contaminar os corpos hídricos (BERNARDINO *et al.*, 2018). Ademais, os lixões são uma grave ameaça à saúde pública (LIMA, 2004).

Em lixões, os metais pesados como, por exemplo arsênio (As), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr), entre outros, podem ser encontrados nos diversos resíduos ali dispostos (CAVALLET; CARVALHO; FORTES NETO, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 2010, traz as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Em 2019, a produção de resíduos aumentou 12,4 milhões de toneladas em comparação com 2010 (ABRELPE, 2020), indicando que as mudanças na legislação se mostraram pouco capazes de influenciar na quantidade de resíduos sólidos gerados.

Nas plantas, a toxicidade causa tanto mudanças morfológicas e fisiológicas, quanto bioquímicas e estruturais, acarretando alterações no seu crescimento e desenvolvimento (SILVA; SANTOS; GUILHERME, 2015). Porém, existem plantas conhecidas como hiperacumuladoras que são capazes de absorver, acumular e distribuir em seus tecidos os metais pesados (ALMEIDA, 2012).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo identificar os riscos de contaminação e dispersão de poluentes por meio da bioacumulação de metais em solo e plantas colonizando um lixão. Para isso, foi realizada uma análise em artigos científicos nacionais e internacionais, buscando identificar os principais contaminantes metálicos e a concentração destes em lixões ao redor do mundo, bem como identificar a quantidade de estudos relacionados ao tema. Paralelamente, como um estudo de caso, foram coletadas amostras de solos e plantas em um lixão a fim de verificar se plantas que colonizam naturalmente o local estão sujeitas à absorção e acúmulo de metais em seus tecidos, tornando-se vetores para a dispersão destes contaminantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a partir da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10004/2004, os resíduos sólidos podem ser definidos como:

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

A Lei Federal N° 12.305/2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é uma ferramenta importante para que o país enfrente os problemas sociais e ambientais decorrentes do manejo inadequado de resíduos (SOUZA, 2019), resume a definição de resíduos sólidos expressa pela NBR 10004/2004 e acrescenta os gases a esse entendimento, ficando o termo “resíduos sólidos” assim compreendido:

Tudo aquilo que é descartado resultante de atividades de um grupo de pessoas, sendo que a destinação final deverá ocorrer nos estados sólidos ou semissólidos, e também gases contidos em recipiente e líquido que devido a sua composição, fica proibido o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, que haja a necessidade técnica, ou ainda, dependa de tecnologia muito cara.

Lixão ou vazadouro é uma forma inadequada de disposição final dos resíduos que são simplesmente despejados no solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde, ocasionando a proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e principalmente poluição dos solos, das água superficiais e subterrâneas pelo chorume, comprometendo os recursos hídricos (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010), afetando drasticamente a vegetação (ALMEIDA, 2012).

Ao fazer o descarte nos lixões, sem controle ambiental ou sanitário, os resíduos começam a se decompor por ação das condições climáticas do local e dos microrganismos; e liberam diversas substâncias orgânicas e inorgânicas que podem ser assimiladas diretamente

pelo solo, pois este é o meio pelo qual esses poluentes são inseridos e/ou bioacumulados ao longo da cadeia alimentar, sem a necessidade de compor os líquidos percolados (ARAÚJO, 2015).

Os gases emitidos pelos resíduos e a lixiviação de materiais inorgânicos, como metais pesados, podem causar a poluição dos recursos hídricos. Tendo em vista que o material lixiviado em contato com os cursos d'água superficiais e subterrâneas, por meio de escoamento superficial e infiltração, pode influenciar parâmetros como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) da água (ARAÚJO, 2015).

A queima irregular de resíduos e a produção elevada de biogás durante o processo de decomposição anaeróbica são as principais fontes de poluição do ar nesses locais (LIMA, 2004).

As demandas bioquímicas e químicas de oxigênio estão relacionadas à quantidade de matéria orgânica presente: a DBO indica a quantidade de oxigênio consumida pelos microorganismo para oxidação da matéria orgânica e é diretamente proporcional ao nível de poluição orgânica, já a DQO refere-se à quantidade de oxigênio consumida na oxidação química total da matéria orgânica (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

O solo dos lixões, muitas vezes, apresentam substrato grosseiro, alta concentração de gás e metais tóxicos, que prejudicam o sistema radicular da planta, resultando em estresse vegetativo, deficiência de nutrientes, entre outros fatores que dificultam o crescimento de espécies nas camadas superficiais. Apesar disso, tem se observado não apenas a sobrevivência como também o crescimento da cobertura vegetal nos lixões (SANTOS; MATOS, 2017).

O desenvolvimento de plantas nesses locais pode ser explicado pelas características inerentes aos próprios indivíduos: alto grau de tolerância a déficit hídrico, a temperaturas elevadas, sistemas de autopolinização e polinização cruzada, facilidade de adaptação às condições adversas, baixa exigência nutricional e sementes pequenas de fácil dispersão, por exemplo. (SANTOS; MATOS, 2017)

Apesar do solo ter inúmeras funções de grande importância socioeconômica e ambiental, o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) o define como: “É uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos; contêm matéria viva e podem ser

vegetados na natureza e, eventualmente, terem sido modificados por ações do homem.” (SANTOS *et al.*, 2018).

O solo encontrado nos lixões podem ser classificados por Tecnosolos: apesar dessa classificação ainda não ter sido oficializada pelo (SiBCS), outros sistemas de classificação reconhecem essa classificação, a saber Soil Taxonomy e a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (TEIXEIRA *et al.* 2022). O material de origem desses solos são os próprios resíduos, que acabam passando pelos processos pedogenéticos (SANTOS, 2015) provocando alterações físicas e químicas sobre o solo.

O lixiviado formado a partir do processo de decomposição e dissolução é denominado chorume (SOUZA, 2019), um líquido ácido de coloração escura com odor desagradável e elevado potencial poluidor, formado nos lixões em decorrência da fermentação e da exposição dos refugos orgânicos às intempéries (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010). Quando em contato com o solo, pode alterar suas características físicas, químicas e biológicas, como também das águas subterrânea (SOUZA, 2019), possibilitando a entrada dos metais na cadeia alimentar e consequente acúmulo e contaminação do fator biótico (CAVALLET; CARVALHO; FORTES NETO, 2013).

Os metais pesados são elementos químicos com densidade atômica maior que 5,0 g/cm³, ou massa atômica superior a 20, não biodegradáveis, que podem ser bioacumulados e estão presentes no solo ou incorporados em seres vivos (ALVES; MELO; NASCIMENTO, 2015) e são conhecidos como metais traço quando encontrados em baixas concentrações (GARCIA; PASSOS, 2012).

O mecanismo de toxicidade demonstrado por uma espécie vegetal envolve uma série complexa de processos, incluindo movimentação e absorção do solo pelas raízes, transporte, sequestro e distribuição de material no espaço intracelular da planta (SILVA; SANTOS; GUILHERME, 2015). A absorção de metais pesados tem efeitos em nível bioquímico e molecular que podem causar desequilíbrio na homeostase de metais essenciais, danos a biomoléculas, estresse oxidativo, consequentemente, efeitos no desenvolvimento da planta (SILVA; SANTOS; GUILHERME, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, a pesquisa foi dividida em quatro etapas: Levantamento bibliográfico; trabalho de campo; trabalho em laboratório; análise e discussão dos dados.

3.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico consistiu na primeira etapa da pesquisa onde foram selecionados 30 artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais que versavam sobre o tema de metais pesados em lixões, suas concentrações no solo e/ou plantas em diversas cidades do mundo. (Apêndice A)

Com os dados obtidos nos artigos escolhidos foi criada a tabela para análise estatística que inclui, além das concentrações de cada metal pesado, o ano da publicação, a cidade e o país em estudo, bem como indicadores demográficos e climáticos do local.

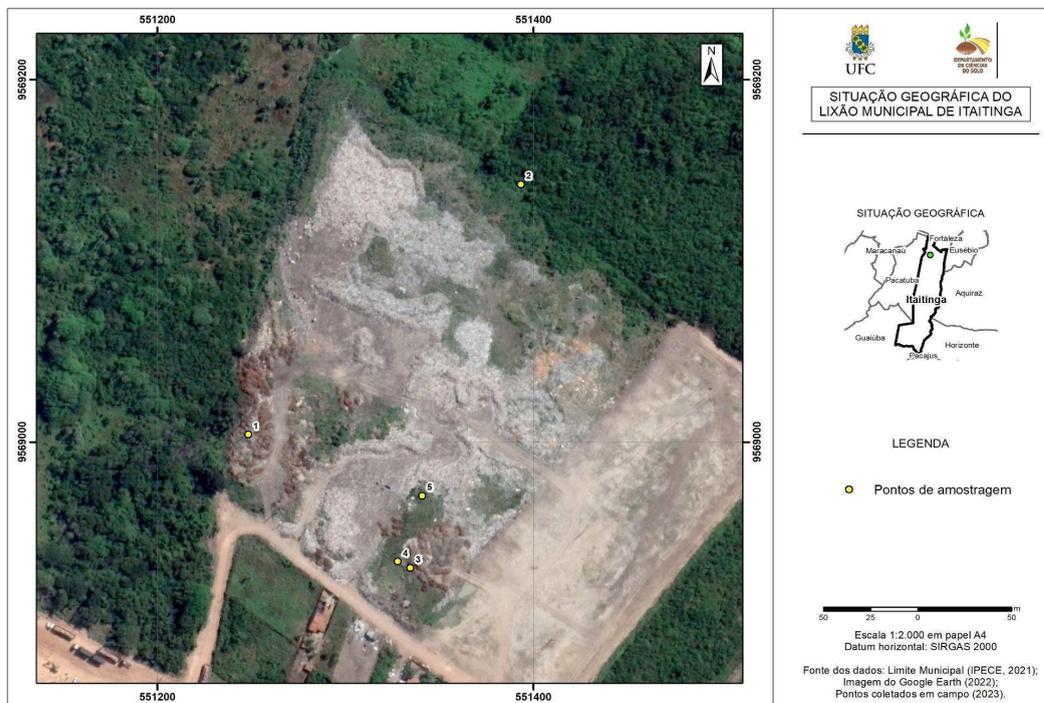
Inicialmente, utilizou-se o Portal de Periódicos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que está disponível para os alunos de instituições de ensino cadastradas, como a Universidade Federal do Ceará (UFC). Dentro do portal, foi realizada uma pesquisa de artigos de periódicos nacionais e internacionais relacionados à “contaminação de solos e plantas por metais pesados em lixões”. Para isso, palavras-chave e operadores lógicos foram usados no mecanismo de busca do portal, considerando sua presença nos artigos (títulos, periódicos, assuntos ou corpo do texto). Utilizaram-se os termos "lixão" e “solo” ou “plantas” e “metais pesados” e suas variações no inglês para os artigos internacionais “waste dumpsite” AND “soil” OR “plants” AND “heavy metal”. A fim de complementar a pesquisa, também foi utilizada a ferramenta de busca Google Acadêmico e Scielo com os mesmos termos.

3.2 Coleta de amostras de solo e planta

Paralelamente ao levantamento bibliográfico, foi realizado o trabalho em campo em um lixão no município de Itaitinga (Figuras 1 e 2). A cidade fica localizada na Região Metropolitana de Fortaleza, distante 28,26 Km da capital cearense, com área territorial de

153,686 km² (IBGE, 2021), conta com uma população estimada de 64.648 habitantes (IBGE, 2022), IDHM de 0,626 (IBGE,2010) e com o clima tropical quente sub-úmido.

Figura 1. Mapa de localização do lixão com os pontos de coleta do solo e das plantas.



Fonte: Autora, 2023

Figura 2. Área com transbordo recente de resíduos no lixão municipal de Itaitinga.



Fonte: Autora, 2023

No lixão, foram verificadas áreas vegetadas (Figura 3) com espécies comuns (*Helianthus annuus*, *Ricinus communis* L e *Citrullus lanatus*) onde foram coletadas amostras

de solos ($n = 5$) utilizando um trado holandês, na camada superficial a uma profundidade de 0 a 20 cm. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos de plásticos tipo ziplock identificados e os pontos de coleta georreferenciados (Tabela 1). No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Para a caracterização química dos solos, foram utilizados acetato de cálcio, acetato de amônio e Mehlich. (EMBRAPA, 2017).

Além do solo, também foram coletadas plantas de diferentes espécies: girassol (*Helianthus annuus* L; Figura 4), mamona (*Ricinus communis* L; Figura 5) e melancia (*Citrullus lanatus*; Figura 6)

Figura 3. Área do lixão colonizada por plantas.



Fonte: Autora, 2023

Tabela 1. Identificação das áreas de coleta e espécies vegetais coletadas em cada um dos pontos amostrais

Amostra	Localização	Espécies coletada
P1	3°53'57.0"S 38°32'18.2"W	<i>Ricinus communis</i> L, <i>Citrullus lanatus</i>
P2	3°53'52.5"S 38°32'13.5"W	<i>Ricinus communis</i> L
P3	3°53'59.4"S 38°32'15.4"W	<i>Ricinus communis</i> L, <i>Citrullus lanatus</i> , <i>Helianthus annuus</i> L
P4	3°53'59.3"S 38°32'15.6"W	<i>Ricinus communis</i> L, <i>Citrullus lanatus</i> , <i>Helianthus annuus</i> L
P5	3°53'58.1"S 38°32'15.2"W	<i>Ricinus communis</i> L, <i>Citrullus lanatus</i> , <i>Helianthus annuus</i> L

Fonte: Autora, 2023

Nos locais das coletas de solos também foram coletadas amostras de plantas em estágio reprodutivo (presença de flores) coletando cuidadosamente as raízes. Após coletadas, as amostras de tecido vegetal foram armazenadas em saco plástico e encaminhadas ao laboratório onde foram separados os diferentes órgãos (folhas, flores, caule e raiz), lavadas com água destilada e secas em estufa com circulação forçada (60 °C) até peso constante.

Em seguida, o material seco foi levado para o moinho de facas para redução de partículas a fim de aumentar a superfície de contato melhorando a eficiência das próximas etapas, no caso, calcinação de 1g de amostra em forno mufla a 550°C por cerca de 3h para eliminar toda a matéria orgânica (BONATTO *et al.*, 2005, adaptado).

As cinzas obtidas foram solubilizadas em meio de ácido nítrico 1M e a quantificação da concentração de metais nos extratos foi realizada por meio de espectroscopia de absorção atômica e por espectrometria por absorção atômica por chama. Ao total, foram analisadas 33 tecidos vegetais.

Figura 4. *Helianthus annuus L* no lixão municipal de Itaitinga



Fonte: Autora, 2023

Figura 5. *Ricinus communis* L em área vegetada no lixão municipal de Itaitinga



Fonte: Autora, 2023

Figura 6. *Citrullus lanatus* em área sob processo de vegetação no lixão municipal de Itaitinga



Fonte: Autora, 2023

3.3 Análise e discussão de dados

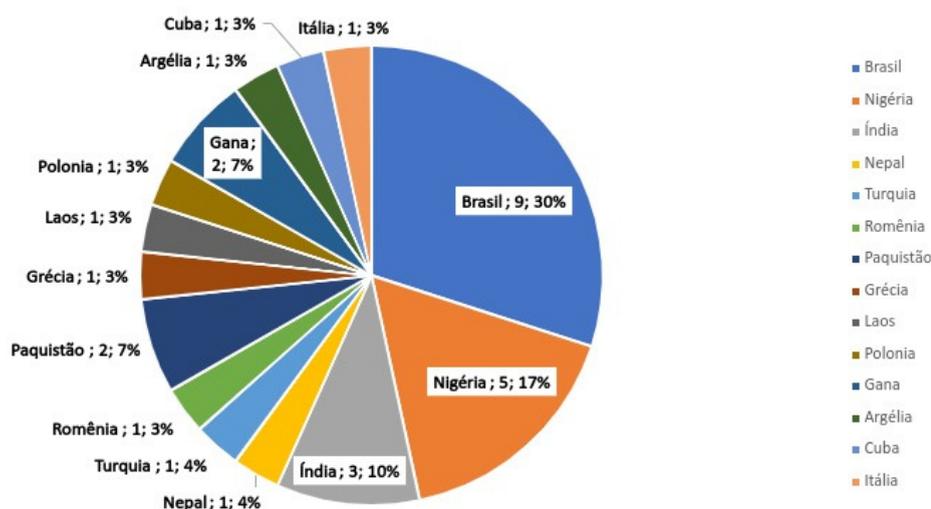
Na quarta e última etapa, realizou-se a discussão dos níveis de metais pesados identificados no local estudado, comparando-os com os encontrados em outras cidades ao redor do mundo. Realizou-se ainda o enquadramento legal a nível nacional da Resolução nº420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e dos Valores Orientadores da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) decisão de diretoria n.º125/2021/E de 09 de dezembro de 2021, atualmente aplicadas em termos da contaminação de solos por metais pesados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Levantamento bibliográfico

Foram localizados 30 artigos que tratavam de pesquisas relacionadas ao tema que foram realizadas em países diversos. A quantidade de estudos relacionados a metais pesados por país e a sua contribuição para a pesquisa pode ser observada no Gráfico 1. Os países que mais contribuíram em quantidade de estudos publicados foram Brasil, Nigéria e Índia, com 9,5 e 3 trabalhos, respectivamente.

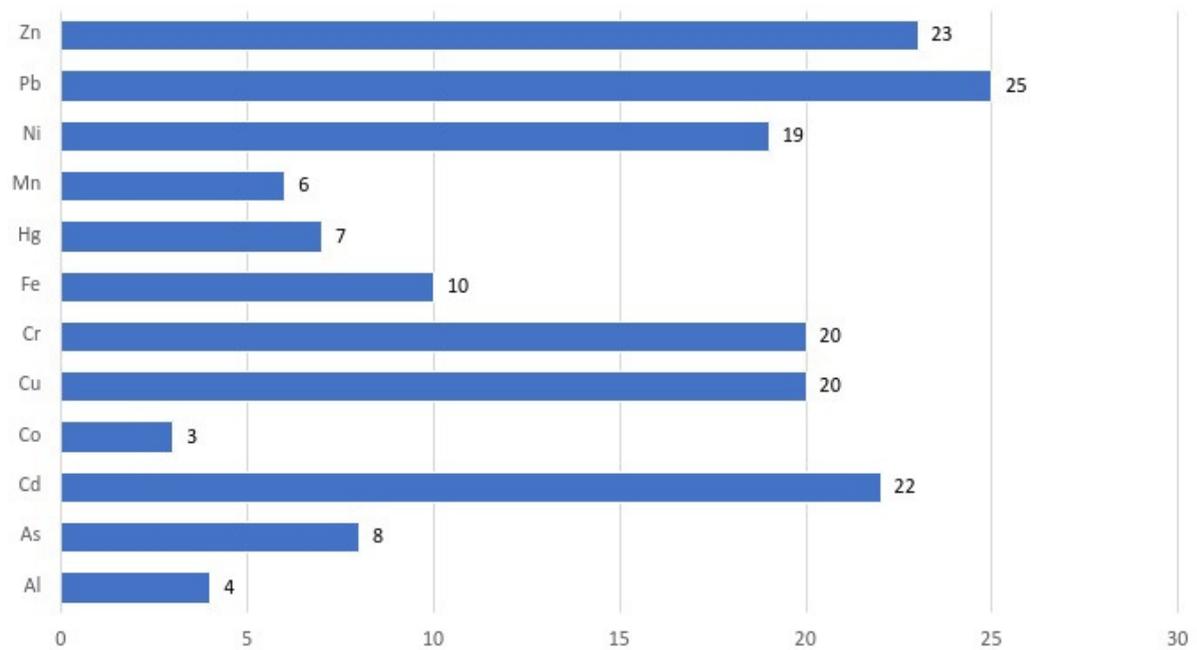
Gráfico 1. Quantidade de estudos relacionados a metais pesados por país e sua contribuição para este trabalho



Fonte: Autora, 2023

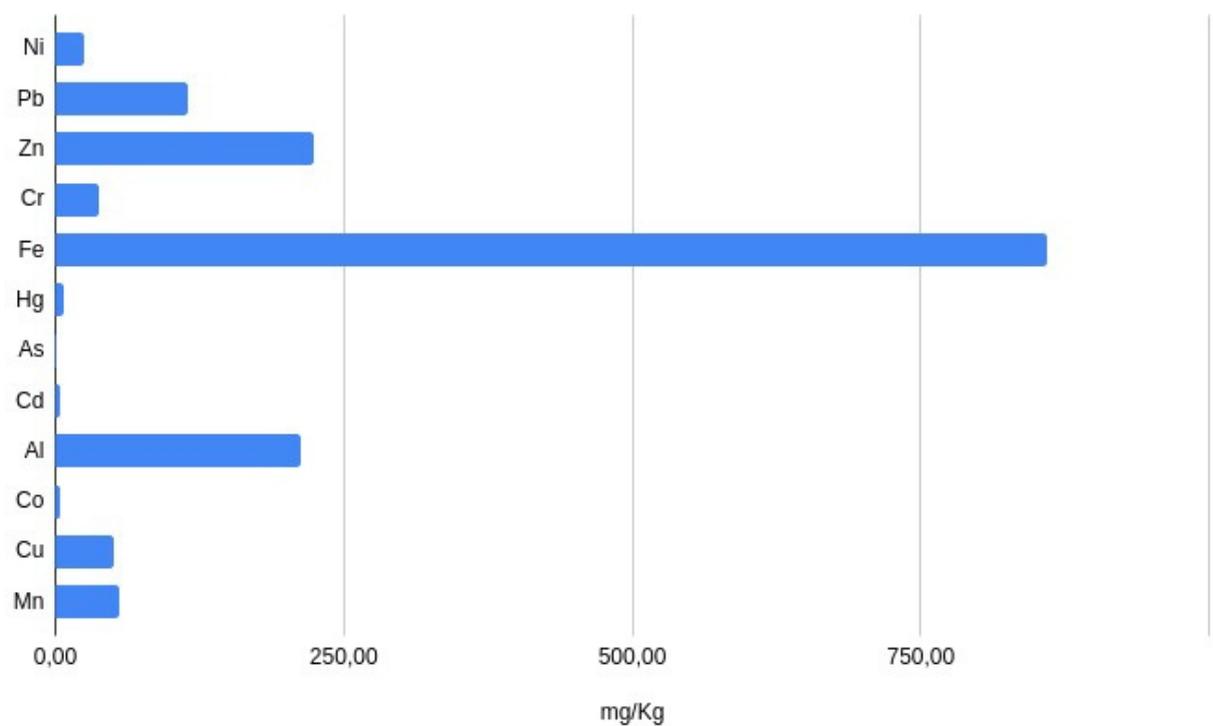
A frequência de quantificação desses elementos dentro desta pesquisa pode ser visualizada no Gráfico 2, onde percebe-se que o elemento mais estudado é o chumbo (Pb) que possui alta toxicidade tanto para o ser humano quanto para as plantas e solo (SILVA, 2015). O metal que aparece em menor frequência é o Cobalto, apesar do excesso desse elemento causar problemas respiratórios graves para o homem (ALVES; ROSA, 2003). A média da concentração dos metais encontrados nesses estudos está representada no Gráfico 3.

Gráfico 2. Frequência dos elementos identificados no levantamento bibliográfico



Fonte: Autora, 2023

Gráfico 3. Média das concentrações dos metais identificados no levantamento bibliográfico.



Fonte: Autora, 2023

4.2 Caracterização granulométrica do solo

Em relação ao estudo de caso do lixão de Itaitinga, no solo, observa-se a predominância da fração areia, a qual chegou a 469 g/kg, ao mesmo tempo, o teor da fração argila não ultrapassou 70g/kg. Com base nos valores encontrados, pode-se classificar os solos, de acordo com a sua textura, em Franco Argilo-Arenoso no P1, Franco Arenoso no P2 e no P3; e, em Areia Franca no P4 e P5 (Tabela 2). Sabe-se por Alves (2013) que solos muito arenosos facilitam a lixiviação de cátions, como metais pesados.

Tabela 2. Composição granulométricos em g/Kg do solo do lixão de Itaitinga-Ce

Amostra	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
P1	421	274	78	227	24	Franco argilo arenosa
P2	336	376	187	101	62	Franco arenosa
P3	430	340	71	159	66	Franco arenosa
P4	481	332	103	84	41	Areia franca
P5	469	336	138	57	34	Areia franca

Fonte: Autora, 2023

4.3 Caracterização química do solo

Observa-se que o pH em água das amostras variaram entre 7,53 e 8,04 indicando que o solo é ligeiramente alcalino, o que pode influenciar na disponibilidade de metais, pois o aumento ou redução do pH do solo pode afetar a disponibilidade desses elementos (LOPES, 2018).

A Condutividade elétrica (CE) está associada com a condução dos íons no solo (LINHARES, 2017). Dessa forma, analisando os valores fornecidos na Tabela 3, percebe-se que os solos apresentaram em geral valores altos para esse atributo, com exceção do P3 cujo valor foi de 38.3 μ S/cm, o menor entre as amostras.

A matéria orgânica (MO) é composta por resíduos de organismos em decomposição, sendo ela a principal reguladora da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), pois atua na reciclagem de nutrientes (LINHARES, 2017). Na Tabela 3, observa-se que

apenas o P3 apresentou concentração de MO inferior a 5%, que é a percentagem ideal para solos.

Outro parâmetro analisado foram os valores de CTC indicam a quantidade de cátions que pode ser retido pelo solo incluindo elementos contaminantes (LOPES, 2018). Todas as amostras ficaram abaixo de 5 cmolc.kg^{-1} , indicando que o solo tem dificuldades na retenção de cátions, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de atributos químicos o solo do lixão de Itaitinga-Ce

Amostra	pH	CE (dS/m)	MOS (%)	CTC pH7 cmolc.kg^{-1} ,
P1	7,53	3,96	11,88	1,34
P2	7,61	0,31	9,95	1,62
P3	8,04	0,04	3,92	1,34
P4	7,9	0,30	5,94	1,40
P5	7,82	0,91	5,47	1,42

Fonte: Autora, 2023

CE: Condutividade Elétrica; MOS:Matéria Orgânica no Solo; CTC: Capacidade de Troca Catiônica

4.4 Quantificação de metais pesados no solo

Os teores de metais pesados Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Manganês (Mn) encontrados estão na Tabela 4. Esses valores foram comparados com outros trabalhos, com a tabela de Valores de Referência de Qualidade, os Valores de Prevenção e Valores de Intervenção (VI) estabelecidos pela Resolução CONAMA nº420/2009 (Tabela 5) e pela CETESB (Tabela 6).

Em comparação com o estudo elaborado por Linhares *et al.* (2017), no Rio Grande do Norte, o valor de Cu encontrado (0,48mg/Kg) foi menor que o detectado no P1 no lixão de Itaitinga (4,45mg/Kg).

Os valores de Cd, Cu e Mn, analisados em todas as amostras, ficaram abaixo dos valores de referência da qualidade (VRQ) e de prevenção (VP) nacionais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº420/2009.

O teor do elemento Mn apresentado por Mukhopadhyay *et al.* (2020) (738 mg/Kg) em trabalho desenvolvido na Índia foi bem maior que a média dos valores encontrados nos pontos do lixão de Itaitinga (106,52mg/Kg).

Tabela 4. Teores biodisponíveis dos metais Cd, Cu e Mn (mg/kg) determinados no solo do lixão do município de Itaitinga-Ce na profundidade de 0-20 cm.

Amostra	Cd	Cu	Mn
P1	0,0085	4,45	107,68
P2	0,0130	10,29	104,91
P3	0,0670	24,92	99,64
P4	0,1021	11,25	117,57
P5	0,1201	11,64	102,81

Fonte: Autora, 2023

Cd: Cádmio; Cu: Cobre; Mn: Manganês

Tabela 5. Lista de Valores Orientadores (mg/Kg) para Solo e Água Subterrânea de acordo com o CONAMA Resolução nº420/2009.

LISTA DE VALORES ORIENTADORES (mg/kg) PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA					
Substância	Solo (mg/kg de peso seco)				
	Referência de qualidade	Prevenção	Investigação		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Cádmio	E	1,3	3	8	20
Cobre	E	60	200	400	600
Manganês	E	-	-	-	-

Fonte: CONAMA, 2023, adaptado

E= a ser definido pelo Estado

Tabela 6. Lista de Valores Orientadores (mg/Kg) para Solo e Água Subterrânea de acordo com a CETESB, decisão da diretoria n.º125/2021/E de 09 de dezembro de 2021.

LISTA DE VALORES ORIENTADORES (mg/kg) PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO-2021					
Substância	Solo (mg/kg de peso seco)				
	Referência de qualidade	Prevenção	Investigação		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Cádmio	<0,5	1,3	3,6	14	160
Cobre	35	60	760	2100	10000

Fonte:CETESB, 2023, adaptado.

4.5 Quantificação de metais pesados nas plantas

Foram analisadas 33 tecidos vegetais entre raiz, caule, folhas, e flor das seguintes espécies vegetais: mamona, melancia e girassol. Os teores dos metais pesados Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Manganês (Mn) estão descritos na Tabela 7 e os seus valores foram comparados com a Tabela 8, que diz respeito a Concentração crítica de alguns metais pesados em plantas (MENGEL & KIRKBY, 1987, apud FAQUIN, 2005).

Tabela 7. Média dos teores biodisponíveis dos metais Cd, Cu e Mn (mg/kg) nas espécies vegetais: *Citrullus lanatus*, *Helianthus annuus L* e *Ricinus communis L* do lixão do município de Itaitinga-Ce.

Espécie	Tecido	Cd	Cu	Mn
<i>Citrullus lanatus</i>	Foha	0,265	3,33	16,052
	Caule	0,207	2,107	5,58
<i>Helianthus annuus L</i>	Folha	0,1767	9,325	9,950
	Caule	0,3667	3,228	2,612
	Raiz	0,505	5,625	2,462
	Flor	0,071	5,107	4,077
<i>Ricinus communis L</i>	Folha	0,189	3,434	2,487
	Caule	0,194	1,964	4,865
	Raiz	0,108	2,234	7,397

Fonte: Autora, 2023

Tabela 8. Concentração crítica de alguns metais pesados (mg/Kg) em plantas. Os níveis maiores são considerados tóxicos.

Elemento	Plantas
Cd	5-10
Cu	15-20

Fonte: Valdemar Faquin, 2005, adaptado.

Nenhuma amostra apresentou teores de Cd maiores que a concentração crítica sugerida por Mengel & Kirkby (1987), contudo, a amostra n°22, (raiz do girassol no P4), foi a que apresentou maior acumulação de Cd.

Nas plantas, o excesso de cobre pode provocar deficiência em Ferro (Fe). Além disso, vários estudos mostram que pode causar “doença de Wilson” e insuficiência renal em humanos (SLIWINSKI, 2022).

Em relação ao elemento Cu, a amostra n°9 (identificada como a folha de girassol no P3), destacou-se devido a concentração elevada de cobre, no entanto, ainda dentro da faixa crítica para plantas, segundo Mengel & Kirkby (1987) .

Nas amostras n°1 e n°2, folhas de melancia e mamona no P1, respectivamente, foram encontrados valores bem acima do nível crítico do Mn. Para a maioria das culturas, a concentração de Mn varia de 10 a 20 mg/Kg na matéria seca das folhas (FAQUIM, 2005).

As pilhas comuns, alcalinas e as lâmpadas fluorescentes são as principais fontes de manganês dispostas no lixo (LINHARES, 2017). O excesso de manganês no ser humano pode comprometer o sistema nervoso central e levar a doenças neurodegenerativas (RAMOS, 2013).

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Diante disso, pode-se concluir que o solo do lixão de Itaitinga-Ce não possui indícios de contaminação por Cd, Cu e Mn. Esse fato pode ser explicado pela textura do solo ser arenoso e possuir CTC baixa, que dificulta a retenção de metais pesados no solo.

Em relação aos tecidos vegetais, pode-se verificar a absorção e acúmulo de metais pesados nos tecidos, principalmente de Cd e Cu no girassol, corroborando-a como uma planta hiperacumuladora. Porém, para o elemento Mn, a melancia e a mamona foram mais eficientes na absorção.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento, bem como o desenvolvimento de novos estudos no local, visando realizar a caracterização completa da área.

Para a Prefeitura de Itaitinga, recomenda-se:

- O envio dos resíduos sólidos urbanos para um aterro sanitário com licença ambiental, na região metropolitana de Fortaleza;
- A desativação do atual lixão e execução de um plano de recuperação ambiental na área degradada, contemplando: sistema de drenagem de gases, impermeabilização do solo, drenagem de percolados (chorume), lagoa de chorume, sistema de drenagem superficial, etc.;
- O completo cercamento da área do lixão para proteger a população e evitar que animais se alimentem da vegetação / resíduos presentes no local;
- O uso de parte dos recursos do fundo municipal de meio ambiental para recuperar o local, bem como a implementação de uma tarifa municipal para viabilizar o envio dos resíduos sólidos urbanos para um aterro sanitário licenciado nas proximidades da Cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004/2004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Norma. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE. Associação Brasileira da Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020.
- AGBOZU, I.; OGHAMA, O.; ODHIKORI, J. **Physico-Chemical Characterization and Pollution Index Determination of Leachates from Warri Waste Dumpsite, Southern Nigeria**. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, v. 19, n. 3, p. 361, 7 out. 2015.
- ALCÂNTARA, A. J. D. O.; PIERANDELI, M. A. P.; SOUZA, C. A. D.; SOUZA, J. B. D. **Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geociências, v. 41, n. 3, p. 539-548, 2011.
- ALMEIDA, R. F. **Plantas acumuladoras de metais pesados no solo-Uma revisão**. Revista de Biotecnologia & Ciências. v.2, n1, 2012
- ALVES, A.N.L.; ROSA, H.V.D. **Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 39, n. 2, 2003.
- ALVES, C.H; MELO, É.E.C.DE; NASCIMENTO, C.W.A.DO. **Quantificação de Metais Pesados nas Proximidades do Lixão de Mamanguape - PB**. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2015.
- AMUSAN, A. A.; IGE, D. V.; OLAWALE, R. **Characteristics of Soils and Crops' Uptake of Metals in Municipal Waste Dump Sites in Nigeria**. Journal of Human Ecology, v. 17, n. 3, p. 167–171, mar. 2005.
- ARAÚJO, T.B. **Avaliação de impactos ambientais em um lixão inativo no município de Itaporanga-PB**. TCC (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.
- BERNARDINO, C. A. R. et al. **Fitotecnologias: situação atual e perspectivas futuras**. Acta Brasiliensis, v. 2, n. 2, p. 63, 28 maio 2018.
- BONATTO, F. S. **Quantificação de metais pesados em plantas potencialmente fitorremediadoras no Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá- Belém/Pa**. VII Congresso de Ecologia Do Brasil, Caxambu - MG, 2005
- BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010** que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.

EMBRAPA -EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologias, 2017. 577 p.

CAVALLET, L. E.; DE CARVALHO, S. G.; FORTES NETO, P. **Heavy metals in the waste and in the water discharge area of municipal solid waste**. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 8, n. 3, 20 dez. 2013.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Decisão da Diretoria nº 125/2021. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (Brasil). **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 antrópicas. Brasília, 2009.

EIGENHEER, E. **A história do lixo: A limpeza urbana através dos tempos**, Rio de Janeiro: Editora Campus, 2009.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**-Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA/ FAEPE, 2005.

FILHO, J. L.O P.; *et. al* **Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixão do município de Apodi-RN**. Revista Verde, v.7, n.1, p. 141 - 147, jan.2012

GARCIA, C.A.B; PASSOS, E. A. **Química Ambiental**. Sergipe: Universidade Federal de Sergipe / CESAD, 2012.

GWOREK, B. *et al*. **Impact of the Municipal Solid Waste Lubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals**. Water, v. 8, n. 10, p. 470, 21 out. 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Área Territorial: Área territorial brasileira 2020**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/itaitinga/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/itaitinga/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LIMA, L.M.Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**.3 ed.Hemus, 2004.

LINHARES, E. L.R.**Consequências da contaminação do solo e água do lixão a céu aberto para o campus Caraúbas no município de Caraúbas-RN**.Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 5: Congestas 2017,p.256-264.

LOPES, L.F.**Análise do potencial de contaminação do solo do Aterro Sanitário de Goiânia**. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Goiás,

Goiânia, 2018.

MANO, E.B; PACHECO,E.B.A; BONELLI, C.M.C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

MOUHOUN-CHOUAKI, S. et al. **A Study of the Impact of Municipal Solid Waste on Some Soil Physicochemical Properties: The Case of the Landfill of Ain-El-Hammam Municipality, Algeria**. Applied and Environmental Soil Science, v. 2019, p. 1–8, 2 jan. 2019.

MUKHOPADHYAY, S. et al. **Assessment of heavy metal and soil organic carbon by portable X-ray fluorescence spectrometry and NixPro™ sensor in landfill soils of India**. Geoderma Regional, v. 20, p. e00249, 1 mar. 2020.

PNUD, Programa Das Nações Unidas Para o Desenvolvimento. **IDHM Índice de desenvolvimento humano municipal:Relatório de 2021/2022**. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RAMOS, T.D.**Avaliação da exposição ambiental ao manganês na população residente no entorno de um estaleiro no município de Angra dos Reis, RJ**. Tese (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, G. O.; MATOS, M. V. B. DE. **Cobertura Vegetal sobre Célula de Aterro Sanitário Encerrada Há Vinte Anos no Ceará**. Conexões - Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 6, p. 54, 29 dez. 2017.

SANTOS, G. O.; RIGOTTO, R. M. **Possíveis impactos sobre o ambiente e a saúde humana decorrentes dos lixões inativos de Fortaleza (CE)**. Revista Saúde e Ambiente, v. 9,n. 2, p. 45-58, 2008.

SANTOS, H. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018, 356 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003> Acesso em:

SANTOS, J. A. dos. **Antropossolos e áreas de risco a escorregamentos: estudo de caso no Sítio Joaninha (Diadema) e antigo lixão do Alvarenga (São Bernardo do Campo) - Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente -SP, 2015.

SILVA et al. **Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais**. Revista Virtual de Química, Web, v. 11, n. 1, p.0-0, fev. 2019.

SILVA, E.; SANTOS, P.; GUILHERME, M. de F. **Chumbo nas plantas: uma breve revisão sobre seus efeitos, mecanismos toxicológicos e remediação**. Agrarian Academy, [S. l.], v. 2, n. 03, 2015. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/agrarian/article/view/5183>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SLIWINSKI, J.**Meta-análise dos metais pesados presentes no material particulado da atmosfera: uma perspectiva global**. TCC (Bacharel em Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

SOUZA, V.B. **Determinação e avaliação de riscos de metais pesados no solo de um "lixão" desativado no município de Francisco Beltrão - Paraná.** Tese (Mestrado Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

TEIXEIRA, R. C. et al. **Solos Antropogênicos: solos decorrentes da ação humana em perspectiva ao Antropoceno.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 1, p. 107–122, 23 mar. 2022.

APÊNDICE A - ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Ano	Referência	Localização	mg/Kg					
			Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
2012	Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixão do município de Apodi-Rn	Município de Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil	0,36	57,6	34,56	128,4	8,9	256,9
2019	Ecotoxicological status and risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Nigeria	Uyo metropolis in Akwa Ibom State, Nigeria, África (latitude 05° 02' 3.33" N and longitude 007° 56' 11.8" E)	2,75		1111,28		0,582	14,27
2017	Consequências da contaminação do solo e água do Lixão a céu aberto para o Campus Caraúbas no município de Caraúbas-Rn	Município Caraúbas, Rio Grande do Norte, Brasil		0,48	0,1	11		30,44
2003	Assessment of Heavy Metals in a Municipal Solid Waste Dumpsite	Chennai, Perungudi dumping ground lies at 12° 57' 13.5" N and 80° 14' 5.8" E, India	1,29	113			32	284
2018	Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica	Iguatu, região Centro-Sul do estado do Ceará, Brasil	n.d	71,7	659,5	46,1	n.d	136,7
2011	Soil Contamination at Dumpsites: Implication of Soil Heavy Metals Distribution in Municipal Solid Waste Disposal System: A Case Study of Abeokuta, Southwestern Nigeria.	Abeokuta, Ogun State, África (07°10.969'N 003°24.223'E)	n.d	7,94	12180	153,2	n.d	88
2010	Distribuição espacial de elementos radioativos e metais pesados no lixão desativado da cidade de Lages-Sc	Lages, Santa Catarina, Brasil 27°46'15,38"S e 50°15'10,92"	n.d				7,2	
2020	Assessment of heavy metal and soil organic carbon by portable X-ray fluorescence spectrometry and NixPro™ sensor in landfill soils of India	Dhapa, Kolkata, Índia (22° N, 88.442254°E)		379		738		844
2014	Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city	Sector H-10 of Islamabad city, Pakistan	6,17	19,79			101,92	6.324.892
2022	Impact evaluation with potential ecological risk of dumping sites on soil in Baglung Municipality, Nepal	Baglung Municipality that lies in Baglung District of Gandaki Province, Nepal.	4,5	186,38			18,98	633,46
2006	Characterization of the leachate in an urban landfill by physicochemical analysis and solid phase microextraction-gc/ms	Eski, sehir, Turkey						
2011	Impact of urban landfill on soil quality. Case study towns: Aiud and Gura-Humorului	Aiud (Alba County) 46°19'N and 23°43'E, and Gura Humorului (Suceava County) 25°53'21" E and 47°33'14"N - Romania	4 3	98 92				488 339,5

2011	Teores de As, Cd, Pb, Cr e Ni e atributos de fertilidade de Argissolo Amarelo distrófico usado como lixão no município de Cáceres, estado de Mato Grosso	Cáceres, Mato Grosso, Brasil (15°57' a 16°12' de latitude sul e 57°30' a 57°42' de longitude oeste)	n.d				1,62	
2005	Characteristics of Soils and Crops' Uptake of Metals in Municipal Waste Dump Sites in Nigeria	Osun State, Nigeria, África	47,06	72,99				102,11
2019	A Study of the Impact of Municipal Solid Waste on Some Soil Physicochemical Properties: The Case of the Landfill of Ain-El-Hammam Municipality, Algeria	Ain-El-Hammam (A.E.H.), in Kabylia, Algeria. (N 36°36'03.7", E 4°16'28.2")	1,2	63,47			36,12	78,9
2019	Heavy Metal Accumulation in Water, Soil, and Plants of Municipal Solid Waste Landfill in Vientiane, Laos	Vientiane, Laos, Asia (latitude 18°4'45.86"N, longitude 102°50'57.18" E)	3,74	60,44			19,68	64,97
2008	Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill	Thessaloniki, North Greece (longitude: 22°9'0", latitude: 40°5'00").	2,5	18,15			40	24,84
2016	Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals	Lubna, Varsovia, Poland	0,3	6			6,7	37
2020	Municipal waste dumpsite: Impact on soil properties and heavy metal concentrations, Sunyani, Ghana	Sunyani, Ghana, Africa (lies between latitude 70.20°N and 70.05°N and longitudes 20.30°W and 20.10°W)	0,31		74			0,41

2005	Quantificação de metais pesados em plantas potencialmente fitorremediadoras no Depósito de Resíduos sólidos do Aura-Belém/Pa	Aura- Belém,Pará,Brasil						
2019	NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS NA ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE JANUÁRIA-MG	Januária, Minas Gerais,Brasil ("15°29'16"S 44°21'43"O)		33,78				100,27
2015	Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos	Guanabacoa, la Habana, Cuba						
2021	Contaminação ambiental por metais pesados provenientes do descarte irregular de resíduos sólidos urbanos	Viçosa, Estado de Alagoas, Brasil (lixão desativado),						
2013	Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos	Paranaguá,Parana, Brasil (25° 32' 31" S e 48° 33' 55")	n.d					
2014	Study of Physico-Chemical Properties and Heavy Metals in Contaminated Soils of Municipal Waste Dumpsites at Dholpur, India	Recco Area, Near Muchkund and Rajakhera Road , India (25045' N and 81084' E)	25,50 n.d	70,63 90,70 n.d	102,46 85,85 50,20		82,12 87,54 53,35	32,46 54,98 108,0
2010	Assessing soil pollution from a municipal waste dump in Islamabad, Pakistan: a study by INAA and AAS	Islamabad, Pakistan	10,7	51,6	2,58	593	33,3	163
2007	Distribution of Some Heavy Metals in Leachates from a Municipal Waste Dumpsite	Edo State located at Oluku, Nigeria, África					<0,01	0,45-3,45

2020	Distribution of heavy metals in soils from abandoned dump sites in Kumasi, Ghana	Amakom e Kronum, Kumasi suburbs in the region Ashanti de Gana, África	8,9 3,0	32 347				22 35	166 558
2017	Concentration of heavy metals in soils at the municipal dumpsite in Calabar metropolis	Calabar, Cross River State, Nigeria. África (latitude 04°57" and 05°05" N and longitude 08°19" and 08°25" E),	1,04	26,08	6115,8			326,84	2123,2
2014	Soil control of trace metals concentrations in landfills: a case study of the largest landfill in Europe, Malagrotta, Rome.	Rome's municipal waste disposal site, Malagrotta, is located in the western part of Rome City, Italy	0,08	6,3	5541			10,3	25,6

Ano	Referência	Localização	Espécie	Metais Pesados em plantas (mg/Kg)						
				Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
2011	Impact of urban landfill on soil quality. Case study towns: Aiud and Gura-Humorului	Aiud (Alba County) 46°19'N and 23°43'E, and Gura Humorului (Suceava County) 25°53'21" E and 47°33'14" N - Romania	water – leaf (Talinum triangulia) and okro (Abelmoschus esculentus) Leaves Roots Fruits [1]	1,03-2,01-0,08	8,82-2,79-4,41	29,20-22,85-21,90			83,92-34,97-3,40	9,23-24,73-18,38
2005	Characteristics of Soils and Crops' Uptake of Metals in Municipal Waste Dump Sites in Nigeria	Osun State, Nigeria, África	Ipomoea aquatica/ Pennisetum purpureum (elephant grass) Folhas-Haste-Raizes	n.d-0,11-0,64/ 0,96-1,57-5,15		14,95-22,80-43,04/119,9-31,96-120,85	16,18-17,65-26	0,31-0,32-8,40/1,35-8,16-37,95	11,46-8,30-36,80/9,56-23,84-94,95	14,57-8,39-27,72/21,03-23,49-44,06
2019	Heavy Metal Accumulation in Water, Soil, and Plants of Municipal Solid Waste Landfill in Vientiane, Laos	Vientiane, Laos, Asia (latitude 18°4'45.86"N, longitude 102°50'57.18" E)	grasses (Poaceae) and European goldenrod (Solidago virgaurea L.) Folhas Hastes	0,36 0,3 0,36		6,85 7,76 5,34	<0,2 <0,2 <0,2	<0,5 <1 <1	<2,0 <2,0 <1	51 54 70,2
2016	Impact of the Municipal Solid Waste Lubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals	Lubna, Varsovia, Poland	Capparis flexuosa, Carica papaya l. Solanum tabacifolium dunal, Sagittaria graminea, Ipomea aconinata_purpurv, Taraxacum, e mais duas espécies desconhecidas uma de graminea e outra de familia desconhecida	0,251(PAB) 0,326 (LX)	0,251(PAB)3,9 56 (LX)	15,776(PAB) 13,108 (LX)	2,734(PAB) 7,445 (LX)		9,577(PAB) 8,384 (LX)	94,465(PAB) 39,741 (LX)

APÊNDICE B - RELAÇÃO DOS TECIDOS VEGETAIS ANALISADOS E OS VALORES EM MG/KG DOS ELEMENTOS Cd, Cu, Mn

Amostra No.	Amostra	Cd	Cu	Mn
1	MEP1 - Folha	0,06	3,84	37,83
2	MAP1 - Folha	0,045	2,715	23,87
3	MAP1 - Caule	0,02	1,75	13,285
4	MEP1 - Caule	0,05	3,225	14,525
5	MAP1 - Raiz	0,03	1,665	3,84
6	MAP2 - Folha	0,02	2,96	8,35
7	MAP2 - Caule	0,02	1,335	3,335
8	MAP2 - Raiz	0,065	3,21	3,91
9	GP3 - Folha	0,225	15,965	8,725
10	MAP3 - Folha	0,05	4,47	10,98
11	GP3 - Caule	0,09	4,475	1,875
12	MAP3 - Caule	0,095	1,89	3,205
13	GP3 - Raiz	0,09	5,07	1,8
14	MAP3 - Raiz	0,05	2,15	1,4
15	GP3 - Flor	0,105	6,25	3,36
16	GP4 - Folha	0,18	8,635	11,81
17	MAP4 - Folha	0,275	2,675	6,72
18	MEP4 - Folha	0,54	2,71	6,63
19	GP4 - Caule	0,45	3,195	2,735
20	MAP4 - Caule	0,315	2,1	2,39
21	MEP4 - Caule	0,2	0,475	0,82
22	GP4 - Raiz	0,725	5,095	2,355
23	MAP4 - Raiz	0,114	2,1	2,65
24	GP4 - Flor	0,009	3,935	4,911
25	GP5 - Folha	0,125	3,375	9,315
26	MAP5 - folha	0,33	4,27	8,26
27	MEP5 - Folha	0,195	3,45	3,695
28	GP5 - Caule	0,56	2,015	3,225
29	MAP5 - Caule	0,295	2,285	4,725
30	MEP5 - Caule	0,37	2,62	1,395
31	GP5 - Raiz	0,7	6,71	3,23
32	MAP5 - Raiz	0,19	2,205	1,48
33	GP5 - Flor	0,1	5,135	3,96

Planta: Melancia (ME); Mamona (MA); Girassol (G)
Pontos (P)