



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL



DANIELA ALVES REZENDE

QUALIDADE DO SOLO EM LOCAL DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:

Professora Dr^a Bruna Fernanda Faria Oliveira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

DANIELA ALVES REZENDE

QUALIDADE DO SOLO EM LOCAL DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2018.

Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira

UFTM

Dr. Felipe Benavente Canteras

UNICAMP



Professora Dr^a Bruna Fernanda Faria Oliveira
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- R467q
2018
- Rezende, Daniela Alves, 1988
Qualidade do solo em local de disposição inadequada de resíduos sólidos em um município de pequeno porte / Daniela Alves Rezende. - 2018.
81 f. : il.
- Orientadora: Bruna Fernanda Faria Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.728>
Inclui bibliografia.
1. Qualidade ambiental - Teses. 2. Resíduos industriais - Teses. 3. Poluição - Teses. 4. Metais - Aspectos ambientais - Teses. I. Oliveira, Bruna Fernanda Faria. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

CDU: 574

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Resíduos Sólidos	4
3.2. Classificação dos resíduos sólidos	4
3.3. Composição gravimétrica.....	6
3.4. Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	7
3.5. Formas de disposição final de resíduos sólidos	9
3.6. Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos	12
3.7. Degradação dos Resíduos Sólidos	13
3.8. Contaminação dos solos.....	15
3.8.1. Contaminação do solo por resíduos sólidos	18
3.9. Interação entre solo e contaminante.....	23
3.10. Mobilidade de metais no solo	25
3.10.1. pH.....	25
3.10.2. Textura.....	27
3.10.3. Matéria Orgânica	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1. Área de Estudo	29
4.2. Avaliação do local de disposição de resíduos sólidos por meio do índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR)	30
4.3. Definição dos pontos de amostragem de solo	31
4.4. Preparo das amostras.....	34
4.5. Determinação da concentração de elementos dentro do local de disposição final de resíduos sólidos e áreas ao entorno	34
4.6. Análise de pH, granulometria e carbono orgânico total.....	35

4.7. Análise estatística dos resultados	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Caracterização do local de disposição final de RSU.....	37
5.1.1. Estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estrutura de proteção ambiental.....	37
5.1.2. Outras informações.....	41
5.1.3. Características da área	43
5.1.4. Pontuação do IQR.....	43
5.2. Validação da metodologia para análise de metais em amostras de solo	45
5.3. Concentrações dos metais na área de estudo.....	46
5.3.1. Micronutrientes relacionados à Matéria Orgânica (Cu, Mn e Zn)	46
5.3.2. Elementos relacionados a disposição final inadequada de resíduos perigosos como pilhas e baterias (Ni, Li e Pb)	49
5.3.3. Análise estatística entre vegetação nativa e parte antiga de disposição final	52
5.5. Caracterização do solo	53
5.6. Análise granulométrica	53
5.7. Análise de pH.....	54
5.8. Carbono Orgânico Total.....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERENCIAS.....	61
Anexo A - Critérios do IQR.....	68
Anexo B - IQR de Tupaciguara/MG.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Comparação entre os valores medidos e certificados da amostra de referência San Joaquin por ICP-OES.....	45
TABELA 2 - Concentração de cobre, manganês e zinco nas três amostragens	47
TABELA 3 - Concentração dos elementos (Pb, Li e Ni) nas três amostragens	50
TABELA 4 - p-value para a área de vegetação nativa (VN) e local de disposição final (DF).....	52
TABELA 5 - Caracterização granulométrica dos pontos de coleta de solo	54
TABELA 6 - Valores de pH do solo.....	55
TABELA 7 - Valores de COT em g/Kg das amostras de solo	57
TABELA 8 - Correlação de Spearman entre COT e a concentração dos elementos.....	58

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classes de solo definidas pela Resolução CONAMA 420/2009.....	17
QUADRO 2 - Valores orientadores do solo conforme a DN COPAM nº 166 (2011) ...	17
QUADRO 3 - Efeitos dos metais potencialmente tóxico sobre a saúde humana.....	20
QUADRO 4 - Possíveis fontes dos íons presente no chorume.....	21
QUADRO 5 - Pontuação, por item, dos critérios levantados no local de estudo	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa do local de disposição final de resíduos sólidos	32
FIGURA 2 - Imagem do local de disposição final de resíduos sólidos no ano de 2003	33
FIGURA 3 - Portaria do local de disposição final de Tupaciguara/MG	38
FIGURA 4 - Resíduos à céu aberto no local de disposição final de Tupaciguara/MG ..	39
FIGURA 5 - Ausência de Sistema de drenagem de águas pluviais.....	40
FIGURA 6 - A) presença de catadores. B) armazenamento do material em bags	41
FIGURA 7 - Foco de incêndio no local de disposição final de RSU	42

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COT	Carbono Orgânico Total
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica por Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológica
IQR	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
LABAS	Laboratório de Análise de Solos
LAMAS	Laboratório de Manejo de Solo
LAPED	Laboratório de Pedologia
Li	Lítio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
Zn	Zinco

RESUMO

REZENDE, DANIELA ALVES. **Qualidade do solo em local de disposição inadequada de resíduos sólidos em um município de pequeno porte.** 2018. 71p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG¹.

No Brasil, 42% dos resíduos sólidos coletados são descartados de forma inadequada, causando impactos ambientais adversos. Diante dessa situação, o presente trabalho teve como objetivo analisar se um local com disposição final ambientalmente inadequada de resíduos em município de pequeno porte pode provocar alteração na qualidade do solo do seu entorno. Foi utilizado como objeto de estudo a área de disposição final de resíduos do município de Tupaciguara/MG. Para isso o local foi inicialmente caracterizado e classificado quanto às condições (adequado ou inadequado) utilizando o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), e em seguida caracterizado quanto aos parâmetros físico-químicos: granulometria, pH, Carbono Orgânico Total (COT) e elementos potencialmente tóxicos (Cu, Li, Mn, Ni, Pb e Zn). As amostras foram coletadas dentro do local de disposição final, em duas áreas agrícolas ao entorno e uma área de vegetação nativa próxima. As amostragens ocorreram nos meses de fevereiro, julho e novembro de 2017. A extração de inorgânicos foi realizada de acordo com USEPA 3050B para determinação das concentrações dos elementos por Espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES). Os resultados demonstraram que o local onde os resíduos sólidos são dispostos foi classificado como “inadequado” sendo que os itens frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior, estruturas de proteção ambiental e outras informações, não obtiveram pontuação. Em relação à concentração dos elementos estudados no solo, a disposição final inadequada de resíduos sólidos altera a qualidade do solo, visto que os elementos chumbo, cobre e zinco ultrapassaram o valor de referência de qualidade impostos pela legislação. No mais, foram encontradas concentrações elevadas para os elementos lítio, manganês e magnésio comparados à área de vegetação nativa, o que ressalta a importância de ações de gerenciamento dos resíduos sólidos gerados no município.

Palavras-chave: IQR, resíduos sólidos urbanos, metais potencialmente tóxicos, disposição final de resíduos sólidos, contaminação ambiental.

¹ Orientadora: Bruna Fernanda Faria Oliveira - Universidade Federal de Uberlândia.

ABSTRACT

REZENDE, DANIELA ALVES. **Soil quality in a small city unlined landfill**. 2018. 71p. Dissertation (Masters degree in Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia – MG².

In Brazil, 42% of solid wastes are improperly disposed, causing adverse environmental impacts. In view of this situation, the present work had as objective to analyze if an unlined landfill in small municipality can cause alteration in the quality of the soil of its surroundings. The unlined landfill of the municipalities of Tupaciguara / MG was used as the study object. For this purpose, the site was initially characterized and classified according to the conditions (adequate or inadequate) using the Residual Landfill Quality Index (IQR) proposed by the Environmental Company of the State of São Paulo (Cetesb), and then characterized for the physical parameters - Chemicals: granulometry, pH, Total Organic Carbon (TOC) and potentially toxic elements (Cu, Li, Mn, Ni, Pb and Zn). Samples were collected inside the final disposal site, in two surrounding agricultural areas and a nearby native vegetation area. Samplings occurred in February, July, and November 2017. Inorganic extraction was performed according to USEPA 3050B for determination of element concentrations by plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The results showed that the landfill was classified as "inadequate". In relation to the concentration of the elements studied in the soil, the unlined landfill changes the quality of the soil, since the elements lead, copper and zinc exceeded the reference value of quality imposed by the legislation. In addition, high concentrations were found for the lithium, manganese and magnesium elements compared to the native vegetation area, which highlights the importance of solid waste management actions generated in the municipality.

Keywords: solid waste, unlined landfill, IQR, environmental contamination

² Professor adviser: Bruna Fernanda Faria Oliveira - Universidade Federal de Uberlândia.

1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização, urbanização e o aumento do poder aquisitivo da população provocam maior consumo e conseqüentemente maior geração dos subprodutos ou rejeitos (DIAS et al., 2012). Esta situação é evidente em países emergentes, como Brasil e China, onde a melhora na qualidade de vida ocasionou um aumento significativo na quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que precisam ser corretamente gerenciados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, 2016; RONG et al., 2015).

No Brasil a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos devem priorizar a não geração, seguida da redução, reutilização, tratamento e, em último caso, a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Frente a essa nova realidade, diversos municípios têm enfrentado dificuldades principalmente quanto à disposição final desses materiais e acabam dispendo-os em locais sem critérios de segurança e proteção ambiental (LIMA et al., 2017).

No país, 42% dos resíduos sólidos coletados ainda são descartados em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2016), que são locais que não seguem parâmetros e critérios de proteção à saúde e ao meio ambiente (EUROPEAN COMMISSION, 2007). Nessas áreas, a degradação dos resíduos sólidos altera a qualidade do solo e o chorume gerado pode atingir as águas superficiais, com o escoamento das águas da chuva, ou infiltrarem, contaminando o lençol freático (SIZIRICI; TANSEL, 2015; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA, 2006).

A composição do chorume inclui a presença de metais potencialmente tóxicos como chumbo, cádmio, níquel, zinco, manganês e outras substâncias tóxicas (CARVALHO, 2001; IPT, 2010) que podem estar relacionados à presença de produtos como lâmpadas, pilhas e baterias, eletrônicos, dentre outros. Esses produtos são frequentemente destinados de maneira incorreta e acabam sendo encontrados em áreas destinadas para o recebimento de resíduos não perigosos (MOURA, 2012; RAJOVIC, 2016).

Esse cenário vem motivando inúmeros estudos sobre contaminação. Nos Estados Unidos e países da União Europeia, por exemplo, foi demonstrado a contaminação do solo de antigas áreas de disposição de resíduos sólidos e que já tiveram suas atividades encerradas (PASTOR, HERNÁNDEZ, 2012; WANG et al., 2016). Estudos semelhantes vem sendo

desenvolvidos em países emergentes como Brasil, Índia e China (MARQUES, SILVA, 2011; OLIVEIRA, 2012; SAMADDER, 2016; RONG et al., 2015). Entretanto são poucos os que avaliam municípios de pequeno porte, onde a quantidade de resíduos aterrada é relativamente pequena, mas predominam sistemas inadequados de disposição final.

Assim como muitos municípios de pequeno porte, os resíduos são dispostos de forma inadequada conforme a PNRS. O local, além de não possuir medidas necessárias à prevenção da contaminação, também não conta com acompanhamento do impacto da disposição desses resíduos no solo.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade dos resíduos de um pequeno município em provocar alterações nas concentrações de poluentes, além de fornecer subsídios para a tomada de decisões sobre formas adequadas para a disposição de resíduos. Para isso, o presente estudo analisou a possível contaminação do solo no local de disposição final de RSU do município de Tupaciguara, MG.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo principal analisar se um local inadequado de disposição de resíduos de um município de pequeno porte provoca alteração na qualidade do solo.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o local de disposição final de resíduos sólidos e classificá-lo quanto às condições encontrada em adequado ou inadequado, por meio do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR);
- Avaliar e comparar a concentração dos elementos (Cu, Li, Mn, Ni, Pb e Zn) no solo dentro do local de disposição final de resíduos sólidos, em áreas agrícolas com e sem influência do local de disposição final e em uma área de vegetação nativa próxima;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos do solo: pH, granulometria e Carbono Orgânico Total (COT) e verificar se há correlação entre a quantidade de COT e a concentração de metais.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Resíduos Sólidos

Compreende-se como resíduos sólidos qualquer material, substância, objeto ou bem, decorrente das atividades humanas, que é descartado nos estados sólido ou semissólido. Incluem também como resíduos sólidos os gases contidos em recipientes e líquidos com características que tornem inviável o seu lançamento na rede de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2010).

Outra definição frequentemente utilizada é apresentada pela NBR-10.004/2004, que corrobora com a legislação nacional e acrescenta como resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água ou gerados em equipamentos e instalações como resíduos sólidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004).

Diante de um termo tão amplo e que abrange resíduos com características heterogêneas, o arcabouço legal ambiental faz por enquadrá-los segundo suas características.

3.2. Classificação dos resíduos sólidos

Conhecer a classificação dos resíduos é de suma importância para seu correto gerenciamento, coleta, destinação e disposição final ambientalmente adequada (FARIA, 2012). Há distintas classificações para os resíduos: quanto a sua origem, grau de biodegradabilidade, natureza física, periculosidade, dentre outras.

Quanto a sua periculosidade, a NBR 10004 classifica os resíduos sólidos em razão do risco que apresentam à saúde pública e ao meio ambiente, para serem manuseados e destinados adequadamente. Desta forma os resíduos são divididos em Classe I (perigosos) e Classe II (não perigosos). A Classe I compreende os resíduos que podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente, seja por suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas ou por apresentarem pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade (ABNT, 2004).

Já a Classe II compreende os resíduos que não são enquadrados como perigosos e é subdividida em Classe IIA (não inerte) e Classe IIB (inertes). Resíduos não inertes são

aqueles que tem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os inertes, por sua vez, não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

Outra importante classificação é quanto à origem do resíduo, ou seja, a identificação do processo ou atividade que o gerou. Segundo o art. 13º inciso I da PNRS (BRASIL, 2010) os resíduos podem ser divididos em: domiciliares; de limpeza urbana; resíduos sólidos urbanos; resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; industriais; resíduos de serviços de saúde; resíduos da construção civil; resíduos agrossilvopastoris; resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração.

Resíduos domiciliares são os resíduos oriundos das atividades domésticas em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais (INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM, 2001). Segundo publicação do Instituto de Pesquisas Tecnológica (IPT), os resíduos domiciliares, que são decorrentes da “vida diária das residências” e são constituídos de uma diversidade de itens (IPT, 2010). Esse grupo engloba os resíduos domiciliares especiais que compreende pilhas e baterias, equipamentos eletrônicos, lâmpadas fluorescentes, dentre outros que (IBAM, 2001), devido as suas características, necessitam de tratamento e/ou destinação especial.

Os resíduos comerciais são gerados em estabelecimentos comerciais e suas características são influenciadas pela atividade desenvolvida no local. Caso os resíduos comerciais sejam semelhantes em quantidade e composição aos resíduos doméstico, eles são recolhidos pela prefeitura e possuem a mesma destinação dos resíduos domiciliares, sendo que representam uma grande parcela dos RSU produzidos nas cidades (IBAM, 2001).

Já os resíduos de limpeza urbana são originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010). Tanto os resíduos de limpeza urbana, quanto domiciliares formam os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (BRASIL, 2010). Cabe ressaltar que os resíduos de estabelecimento comerciais também são muitas vezes enquadrados nesse grupo.

Dentro dos RSU há também outras possibilidades de classificação como, por exemplo, fração orgânica (restos de alimentos, material de varreduras, folhagens) e fração inorgânica (embalagens, plásticos, vidros, latas). Esta última pode ser dividida ainda em materiais recicláveis e rejeitos.

Materiais recicláveis são os resíduos que podem retornar à cadeia produtiva para virar o mesmo produto ou produtos diferentes dos originais. Os três materiais recicláveis com maior participação no setor de reciclagem no país são: alumínio, papel e plástico (ABRELPE, 2016). Já o termo rejeito refere-se a parcela dos resíduos sólidos para a qual não existe tecnologia disponível e economicamente viável para seu tratamento ou recuperação, não restando outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A composição dos resíduos sólidos, conhecida como composição gravimétrica, varia de região para região. Essa variação é influenciada por uma gama de fatores como sazonalidade, aspectos culturais, climáticos, legislação, condições demográficas, hábitos alimentares, grau de desenvolvimento, atividades socioeconômicas, dentre outros (DENAFAS, 2014; GIDARAKOS et al., 2006; OENNING, 2012).

3.3. Composição gravimétrica

A composição gravimétrica é uma ferramenta importante na gestão dos resíduos sólidos visto que expressa, em percentual, o peso de cada fração de resíduo em relação ao peso total da amostra (OENNING et al., 2012). Compreender a participação de cada fração no montante de resíduos sólidos gerado contribui para conhecer o potencial de reaproveitamento, de recuperação energética, reutilização, reciclagem, e compostagem dos resíduos (GIDARAKOS, 2005).

O detalhamento da caracterização e o número de classes de enquadramento dos resíduos dependem do objetivo do trabalho (ALCÂNTARA, 2007). Dentre as categorias utilizadas para enquadramento estão: restos de comida; poda; plástico rígido, filme e PET; papel fino e papelão; tetra pak; ferro, alumínio e outros; vidro; material inerte; madeira; borracha; tecido; couro; contaminantes biológico e químico; eletrônicos e rejeitos diversos.

De acordo com plano nacional de gerenciamento de resíduos sólidos, a categoria que mais se destaca na composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil é a matéria orgânica correspondendo a 51,4% do montante (SINIR, 2012). Em países em desenvolvimento o percentual de matéria orgânica gerado é maior do que em países desenvolvidos. Na China, por exemplo, a média de matéria orgânica é de 61,2% (GU et al., 2017). Já na Finlândia a matéria orgânica compõe de 25 a 30% dos resíduos (WANG, 2013). Apesar do alto

percentual de matéria orgânica, as experiências de compostagem no Brasil são ainda incipientes (ZAPPE, 2016).

A composição média nacional do Brasil é de 51,4 % de matéria orgânica, 31,9 % de materiais recicláveis e 16,6% de outros (SINIR, 2012). Dentro da categoria “outros” está uma grande diversidade de itens como os resíduos perigosos, como pilhas e baterias. O fato de muitos trabalhos de composição gravimétrica englobá-los como “outros” dificulta mensurar a quantidade dos resíduos perigosos que chegam ao local de disposição final e prever possíveis impactos relacionados a contaminação, visto o potencial poluidor dos mesmos.

Todavia estudos de composição gravimétrica dos RSU frequentemente citam a presença de resíduos perigosos nos locais de disposição final de resíduos (BAAWAIN, 2017; GU et al., 2017). Estudo realizado em Itaúna/MG observou-se que dentre os principais resíduos perigosos encontrados estão as pilhas e baterias, principalmente nos resíduos do centro comercial (MOURA, 2012). Pilhas e baterias também foram encontradas nos resíduos destinados ao aterro sanitário de Uberaba/MG (RAJOVIC, 2016) e no lixão de Tupaciguara (MARQUEZ, 2008).

A composição da massa de resíduos é um dos principais agentes que influencia na degradação dos mesmos (MELO, 2016). Informações sobre as propriedades físicas e químicas dos resíduos possibilita estimar sua degradabilidade, a qualidade do chorume e a toxicidade ambiental, além de colaborar para a projeção do manejo dos resíduos de forma ambientalmente adequada (ALCÂNTARA, 2007).

Dessa forma, a composição gravimétrica é uma ferramenta importante para melhor compreender os possíveis impactos do descarte inadequado de resíduos. Dados confiáveis e precisos de composição gravimétrica são essenciais para o planejamento e gestão adequada dos resíduos sólidos (REZENDE et al., 2013), conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

3.4. Política Nacional de Resíduos Sólidos

Em agosto de 2010, após vinte e um anos de discussões no Congresso Nacional, foi aprovada a Lei 12.305, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa lei dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão e gerenciamento ambientalmente adequados dos resíduos sólidos.

Segundo Rajovic (2016), a PNRS traz propostas inovadoras como a responsabilidade compartilhada e a logística reversa. A gestão de resíduos sob o viés da responsabilidade compartilhada inclui os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos na gestão dos resíduos sólidos, atribuindo-lhes responsabilidades (BRASIL, 2010).

Já a logística reversa é caracterizada por um conjunto de ações destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos. Devendo ser implementado de forma independente ao serviço público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, sendo que compete aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes estruturar e implementá-la (RAJOVIC, 2016).

Segundo o artigo 33 da PNRS são obrigados a estruturar e implementar os sistemas de logística reversa, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Dentre os instrumentos propostos pela PNRS destaca-se os planos de resíduos sólidos, que compreende o plano nacional de resíduos sólidos, os planos estaduais, microrregionais, de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, os planos intermunicipais e municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e os planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Destes destaca-se os planos municipais de resíduos sólidos que estabelecem as diretrizes referentes a gestão de resíduos sólidos no âmbito municipal e é requisito essencial para os municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados.

As diretrizes propostas nos planos de resíduos sólidos devem seguir a hierarquia de prioridade proposta pela PNRS. Assim a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos deve priorizar a não geração, seguida da redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, em último caso, a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos (BRASIL, 2010).

Cabe ressaltar a diferença entre os termos destinação ambientalmente adequada e a disposição ambientalmente adequada. A destinação adequada compreende a reutilização, recuperação energética e a reciclagem dos resíduos, já a disposição final ambientalmente adequada é a disposição de rejeitos em aterros sanitários.

Em decorrência disto, fica proibida a disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos *in natura* a céu aberto, ou seja, é o fim dos lixões. No mais, fica proibido a queima de

resíduos a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade. Além disso, dentro das áreas de disposição final, fica proibido a catação de materiais recicláveis, a criação de animais domésticos e a fixação de habitações temporárias ou permanentes (BRASIL, 2010).

Para Lima (2017) a proposta de eliminação e recuperação dos lixões é um avanço proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Por meio dela, os municípios teriam até agosto de 2014 para acabar com os lixões e aterros controlados e promover a disposição final ambientalmente adequada, ou seja, em aterros sanitários. Entretanto, mesmo esse prazo tendo sido prorrogado por dois anos a proposta de pôr fim aos lixões ainda se encontra longe de ser conquistada. Atualmente, tramita no congresso o Projeto de Lei 2289 de 2015 que propõe aumentar o prazo final para o encerramento dos lixões para 2018 a 2021 de acordo com o porte do município.

3.5. Formas de disposição final de resíduos sólidos

Os principais métodos de disposição final adotados no Brasil são: lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Lixões e aterros controlados são formas inadequadas de disposição final. Esses locais não seguem parâmetros e critérios estabelecidos pela legislação e não possuem sistema de impermeabilização, coleta e tratamento do lixiviado e do biogás, gerando impactos ambientais adversos.

O lixão é um depósito a céu aberto, onde os resíduos são dispostos sobre o solo de forma não controlada e sem medidas de proteção ambiental ou à saúde pública. Essa forma de disposição acarreta problemas à saúde pública como a proliferação de vetores de doenças, liberação de odores desagradáveis, poluição das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do solo, dentre outros impactos (IPT, 2010; FARIA, 2012).

Muitos desses locais não têm controle sobre o acesso de pessoas e, embora proibido por lei, é frequentemente a presença de catadores de materiais recicláveis, animais domésticos e criações nesses locais. No mais, é frequente também a disposição inadequada de resíduos originários do serviço de saúde e indústrias (IPT, 2010).

Já o Aterro Controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos que minimiza os impactos ambientais por cobrir os resíduos com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (IPT, 2010). Assim o Aterro Controlado seria uma forma de disposição intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, pois há o recobrimento

dos RS evitando riscos à saúde pública. Os impactos ambientais são minimizados, mas ainda ocorrem já que o solo não é impermeabilizado, nem há coleta e tratamento de gases e percolado. Trata-se de um método preferível ao lixão, porém o controle da poluição é inferior ao aterro sanitário (IPT, 2010; FARIA, 2012).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade diagnosticar a possível presença de metais potencialmente tóxicos e outros poluentes nos solos de áreas inadequadas de disposição de resíduos sólidos. Samadder (2016), em estudo realizado na Índia em um local destinado como lixão por 20 anos, encontrou pH variando entre 6,4 e 8,2 e concentrações de magnésio e manganês significativamente altas. Em um aterro não impermeabilizado de resíduos sólidos urbanos na Flórida, Estados Unidos, que teve suas atividades encerradas em 1982, foram detectados os elementos ferro e manganês na água subterrânea em concentração acima do limite permitido pela legislação (WANG et al., 2016).

Marques (2011) analisou as concentrações dos elementos Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn na profundidade de 0-20cm de solo em áreas à montante, a jusante e dentro de um lixão, um aterro controlado e um aterro sanitário em Minas Gerais. Através da pesquisa constatou que os elementos níquel e cromo dentro do aterro controlado estavam em concentração acima do limite de prevenção estabelecido pela CETESB. Para as amostras coletadas dentro do lixão, todos os elementos ficaram dentro do limite de qualidade do solo (MARQUES, SILVA, 2011).

Em estudo realizado no lixão do município de pequeno porte Romaria/MG, o elemento cromo apresentou concentrações acima dos valores de investigação e os elementos níquel e cobre ultrapassaram o valor de prevenção estabelecidos pela CETESB. (OLIVEIRA, 2012).

Estudo realizado em aterro controlado no município de Passo Fundo/RS analisou a concentração dos metais Ni, Cu, Zn, Cr, Cd e Pb e comparou com uma área controle de reserva ambiental e com os valores orientadores da CETESB. Foi constatado uma maior concentração de Cu, Zn e Cr comparado com a área de reserva, sendo que esses elementos ultrapassam os níveis de intervenção, conforme valores orientadores estabelecidos pela CETESB (MACHADO, 2011).

Soma-se a isso que mesmo após vários anos depois de suas atividades encerradas, locais de disposição de resíduos ainda podem apresentar contaminação por metais potencialmente tóxicos. Nos arredores de Madri, Espanha, estudos realizados depois de 20 anos em 15 locais de destinação de resíduos sólidos que foram cobertos com uma camada

de terra revelaram a presença de metais potencialmente tóxicos como zinco, cobre, cromo, níquel, chumbo e cádmio em solos (PASTOR, HERNÁNDEZ; 2012).

Uma solução para a disposição final ambientalmente adequada é o aterro sanitário, que tem como objetivo proteger o solo e a água subterrânea de contaminações decorrentes da degradação dos RSU (LIMA et al., 2017). Consiste em uma técnica que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao volume mínimo permissível (ABNT, 1992). Esse método compreende a impermeabilização das células, bem como a drenagem e tratamento dos gases e chorume resultantes do processo de degradação (URBAN, 2015).

Apesar de todos os cuidados, até mesmo em aterros sanitários são passíveis de contaminar o solo e a água, pois o revestimento desses locais pode apresentar falhas e necessita ser monitorado (SIZIRICI; TANSEL, 2015). Vários estudos têm como objetivo verificar a ocorrência de contaminação na água subterrânea dentro e em áreas de influência de aterro sanitários.

Lopes (2012), por exemplo, analisou os metais (Pb, Cd, Cu, Ni e Zn) em área à jusante do aterro sanitário de Londrina. Os dados demonstraram que todos os elementos encontraram abaixo dos limites de padrão de potabilidade previstos pela legislação da época, exceto o chumbo, que apresentou concentrações acima dos valores permitidos em cinco dos nove poços analisados (LOPES, 2012).

Outro estudo foi desenvolvido Faria (2012) que analisou a concentração dos metais potencialmente tóxicos no chorume, na água subterrânea e superficial em três locais: um lixão cuja atividade encerrou em 1984, um aterro sanitário encerrado em 1992 e um aterro sanitário em operação, todos no município de Campinas/SP. No lixão, concentrações elevadas de manganês, cromo e níquel foram observadas nas águas subterrâneas.

Já no aterro que ainda se encontra em operação, os poços à jusante apresentaram valores acima da concentração máxima permitida para os elementos cromo, manganês e níquel. Referente ao aterro desativado em 1992, não foram encontradas concentrações acima do limite para poços à jusante (FARIA, 2012).

Assim sendo, mesmo em aterros sanitários construídos e operados de acordo com as normas técnicas vigentes é de suma importância o monitoramento da área e arredores (LOPES, 2012). Além do monitoramento ambiental que contempla, dentre outros aspectos, análises de água subterrânea e lixiviado, nota-se a necessidade de critérios e parâmetros para avaliar os locais de destinação final de resíduos. Diante da necessidade de caracterizar, avaliar e enquadrar os locais de disposição de resíduos sólidos, surgiu a demanda por

indicadores e índices, dentre os quais destaca-se o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR).

3.6. Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

Em 1997, diante da necessidade de monitorar a qualidade dos locais de disposição final de resíduos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) propôs o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) (CETESB, 2015). O IQR engloba parâmetros referentes às características do local, à infraestrutura implantada e às condições operacionais do aterro (LIMA et al., 2017).

O índice consiste de uma planilha de coleta de dados dividida em três partes. Cada parte apresenta um conjunto de itens que são subdivididos em subitens, cada qual com seu peso. A primeira parte da planilha avalia a estrutura de apoio, os aspectos operacionais e a estrutura de proteção ambiental. Através desses parâmetros, é possível uma análise da conservação do solo e da água (LIMA et al., 2017).

A segunda parte, denominada outras informações, afere as conformidades com a legislação e apresenta os subitens: presença de catadores, queima de resíduos, ocorrência de moscas e de roedores, presença de aves e de animais, assim como, o recebimento de resíduos não autorizados. Já na terceira parte são enquadradas as características das áreas como a proximidade de núcleos habitacionais e de corpos d'água, a vida útil do aterro e as restrições legais do uso do solo (CETESB, 2015).

Cada parte da planilha apresenta um subtotal. A soma dos três subtotais atinge no máximo 100 pontos. Após o levantamento de dados, para calcular o IQR, soma-se os três subtotais e divide por 10 para obter um valor de 0 a 10. Esse valor permite enquadrar o local avaliado como condições inadequadas (resultado entre 0 a 7) ou adequadas (resultado entre 7,1 a 10) (CETESB, 2015).

Os dados levantados por meio dos parâmetros do índice, fornecem um diagnóstico preciso das reais condições ambientais dos locais de disposição final de resíduos. Por padronizar a avaliação do local de disposição final de resíduos, através de critérios precisos, o IQR apresenta-se como uma ferramenta apropriada para avaliar a qualidade da disposição final de resíduos sólidos. Dessa forma, o referido índice vem sendo aplicado como metodologia de diversos estudos (ANDRADE, SERRA, ANDRADE, 2013; GUERRA,

VIDAL, SOUZA, 2010; LIMA et al., 2017; URBAN, 2015) e pode ser utilizado como metodologia de estudos de caracterização de áreas de disposição final de resíduos, indicador de qualidade da situação atual e evolução ao longo do tempo.

O IQR tem sido considerado apropriado para avaliação da qualidade de locais de disposição final de resíduos por ser bem detalhado e abrangente (ANDRADE, SERRA e ANDRADE, 2013). Destaca-se também a importância desse instrumento na identificação dos critérios que não estão em conformidade com a legislação e normas ambientais, facilitando a proposição de melhorias e tomada de decisões (GUERRA, 2010). No mais, respalda a decisão de dar continuidade a operação ou proceder com o fechamento de um local de disposição final de resíduos sólidos, caso as condições estejam inadequadas (ANDRADE, SERRA, ANDRADE, 2013).

O IQR é aplicado anualmente de forma sistemática em todos os municípios do Estado de São Paulo, que tem tido um acréscimo no número de municípios enquadrados como adequado nos últimos anos (CETESB, 2015). Melhores condições dos locais de disposição final de resíduos sólidos refletem diretamente na preservação da qualidade do solo contra a contaminação proveniente da degradação dos resíduos sólidos que ocorre dentro dos locais de disposição final.

3.7. Degradação dos Resíduos Sólidos

A degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos dentro de um local de disposição de resíduos sólidos é um processo influenciado por fatores físicos, químicos e biológicos, sendo este último constituído por fases aeróbias e anaeróbias.

Na fase aeróbia, os microrganismos (principalmente bactérias, as leveduras e os fungos) se desenvolvem na presença de oxigênio. Já na fase anaeróbia, os microrganismos (principalmente bactérias) se desenvolvem na ausência de oxigênio, podendo ser anaeróbios facultativos ou anaeróbios estritos (BOSCOV, 2008).

De forma geral, degradação biológica dos resíduos sólidos ocorre em três fases: fase aeróbia, seguida da fase acetogênica e fase metanogênica. A primeira fase de decomposição é a aeróbia, que possui curta duração e cessa com o esgotamento do oxigênio. Essa fase se caracteriza pela produção de metabólitos intermediários diversos, geração de gás carbônico, água e calor (MORAES, 2014).

Conforme ocorre a diminuição de oxigênio, passam a prevalecer os microrganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam oxigênio, iniciando-se assim, a fase acetogênica (IPT, 2010). Nessa há o predomínio da fermentação ácida, onde a degradação da matéria orgânica putrescível gera compostos orgânicos simples e solúveis como ácidos graxos voláteis e hidrogênio (RESTREPO, 2013).

A solubilização desses resíduos faz com que o pH do meio aquoso caia para valores entre 4 e 6. Esse caráter ácido colabora na solubilização de materiais inorgânicos, podendo apresentar altas concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio (BOSCOV, 2008; CASTILHOS JÚNIOR, 2003).

A fase final do processo de degradação anaeróbia é conhecida como fase metanogênica, onde há o predomínio de microrganismos estritamente anaeróbios. Esses microrganismos utilizam o substrato ácido gerado na fase anterior como ácido acético, hidrogênio, ácido fórmico e monóxido de carbono e os produtos gerados nessa fase são metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂). Nessa fase o pH se eleva para a faixa entre 7 e 8 o que reduz a solubilização de compostos inorgânicos e alguns íons de metais são removidos por complexação e precipitação (RESTREPO, 2013).

Apesar dessa divisão em 3 fases facilitar o entendimento do processo de degradação biológica dos resíduos, em um aterro de resíduos essas fases não são tão bem delimitadas e podem ocorrer de forma simultânea (IPT, 2010). Durante as fases de degradação, são gerados como produtos o chorume e gases.

O chorume, também denominado percolado ou lixiviado, é o efluente resultante da decomposição dos resíduos acrescido da água de precipitação. É formado quando a umidade dos resíduos excede sua capacidade de retenção. Alguns autores fazem a distinção dos termos chorume (líquido gerado pela decomposição dos resíduos) e percolado ou lixiviado (diluição do chorume pelas águas pluviais que percolam pela massa de resíduos) (BOSCOV, 2008).

Durante toda a vida útil e mesmo após cessar a disposição de resíduos, a degradação dos resíduos sólidos continua a produzir chorume até que as taxas de degradação se estabilizem. Em condições ideais, esse período pode durar de 25 a 30 anos, após o encerramento das atividades (WANG, 2013; XING et al., 2013).

O volume, a composição e consequente tratabilidade do lixiviado variam de um local para outro (BRENNAN et al., 2015). A quantidade e a composição de chorume gerado é influenciado por uma série de fatores como: precipitações pluviométricas,

evapotranspiração, umidade inicial dos resíduos, idade do aterro, tipo de resíduos recebidos, dentre outros (IPT, 2010).

Quanto maior a precipitação pluvial e quantidade de resíduos recebido, maior a geração de chorume (BRENNAN et al., 2015). Em áreas áridas, por exemplo, a quantidade de lixiviados gerados é mínima, o influencia no tratamento (XING et al., 2013). Além disso, quanto maior a umidade inicial dos resíduos dispostos, maior o volume de chorume produzido (IPT, 2010).

A idade do aterro refere-se ao tempo que o resíduo está disposto no local, sendo submetido a decomposição e a degradação. As maiores toxidades do lixiviado de aterros jovens proveem da fase ácida da degradação anaeróbia e isso influencia diretamente no poder de contaminação da água e do solo caso o lixiviado não seja coletado e tratado (BRENNAN et al., 2015).

Outro fator que influencia a constituição do chorume é a composição gravimétrica dos resíduos sólidos destinados aos locais de disposição final. As características da massa de resíduos influenciam tanto a quantidade quanto na composição do chorume produzido, o que interfere na alteração da qualidade do solo e das águas subterrâneas e superficiais (IPT, 2010).

Apesar das variações, o chorume é constituído basicamente por resíduos microbianos, matéria orgânica, sólidos dissolvidos/em suspensão; possuem a Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO) elevada, podendo apresentar metais potencialmente tóxicos dependendo da composição química dos resíduos sólidos (CARVALHO, 2001). O chorume é uma das principais fontes de contaminação do solo e da água superficial e subterrânea próximas ao local de destinação de resíduos (SIZIRICI; TANSEL, 2015).

3.8. Contaminação dos solos

Alguns autores diferenciam os termos poluição e contaminação. Para Nass (2002 apud Boscov, 2008), o termo poluição é definido como “alteração ecológica provocada pelo ser humano, que prejudica, direta ou indiretamente, sua vida ou seu bem-estar, trazendo danos aos recursos naturais e impedindo as atividades econômicas”. Já a contaminação pode ser conceituada como: “presença, em um ambiente, de seres patogênicos ou substâncias em concentração nociva ao ser humano”.

Muitos autores, entretanto, utilizam os termos como sinônimos. Na legislação brasileira, podemos observar que muitas vezes ambos os termos aparecem com sentidos similares. O termo poluição aparece caracterizado na Lei de Crimes ambientais como “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: [...] lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (BRASIL, 1981).

Para a resolução CONAMA contaminação é “a presença de substância(s) química(s) em concentrações tais que restrinjam a utilização do recurso ambiental para os usos atual ou pretendido” (CONAMA, 2013). Podemos observar que tanto o conceito de poluição quanto contaminação, estão vinculados ao lançamento de matérias ou a presença de substâncias em desconformidade com padrões estabelecidos.

Em decorrência disto, a legislação ambiental nacional estabelece valores orientadores para nortear o enquadramento de determinada área como contaminada ou não contaminada. Para a avaliação da qualidade de solos a legislação estabelece valores orientadores que são “concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea” e são estabelecidos pelos órgãos ambientais de cada Estado (CONAMA, 2013).

Esses valores são utilizados como parâmetros de qualidade do solo, bem como instrumentos de controle da contaminação. Os valores orientadores são enquadrados como valores orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação:

“Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, ... Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais ... Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado” (CONAMA, 2009).

Conforme a concentração de substâncias químicas, o solo é enquadrado em quatro classes conforme mostra o QUADRO 1. A classe 4, requer investigação detalhada e avaliação de risco. Se for constatada contaminação, deverão ser executadas ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas (CONAMA, 2009).

QUADRO 1 - Classes de solo definidas pela Resolução CONAMA 420/2009

CLASSES	CONCENTRAÇÕES	AÇÕES
1	Menores ou iguais ao VRQ	Não requer ações
2	Pelo menos uma substância > VRQ e ≤ VP	Poderá requerer avaliações
3	Pelo menos uma substância > VP e ≤ VI	Requer identificação da fonte de contaminação
4	Pelo menos uma substância > VI	Investigação

Fonte: Adaptado Resolução CONAMA 420 (2009)

Cabe ressaltar que os valores de prevenção e de intervenção são definidos à nível nacional pela resolução CONAMA 420 (2009) e cabe a cada estado definir os valores de referência de qualidade do solo. Em Minas Gerais os valores são definidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011, os valores encontram-se apresentados no QUADRO 2 .

QUADRO 2 - Valores orientadores do solo conforme a DN COPAM nº 166 (2011)

SUBSTÂNCIA	VRQ (mg/Kg)	VP (mg/Kg)	VI (mg/Kg)		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Cádmio (Cd)	< 0,40	1,30	3,00	8,00	20,00
Chumbo (Pb)	19,50	72,00	180,00	300,00	900,00
Cobre (Cu)	49,00	60,00	200,00	400,00	600,00
Cromo (Cr)	75,00	75,00	150,00	300,00	400,00
Lítio (Li)	-	-	-	-	-
Magnésio (Mg)	-	-	-	-	-
Manganês (Mn)	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	21,50	30,00	70,00	100,00	130,00
Zinco (Zn)	46,50	300,00	400,00	1000,00	2000,00

Legenda: VRQ – Valor de Referência de Qualidade, VP – Valor de Prevenção e VI – Valor de Investigação, - dado não existe.

Fonte: Adaptado Resolução COPAM 166 (2011)

Uma área é considerada contaminada se as concentrações de elementos ou substâncias estiverem acima do valor de intervenção (CONAMA, 2009). Caso esse limite seja ultrapassado, há um risco potencial, havendo necessidade de uma investigação detalhada e a adoção de medidas emergenciais visando a restrição do acesso de pessoas à área, suspensão do consumo de água subterrânea e recuperação ambiental do local (OLIVEIRA, 2012).

3.8.1. Contaminação do solo por resíduos sólidos

Em locais de disposição final de resíduos sólidos, a degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos gera subprodutos e metabólitos que podem vir a alterar as características do solo. A alteração na qualidade do solo será influenciada pela composição gravimétrica dos resíduos destinados ao local (IPT, 2010).

Frequentemente junto aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são descartados materiais tóxicos e potencialmente perigosos que, se destinados de forma incorreta, podem apresentar riscos à saúde e ao meio ambiente (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006). São exemplos de resíduos perigosos comumente encontrados nos RSU as pilhas, baterias, embalagens de produtos químicos como tintas, eletroeletrônicos, medicamentos, lâmpadas, dentre outros. Esses resíduos são fontes de metais potencialmente tóxicos como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, cromo, zinco e manganês (MARQUES; SILVA, 2011).

Dentro dos resíduos que carecem de tratamento especial, as pilhas e baterias merecem destaque por causa da crescente comercialização e a da alta concentração de metais que possuem (MARTINELLI et al., 2014). As baterias de lítio, por exemplo, são utilizadas em diversos equipamentos como telefones celulares, laptops, brinquedos eletrônicos, câmeras digitais e filmadoras e baterias portáteis recarregáveis (KASPER et al., 2009). Em sua composição são encontrados elementos como lítio (Li), manganês (Mn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), óxido de mercúrio (HgO), óxido de prata (Ag₂O), zinco (Zn), dentre outros (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006).

Devido aos riscos associados aos resíduos perigosos, estes são disciplinados por legislações específicas. Assim, a destinação ambientalmente adequada é regulamentada por resoluções do CONAMA como a resolução nº 23/1996 que dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos (CONAMA, 1996), resolução nº 358/2005 que

dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde (CONAMA, 2005) e a resolução 401/2008 que instituiu a obrigatoriedade da logística reversa de todas as pilhas e baterias comercializadas no país (CONAMA, 2008).

Apesar da legislação disciplinar sobre a destinação correta, os resíduos perigosos frequentemente são descartados de forma incorreta em locais de disposição final de resíduos sólidos (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006). O descarte de substâncias perigosas nos resíduos domiciliares ocasiona impacto ambiental relevante à medida que são fontes de metais potencialmente tóxicos dentre outros elementos tóxicos que podem contaminar o solo, atingir águas superficiais e subterrâneas ou migrar pelo ar (IPT, 2010).

Frequentemente associados à contaminação por resíduos sólidos, metais pesados é o termo empregado para elementos químicos metálicos de elevada densidade e que ocorrem naturalmente no solo e na água, seja pela característica do solo ou intervenção antrópica. Assim, o termo é um enquadramento baseado na densidade dos elementos.

Os elementos enquadrados como metais pesados possuem elevada densidade, ou seja, maior que 5 g/cm^3 . Desta forma engloba metais (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn), semimetais e não metais (As e Se) (COSTA, 2005; CAMPOS, 2010).

Apesar de serem frequentemente associados à contaminação do solo, os metais pesados podem ser encontrados naturalmente no solo, devido às características da rocha mãe. Porém, dependendo da sua concentração, esses metais, agora em diante denominados metais potencialmente tóxicos, podem se tornar um contaminante e oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente, já que, diferente de outros poluentes tóxicos, os metais potencialmente tóxicos não são biodegradáveis e geralmente apresentam toxicidade a seres vivos (CAMPOS, 2010). No QUADRO 3 são apresentados os principais efeitos de alguns metais potencialmente tóxicos na saúde humana (IBAM, 2001).

QUADRO 3 - Efeitos dos metais potencialmente tóxico sobre a saúde humana

ELEMENTO	PRINCIPAIS DANOS À SAÚDE HUMANA
Chumbo	<ul style="list-style-type: none"> • dores abdominais (cólica, espasmo e rigidez) • disfunção renal • anemia, problemas pulmonares • neurite periférica (paralisia) • encefalopatia (sonolência, delírio, convulsões e coma)
Cádmio	<ul style="list-style-type: none"> • manifestações digestivas (náusea, vômito, diarreia) • disfunção renal • problemas pulmonares • envenenamento (quando ingerido) • pneumonite (quando inalado) • câncer
Níquel	<ul style="list-style-type: none"> • câncer • dermatite • intoxicação em geral
Manganês	<ul style="list-style-type: none"> • disfunção do sistema neurológico • afeta o cérebro • gagueira e insônia
Zinco	<ul style="list-style-type: none"> • problemas pulmonares • em contato com os olhos causa lesão grave

Fonte: Adaptado IBAM (2001)

Para Sousa (2002) os principais contaminantes relacionados à disposição de resíduos sólidos estão: Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Ag, Fe e Mn e também o elemento Li que é comumente associado aos RSU (SOUSA, ROESER, MATOS, 2002). Entretanto os elementos analisados em locais de disposição final de resíduos sólidos variam entre os estudos.

Oliveira (2012) analisou os elementos cobre, ferro, zinco, níquel, cromo e cádmio. Já Marques (2011) analisou os mesmos elementos, exceto ferro, e acrescentou o mercúrio e o chumbo. Os elementos As, Fe, Hg, Ni, Pb e Zn foram utilizados em estudos na Índia (SAMADDER, 2016) e os elementos Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd em estudos em 15 locais de disposição finais de resíduos próximos à Madri, Espanha (PASTOR, HERNÁNDEZ, 2012). O QUADRO 4 apresenta as possíveis fontes dos íons presentes no chorume.

QUADRO 4 - Possíveis fontes dos íons presente no chorume

ÍONS	FONTES
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Material orgânico, entulhos de construção e cascas de ovos
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Material orgânico
Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Sn ²⁺	Material eletrônico, latas e tampas de garrafas
Hg ²⁺ , Mn ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas e lâmpadas fluorescentes
Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	Baterias recarregáveis
Al ³⁺	Latas, utensílios domésticos e embalagens laminadas em geral
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filme e raio X
As ³⁺ , Sb ³⁺ , Cr ^{x+}	Embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos

Fonte: IPT (2010)

São características dos elementos cádmio, chumbo, cobre, cromo, lítio, magnésio, manganês, níquel e zinco:

- Cádmio: é utilizado como anticorrosivo em aço galvanizado, como pigmentos de plásticos, em pilhas e baterias recarregáveis de níquel-cádmio, em componentes eletrônicos e reatores nucleares (CETESB, 2012). A exposição ao cádmio está relacionada há uma gama de efeitos negativos à saúde humana podendo comprometer órgãos e sistemas dentre os quais destaca os rins, pulmões e ossos. Destaca-se também seu potencial carcinogênico (MUNIZ, OLIVEIRA-FILHO, 2006).

- Chumbo: é empregado em indústrias químicas e de construção, como componente de soldas, ligas, lâminas de proteção contra raios X, material de revestimento na indústria automotiva e revestimento de cabos. Óxidos de chumbo são usados em placas de baterias elétricas, esmaltes, vidros e componentes para borracha. Já os sais de chumbo compõem a base de tintas e pigmentos (CETESB, 2012). O chumbo tende a ser fortemente retido no solo, devido ao fato de ser adsorvido pela matéria orgânica. O pH influencia na disponibilidade do chumbo, sendo solos com elevada acidez, pH entre 4 e 6, o elemento torna-se biodisponível para plantas, podendo também sofrer lixiviação (MANCUSO, SANTOS, 2003). É considerado um dos metais menos móveis do solo, pois apresenta alta retenção e baixa mobilidade (ARAÚJO et al., 2002).

- Cobre: é utilizado na fabricação de moedas, fios elétricos, tubulações e encanamentos de água quente e entra na composição de ligas e chapas metálicas (CETESB, 2012). A configuração da camada eletrônica do átomo do cobre favorece o compartilhamento de elétrons (COSTA, 2005) o que pode promover ligações covalentes formando complexos estáveis (ARAÚJO et al., 2002). O cobre é fortemente retido pelo solo, sendo que a matéria

orgânica tem grande influência nessa retenção devido ao alto grau de seletividade resultante da adsorção específica (VINHAL-FREITAS, 2010).

- Cromo: está presente em ligas ferrosas e não ferrosas, em aço inoxidável, soldagens e estruturas da construção civil, visto que confere resistência à oxidação, ao desgaste e ao atrito. Também é empregado no tratamento de couro, na fabricação de tintas e pigmentos (CETESB, 2012). A toxicidade, mobilidade e biodisponibilidade do cromo depende do estado de oxidação a qual se encontra. O cromo hexavalente (Cr^{6+}), altamente tóxico e carcinogênico, é pouco adsorvido e apresenta alta mobilidade no solo, já o Cr^{3+} apresenta baixa mobilidade no solo e é fortemente adsorvido (COSTA, 2005).

- Lítio: o lítio é utilizado na indústrias de vidros e cerâmicas para conferir resistência ao calor e também em ligas, além disso é um dos componentes de pilhas e baterias que frequentemente são descartadas junto aos resíduos domésticos e comerciais (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006), assim é um dos elementos presentes no percolado das áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. Elevadas concentrações do elemento podem ocasionar distúrbios como disfunções renais e respiratórias e disfunções do sistema neurológico.

- Magnésio: o magnésio é um nutriente secundário de suma importância para as plantas visto que é o átomo central da molécula de clorofila e está envolvido na fotossíntese (LOPES, 1988). Práticas agrícolas como a calagem magnesiana, adição de fertilizantes ou corretivos contribuem para o incremento do elemento no solo (VILELA, 1998). Outra fonte importante do elemento é a matéria orgânica. Concentrações elevadas de magnésio podem causar desequilíbrio nutricional no solo, prejudicando as plantas (LOPES, 1988). No mais, caso atinja o lençol freático, em concentrações elevadas na água o magnésio causa efeito laxativo e sabor desagradável, além de elevar a dureza das águas (VON SPERLING, 2005).

Manganês: é usado na fabricação de ligas metálicas, em pilhas, palitos de fósforo, vidros, fogos de artifício, na indústria química, de couro e têxtil, e como fertilizante (CETESB, 2012). Sintomas da toxicidade por manganês nos humanos estão relacionados a disfunção neurológica, a intensidade dos sintomas varia de acordo com o tempo e intensidade da exposição, sendo que as crianças são mais susceptíveis (MENEZES FILHO, 2009). Os sintomas da doença vão desde anorexia, apatia, cefaléia, espasmos, dormência nas pernas até alterações psicológicas, psicomotoras e uma síndrome clinicamente similar ao Mal de Parkinson que se caracteriza por rigidez muscular, com tremores e inabilidade de andar para trás (MENEZES FILHO, 2009).

- Níquel: é utilizado na fabricação de aço inoxidável devido a sua resistência à ação corrosiva. Também é empregado na galvanoplastia, na produção de ligas, baterias alcalinas, moedas, pigmentos inorgânicos, próteses clínicas e dentárias (CETESB, 2012). A exposição ao níquel pode ocorrer por inalação de ar, ingestão de água e alimentos ou contato com a pele. Os compostos de níquel são cancerígenos para o ser humano (CETESB, 2012) e em níveis elevados também apresenta toxicidade às plantas. A toxicidade do níquel é influenciada pelo pH, em solos com pH neutro à alcalino a absorção é reduzida, já em pH ácido o elemento é prontamente absorvido pelas plantas. A presença de matéria orgânica também reduz o nível de absorção do elemento pelas plantas, atenuando os efeitos tóxicos (MANCUSO, SANTOS, 2003).

Zinco: é um metal essencial à animais, humanos e plantas. É utilizado nas indústrias de cerâmica, borracha e tintas, para preservar madeiras e tintas (CETESB, 2012) e aparece como componente em baterias, lâmpadas, televisores, plásticos, borrachas, bem como em alguns cosméticos e produtos farmacêuticos (MARQUES, SILVA, 2011). O zinco é um micronutriente importante para as plantas, visto que a sua deficiência frequentemente limita as culturas agrícolas (LOPES, 1988). A disponibilidade do zinco no solo é influenciada por uma gama de fatores dentre eles o pH e a matéria orgânica do solo. O aumento do pH do solo, torna o zinco menos disponível. A tendência de um solo com pH neutro a alcalino é reduzir a disponibilidade de zinco. No mais, parcela significativa do zinco disponível no solo está associado a matéria orgânica. Solos com pouca matéria orgânica frequentemente estão associados a baixa disponibilidade de zinco (LOPES, 1988).

A concentração dos elementos é resultado da interação destes com o solo. Alguns metais são complexados pela matéria orgânica, diminuindo sua mobilidade. Em outros casos formam complexos de baixo peso molecular, aumentando sua solubilidade no solo. A interação entre os metais e o solo é essencial na dinâmica da mobilidade dos metais e biodisponibilidade desses elementos (COSTA, 2005).

3.9. Interação entre solo e metais potencialmente tóxicos

Entende-se por solo o material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos e/ou químicos e também pelo transporte de material alterado ao longo do tempo. É constituído por minerais, matéria orgânica e poros ocupados por ar e água (EMBRAPA, 2013).

Na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, predomina os latossolos e os argissolos. Os latossolos são solos em estágio avançado de intemperização o que resulta na perda de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, apresentam capacidade de troca de cátions da fração argila baixa e geralmente são solos fortemente ácidos (EMBRAPA, 2013). O latossolo vermelho é caracterizado por serem solos profundos, presentes em ambientes bem drenados e pela presença de ferro, dando a ele coloração avermelhada (PMSB, 2015).

Já os argissolos possuem profundidade variável, são solos forte à moderadamente ácidos e possuem cores frequentemente avermelhadas ou amareladas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B, ou seja, há um aumento de argila do horizonte A para o horizonte B (EMBRAPA, 2013). O argissolo vermelho apresentam cor avermelhada em consequência da presença de ferro em ambientes drenados (PMSB, 2015).

Os solos são frequentemente utilizados como depósitos de resíduos industriais e domésticos. Essa disposição, quando inadequada, está entre as principais formas de contaminação do solo e da água subterrânea, com sérios efeitos à longo prazo (BOSCOV, 2008).

O solo atua como um regulador na biodisponibilidade de metais, porém sua capacidade de imobilizar metais é finita (MARTINELLI et al., 2014). Os metais podem estar no solo sobre diversas formas: adsorvidos aos sítios de troca; incorporados à superfície da fase inorgânica; em reações de precipitação e dissolução; ligados a compostos orgânicos ou na solução do solo (VINHAL-FREITAS, 2010).

A concentração de metais no solo é governada por processos como adsorção/dessorção, precipitação e dissolução. A capacidade de absorção de metais pelo solo diminui com a degradação da matéria orgânica e acidificação natural do solo, podendo mobilizar esses metais (VINHAL-FREITAS, 2010).

A adsorção é um processo de suma importância na regulação de metais no solo. Ela consiste em processo físico-químico no qual o soluto adere às superfícies das partículas do solo, especialmente argilo-minerais e matéria orgânica. Essa adsorção é proporcionada devido a forças de atração decorrentes de cargas desequilibradas nas superfícies dessas partículas (OLIVEIRA et al., 2014).

A adsorção confere aos solos a capacidade de atenuar a contaminação. Essa capacidade está especialmente vinculada aos argilominerais, os principais coloides presentes no solo. Estas partículas coloidais têm elevada superfície específica e carga elétrica negativa.

Isso gera uma atração de íons carregados positivamente e também moléculas polares como a água (BOSCOV, 2008). Desta forma a adsorção de metais é fortemente influenciada pelo pH do solo.

Araújo et al. (2002), utilizando análise de trilha e modelos de isotermas de Freundlich e Langmiur, avaliaram quais os parâmetros químicos, físicos e mineralógicos de 12 classes de solos do Brasil que melhor descrevem a adsorção de metais potencialmente tóxicos. As variáveis que mais contribuíram na magnitude de adsorção dos metais potencialmente tóxicos nos solos foram carbono orgânico, capacidade de troca de cátions efetiva, pH e argila (COSTA, 2005).

Já a precipitação é o processo no qual há transferência de soluto da solução para a interface dos sólidos do solo, formando compostos insolúveis. Em ambientes redutores, como depósito de resíduos antigos, há grande quantidade de sulfetos, o que favorece a precipitação de metais (SHINZATO, 2014). No mais, nesses ambientes, os processos de adsorção e precipitação predominam, favorecendo a retenção de metais, o que diminui a solubilidade destes (EZAKI, 2006). Dessa forma, os processos de adsorção e precipitação ajudam a compreender a mobilidade dos metais no solo.

3.10. Mobilidade de metais no solo

Quanto maior a mobilidade do elemento no solo, maior o risco de contaminação do lençol freático. A dinâmica das reações no solo, entretanto, é complexa, o que dificulta efetuar previsões acerca do comportamento dos metais no solo, principalmente a longo prazo, visto que alterações na especiação dos metais são constantes. Entretanto, determinadas características do solo como quantidade de matéria orgânica, textura e pH influenciam no comportamento dos metais potencialmente tóxicos no solo, alterando sua mobilidade. (CAMPOS, 2005; MARTINELLI et al., 2014).

3.10.1. pH

O pH do solo é a medida da concentração dos prótons H^+ presentes na solução do solo. Valores de pH inferiores a 7 são considerados ácidos, pH igual a 7,0 é neutro e valores superiores a 7 são básicos para uma temperatura de 25°C (OLIVEIRA, 2012).

A disponibilidade iônica, adsorção e mobilidade dos metais é influenciada de forma direta pelo pH do solo, já que os prótons H^+ estão em equilíbrio dinâmico com as superfícies dos coloides (EZAKI,2006). Assim, o pH exerce forte influência na protonação e desprotonação dos coloides influenciando na formação de cargas positivas ou negativas responsáveis pela adsorção e dessorção dos íons no solo.

Os íons catiônicos (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} e Cd^{2+}) apresentam maior mobilidade em condições de pH baixo, principalmente em solos intemperizados, pois a maioria dos componentes coloidais são pH-dependentes. Já o pH acima de seis favorece a dissociação de H^+ diminuindo a mobilidade dos íons catiônicos, pois há um aumento de sua adsorção ou precipitação. A exceção à regra é o ânion molibdênio, que aumenta a sua biodisponibilidade com o aumento do pH (CAMPOS, 2010).

O pH em locais de disposição de resíduos é influenciado pelos metabólitos resultantes da fermentação de resíduos orgânicos e pela solubilização de resíduos inorgânicos (CASTILHOS JÚNIOR, 2003). Desta forma, de acordo com a fase de decomposição da matéria orgânica, o valor de pH é alterado.

Na fase inicial de decomposição (aeróbia), ocorre a diminuição do pH e aumento da força iônica, conseqüentemente os metais ocorrem na forma iônica livre. Ezaki (2006) demonstrou por meio de experimentos que com o pH a partir de 5,0 os elementos chumbo (Pb) e cobre (Cu) são adsorvidos e precipitam no solo, isso se reflete no chorume, que tem a quantidade desses íons diminuídas. O elemento níquel (Ni), entretanto, não apresenta grande variação em relação ao pH e sua fixação ocorre principalmente devido à adsorção (EZAKI, 2006).

Já o cromo é o metal mais dependente da variação de pH. Em pH menor que 5,0 a disponibilidade do cromo é alta e encontra-se como íon dissolvido ($[CrOH]^{2+}$). Com o aumento do pH sua disponibilidade diminui e fica na forma $(CrOH)_3$, mais estável. Na fase de estabilização do aterro, o valor do pH próximo à 8,0 favorece a fixação e retenção de metais potencialmente tóxicos (EZAKI, 2006; GUTIERREZ, MATOS, ROSSMANN, 2010).

Com o aumento do pH do solo o cádmio forma complexos pouco solúveis, aumentando a precipitação do elemento no solo e diminuindo sua disponibilidade na solução do solo (FIRME; VILLANUEVA; RODELLA, 2014). A interação entre elementos também pode afetar a adsorção. Cobre e chumbo, por exemplo, pode diminuir a adsorção de zinco, visto que esses elementos têm mais afinidade com a matéria orgânica do que o referido elemento (GUTIERREZ, MATOS, ROSSMANN, 2010).

3.10.2. Textura

A textura é caracterizada pela proporção dos componentes do solo: areia, silte e argila. Conhecer a textura de um solo é de grande importância, já que essa propriedade interfere no comportamento físico e químico do solo.

Em alguns municípios, tem se observado o recobrimento de aterros controlados com resíduos de construção civil, o que pode interferir nas características do solo no local. Os resíduos da construção civil englobam concretos, argamassas e reboques que são feitos com cimento e cal hidratada que utilizam como matéria-prima principal o calcário (LASSO, 2013), o que pode contribuir para a elevação do pH do local. No mais, análises de solubilidade desses resíduos, que simula o desprendimento de constituintes em condições de chuvas não ácidas, apresentou valores de alumínio, cádmio, chumbo, cromo e sulfato acima do limite permitido pela NBR 10004 (ABNT, 2004; LIMA, CABRAL 2013).

Lima (2013), ao caracterizar os resíduos da construção civil da cidade de Fortaleza/CE, constatou que areia e solo compõe 24,65% desses resíduos seguido de argamassa (22,00%) e concreto (15,6%) (LIMA, CABRAL 2013). Ou seja, o recobrimento de aterros controlados com resíduos da construção civil pode alterar a textura do solo e interferir no comportamento de metais no solo. Ezaki (2006), em experimento que simula a decomposição de resíduos em dois aterros com características de textura de solos distintas, constatou que no solo mais arenoso, devido à maior velocidade de lixiviação, houve menor tempo de contato entre o íon e o solo e conseqüentemente menor adsorção.

3.10.3. Matéria Orgânica

A matéria orgânica (MO) do solo é todo material de origem orgânica, incluindo resíduos vegetais, animais, de micro-organismos, exsudatos radiculares e substâncias húmicas (OLIVEIRA, 2012). Assim como os argilominerais e óxidos hidratados, a matéria orgânica possui superfície específica pH dependente. Em decorrência a isto, o aumento do pH, aumenta a carga negativa de sua superfície específica, ocasionando o aumento da adsorção ou complexação dos metais potencialmente tóxicos nos solos (COSTA, 2005).

A grande afinidade e interação da matéria orgânica com os metais potencialmente tóxicos resulta em adsorção física, atração eletrostática, ligações de hidrogênio e formação de complexos estáveis (CAMPOS, 2010). Entretanto essa afinidade é diferente para cada elemento. Os metais cádmio (Cd), níquel (Ni) e zinco (Zn) apresentam maior mobilidade no solo, especialmente em solos pobres em matéria orgânica. Já o cobre e o chumbo são fortemente retidos no solo (COSTA, 2005). Por consequente, trabalhos não têm evidenciado correlações significativas entre a quantidade de MO e a adsorção de cádmio (Cd), níquel (Ni) e zinco (Zn). Já para o cobre (Cu), a matéria orgânica tem grande influência em sua retenção devido ao alto grau de seletividade resultante da adsorção específica (VINHAL-FREITAS, 2010).

Em locais de disposição final de resíduos sólidos, há um incremento de matéria orgânica, já que é a fração mais representativa dos resíduos sólidos urbanos gerado no Brasil (SINIR, 2012). A matéria orgânica é fonte de nitrogênio e outros elementos essenciais para as plantas como fósforo, magnésio, enxofre e micronutrientes como cobre, manganês e zinco (LOPES, 1988), que em excesso podem provocar alterações na qualidade do solo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

Tupaciguara é um município de pequeno porte localizado na microrregião de Uberlândia, inserida na Região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais. A atividade econômica que mais tributa para o PIB municipal é o setor de serviços, no valor de 190.755 mil reais, seguido pela agropecuária e indústria, com 165.259 e 35.907 mil reais, respectivamente. Os principais produtos agrícolas são a soja, o milho, a cana de açúcar e o abacaxi (IBGE, 2010).

A área territorial do município é de 1.823,960 km², a população estimada para 2017 é de 25.538 habitantes e em 2010 a densidade demográfica era de 13,26 hab/ km² (IBGE, 2017). Segundos dados do último censo do IBGE (2010), possui taxa de urbanização, que é o percentual da população que reside na zona urbana, de 91,13%.

No mais, Tupaciguara está localizada sob a Bacia Sedimentar do Paraná que apresenta arenitos intercalados com derrames de rochas magmáticas. Assim, as principais classes de solo encontradas no município são o argisolo vermelho e latossolo vermelho, predominando o último (PMSB, 2015).

O município teve seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) implementado em 2015. Nele está inserido o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) que inclui o diagnóstico da situação do gerenciamento dos resíduos gerados no município. Sua elaboração contemplou a participação popular através de oficinas setoriais e enquetes, onde foram levantadas as principais demandas e anseios da sociedade referente a saneamento básico (PMSB, 2015).

A gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município são de responsabilidade da Prefeitura Municipal, por meio da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Serviços Urbanos (PMSB, 2015). Dentre os serviços prestados à população estão a coleta domiciliar, varrição de vias públicas, coleta de entulhos e dos resíduos do serviço de saúde gerados em estabelecimentos públicos de saúde.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) relativo ao ano de 2015, a coleta de resíduos sólidos urbanos no município é do tipo porta-a-porta e abrange toda área urbana do município. De acordo com informações do SNIS,

50,0% da população é atendida com coleta diária dos RSU, 45,0% com a frequência de 2 à 3 vezes na semana e 5,0% com frequência de uma vez por semana (SNIS, 2016).

Dentre os resíduos enquadrados como especiais, apenas os resíduos pneumáticos são destinados corretamente. Não existe registro sobre o manejo e destinação final dos demais resíduos especiais no município e não há legislação municipal estabelecendo a prática de logística reversa (PMSB, 2015).

A maior demanda da população referente à resíduos sólidos, é a necessidade de implantação de um programa de coleta seletiva para o município (PMSB, 2015). Os materiais recicláveis que não são interceptados pela ação dos catadores são coletados junto com os demais resíduos gerados.

Tupaciguara não possui aterro sanitário e os resíduos sólidos urbanos coletados são destinados para um local denominado como aterro controlado municipal, ou seja, de forma inadequada pela PNRS. A referida área possui 7,08 hectares e está distante três quilômetros da rodovia MG 223 (PMSB, 2015).

Não foram encontradas informações documentais sobre a quanto tempo esse local é utilizado pela prefeitura para disposição dos resíduos sólidos do município. Entretanto, sabe-se que até 2005 a área era utilizada como lixão e que nesse ano foram realizadas adequações na área para adequá-la como aterro controlado e os resíduos começaram a ser recobertos com solo e resíduos da construção civil (MARQUEZ, 2008).

No mais, os resíduos de serviços de saúde gerados nos estabelecimentos públicos da cidade são coletados pelo setor de zoonoses do município e depositados em valas específicas dentro do local de disposição final (PMSB, 2015), ou seja, não recebem a destinação ambientalmente adequada segundo a resolução CONAMA n° 358 (CONAMA, 2005).

4.2. Avaliação do local de disposição de resíduos sólidos por meio do índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR)

A primeira etapa do projeto consistiu em caracterizar o local de disposição final de RSU do município de Tupaciguara, MG. Os dados foram levantados por meio de análise documental (SNIS, PMSB e artigos de base de dados científicas) e vistoria *in loco* que foi realizada em janeiro de 2017. A metodologia utilizada foi o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB (CETESB, 2015).

Esse índice consiste em uma planilha dividida em três partes. Cada parte é composta por itens, subitens e critérios de avaliação (Anexo A). A primeira parte da planilha avalia os itens: estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estrutura de proteção ambiental. Cada item possui seu subitem correspondente (CETESB, 2015).

A segunda parte da tabela, denominada outras informações, apresenta os subitens: presença de catadores, queima de resíduos, ocorrência de moscas e de roedores, presença de aves e de animais, assim como, o recebimento de resíduos não autorizados, recebimento de resíduos industriais e estrutura e procedimentos. Já na terceira parte da tabela são enquadradas as características das áreas e contém os subitens proximidade de núcleos habitacionais, proximidades de corpos d'água, vida útil da área e as restrições legais do uso do solo (CETESB, 2015).

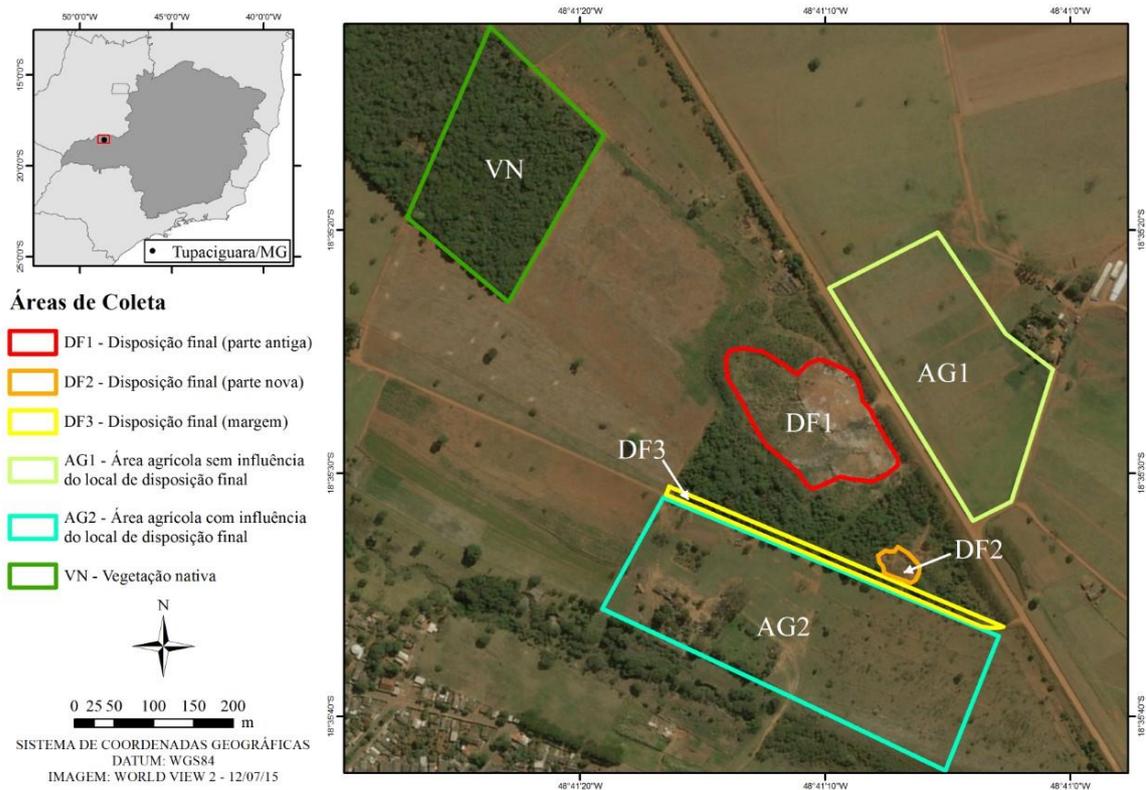
Cada subitem é pontuado de acordo com os critérios estabelecidos na planilha e cada uma das três partes da planilha recebe uma pontuação. Após levantar todas as informações, a soma da pontuação da planilha dividido por dez é o valor do IQR obtido. O índice varia de 0 a 10, sendo que resultados entre 0 a 7,0 enquadra o local de disposição final como inadequado e entre 7,1 a 10,0 como adequado (CETESB, 2015).

4.3. Definição dos pontos de amostragem de solo

Após a caracterização do local de disposição final de resíduos sólidos, foram definidas as áreas onde seriam coletadas as amostras de solo. Com o objetivo de verificar se a disposição final inadequada de resíduos sólidos altera a concentração dos elementos estudados (Cu, Li, Mn, Ni, Pb e Zn) foi realizada a amostragem do solo no interior do local de disposição final de resíduos sólidos e ao seu entorno.

As amostras foram coletadas em seis diferentes áreas sendo três no interior do local de disposição de resíduos, duas áreas agrícolas e um remanescente de vegetação nativa, conforme indicado na FIGURA 1.

FIGURA 1 - Mapa do local de disposição final de resíduos sólidos



Fonte: World view 2 (2015)

Na parte interna do local de disposição final de resíduos sólidos foram coletadas amostras em três áreas diferentes sendo: margem, parte antiga e parte nova. O local denominado como parte nova é uma área que foi desmatada e passou a receber resíduos sólidos à menos tempo comparado com a área denominada parte antiga, conforme pode ser observado na série histórica das imagens disponíveis pelo *google earth* (FIGURA 2). Durante as coletas, foi possível perceber que na parte antiga predomina a disposição dos resíduos sólidos gerados no município e a parte nova recebe principalmente carcaças de animais e resíduos hospitalares.

FIGURA 2 - Imagem do local de disposição final de resíduos sólidos no ano de 2003



Fonte: Google Earth (2018)

O objetivo em amostrar o solo de um remanescente de vegetação nativa foi obter uma área controle com a menor interferência antrópica possível. Assim, dentro do mosaico de paisagens da área estudada, o local escolhido é o fragmento vegetal mais representativo. Essa área localiza-se a cerca de 400 metros do centro do local de disposição final de resíduos sólidos, consiste em uma área preservada de vegetação nativa onde não são desenvolvidas atividade agrosilviopastoris e não é influenciada pelo escoamento superficial do local de disposição final de resíduos sólidos por possuir uma altitude superior.

As áreas agrícolas foram amostradas com o objetivo de verificar se a concentração dos elementos é influenciada pelo escoamento superficial da área onde são dispostos os resíduos sólidos. Assim, foi escolhida uma área agrícola sem influência do escoamento superficial por possuir uma altitude superior e foi denominada área agrícola 1 (AG1) e outra área agrícola localizada em uma altitude inferior ao local onde são dispostos os resíduos,

denominada área agrícola 2 (AG2). Ambas as áreas, no ano de coleta de dados, eram destinadas a pastagens de gado.

4.4. Preparo das amostras

As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm com o auxílio de um trado holandês e acondicionadas em sacos plásticos identificados. Após coletadas foram secas em estufa a uma temperatura de 40° C por 24 horas, destorroadas e passadas em peneiras de dois milímetros de diâmetro de malha. Foram realizadas três coletas de solo sendo a primeira em fevereiro, a outra em julho e a última em novembro, todas no ano de 2017. Todas as coletas foram por amostragem simples.

A primeira coleta, realizada em fevereiro de 2017, teve como objetivo verificar se havia diferença significativa entre os pontos amostrados dentro da margem e também entre os pontos amostrados dentro da área agrícola com influência do escoamento superficial. Assim, foram amostrados seis pontos na margem do local de disposição final, cinco pontos na área agrícola com influência do escoamento superficial, um ponto na propriedade agrícola sem influencia e dois pontos na parte antiga do local onde os resíduos são enterrados.

Na primeira coleta não foi possível amostrar um número maior de pontos dentro do local de disposição final porque o solo estava muito compactado. Isso ocorreu porque os resíduos não estavam sendo compactados e recobertos por solo e, dias antes da primeira coleta, os RSU foram recobertos com solo e compactados, o que inviabilizou a coleta de mais pontos. Após a análise dos resultados da primeira coleta, padronizou-se que as demais coletas teriam como padrão a amostragem de três pontos em cada área, o que foi realizado.

4.5. Determinação da concentração de elementos dentro do local de disposição final de resíduos sólidos e áreas ao entorno

Para determinação da concentração dos elementos analisados, as amostras de solo foram submetidas a digestão ácida pelo método de solubilização ácida SW 3050B da Agência Ambiental Norte Americana (USEPA). Esse procedimento de digestão ácida forte, solubiliza os elementos da amostra.

A metodologia utiliza um grama de solo a qual é adicionado dez mililitros de solução de ácido nítrico 1:1 e a amostra é aquecida em bloco digestor, à uma temperatura de $95^{\circ} \pm 5^{\circ}$, por quinze minutos. Após atingir a temperatura ambiente, são adicionados cinco mililitros de ácido nítrico concentrado e as amostras são encaminhadas para aquecimento por $95^{\circ} \pm 5^{\circ}$, por trinta minutos. Esse procedimento é repetido até que não seja mais observada a liberação de fumaça marrom.

Após essa etapa, adiciona-se dois mililitros de água deionizada, três mililitros de peróxido de oxigênio, aquece a amostra e continua a acrescentar peróxido de oxigênio até que a efervescência seja minimizada ou o aspecto permaneça inalterado. Cabe ressaltar que o limite de peróxido de oxigênio que pode ser acrescentado é de dez mililitros. A próxima etapa é manter a amostra em temperatura de $95^{\circ} \pm 5^{\circ}$ por duas horas, deixar esfriar a temperatura ambiente, adicionar dez mililitros de ácido clorídrico e retornar ao bloco digestor por mais quinze minutos.

Após resfriamento, a amostra é filtrada em papel de faixa azul (filtração lenta), onde fica retido o material particulado. Por fim, a solução é avolumada até cem mililitros com água destilada e encaminhada para o espectrofotômetro de emissão atômica com fonte de indução de plasma acoplado - ICP-OES que quantificou os elementos químicos de interesse do projeto.

No mais, para cada ponto amostrado as análises foram feitas em triplicata e para cada digestão foram preparados três brancos que foram submetidos ao mesmo processo de digestão das amostras. Os metais analisados foram Cu, Li, Mn, Ni, Pb e Zn comumente encontrado em RSU (MARQUES, SILVA, 2011; PASTOR, HERNÁNDEZ, 2012; SAMADDER, 2016; SOUSA, ROESER, MATOS, 2002).

Com o objetivo de validar a metodologia utilizada para a digestão ácida, uma amostra certificada (NIST – solo San Joaquim – SEM 2709) foi submetida aos mesmos procedimentos de digestão das amostras de solo.

4.6. Análise de pH, granulometria e carbono orgânico total

A caracterização do solo quanto aos parâmetros físico-químicos foi realizada em laboratórios do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

A análise de pH foi conforme a metodologia de pH em água proposta pela EMBRAPA, 2011 e foi realizada no Laboratório de Análise de Solos (LABAS).

A análise de granulometria seguiu o procedimento estabelecido pelo método da pipeta de acordo com a NBR 6502/1995 e foi realizada no Laboratório de Manejo de Solo (LAMAS). O método consiste em determinar a distribuição granulométrica de solos finos através da velocidade sedimentação das partículas de solo em meio líquido (NBR 6502, 1995).

Já as análises de Carbono Orgânico Total (COT) seguiram a metodologia de extração proposta por Benites e Swift (2001) e foram realizadas no Laboratório de Pedologia (LAPED). Essa metodologia consiste na oxidação da matéria orgânica em solução de dicromato de potássio para posterior titulação em solução de sulfato ferroso amoniacal.

4.7. Análise estatística dos resultados

Os resultados da concentração dos elementos foram submetidos a análise de normalidade dos resíduos e ao teste de homogeneidade e variância (teste de Levene e teste de Shapiro Wilk). Como os dados não atenderam as condições de normalidade e homogeneidade, foram submetidos ao Teste de Wilcoxon, com nível de significância de 5% (BUSSAB, 2002).

No mais, foi elaborada uma matriz de correlação entre o atributo do solo carbono orgânico total e as concentrações encontradas para os elementos. Em decorrência da distribuição não normal da concentração dos elementos, optou-se por utilizar a correlação não paramétrica de Spearman (BUSSAB, 2002).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização do local de disposição final de RSU

A caracterização do local de disposição final de RSU de Tupaciguara foi realizada utilizando como referência o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) proposto pela CETESB. As informações sobre os itens e subitens da planilha que compõe o IQR foram levantadas e pontuados de acordo com a situação encontrada no dia da vistoria realizada em janeiro de 2017 (Anexo B).

Ao final do levantamento de dados, foi realizado o somatório da pontuação para o cálculo do IQR (Anexo B). Informações complementares à vistoria foram adquiridas por meio de levantamento bibliográfico em artigos de base científica e documentos municipais. Os resultados serão apresentados conforme a divisão da planilha da CETESB.

5.1.1. Estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estrutura de proteção ambiental

A primeira parte da planilha tem como objetivo avaliar os itens estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estrutura de proteção ambiental. No item estrutura de apoio foram observados os subitens: portaria, balança e vigilância; isolamento físico; isolamento visual e acesso à frente de descarga.

A área encontra-se isolada com cerca de arame e cerca viva arbórea, atendendo então os subitens isolamento físico e isolamento visual, recebendo dois pontos para cada subitem.

O acesso ao local é pela MG 223 que consiste em uma rodovia de terra batida cascalhada e no período avaliado tinha boas condições de tráfego. Já os acessos internos são estreitos, não preveem espaços apropriados para manobra de veículos e passam sobre locais onde há resíduos que não estão aterrados, o que pode ocasionar danos nos veículos. No mais, na estação chuvosa há acúmulo de água nas vias internas, o que dificulta o tráfego. Diante do exposto, o subitem foi considerado como não adequado obtendo pontuação zero.

O local possui portaria, entretanto essa se encontra desativada e em situações precárias que impossibilita o uso conforme demonstrado na FIGURA 3. O local também não

possui balança para controlar a quantidade de resíduos que chega diariamente, obtendo assim, pontuação zero nesse subitem.

FIGURA 3 - Portaria do local de disposição final de Tupaciguara/MG



Fonte: Autora (2017)

O item frente de trabalho compreende os subitens: dimensões da frente de trabalho, compactação dos resíduos e recobrimento dos resíduos. O recobrimento dos resíduos, também denominado revestimento superior ou cobertura, minimiza os impactos ambientais e reduz os riscos à saúde pública visto que evita a presença de vetores de doenças.

Entre suas funções está a de isolar os resíduos do exterior, controlar a entrada e saída de gases e evitar a infiltração da água das chuvas na massa de resíduos (BOSCOV, 2008). Além disso, o recobrimento e compactação dos resíduos são características essenciais para diferenciar um local de disposição final como sendo aterro controlado ou lixão a céu aberto (IPT, 2010).

No dia da visita foi constatado que os resíduos não estavam sendo recobertos e compactados (FIGURA 4) sendo que, pelas características encontradas, o local se enquadraria como lixão. Já em fevereiro, julho e novembro, quando foram realizadas as amostragens de solo no mesmo local, os resíduos já estavam sendo recobertos e compactados. Ou seja, as condições no local de disposição final de resíduos sólidos foram melhoradas em um curto período, o que iria refletir no valor do IQR.

FIGURA 4 - Resíduos à céu aberto no local de disposição final de Tupaciguara/MG



Fonte: Autora (2017)

Ainda sobre o item frente de trabalho, devido à ausência de planejamento na disposição dos resíduos sólidos, não foi possível delimitar a frente de trabalho, assim sendo, o item não foi pontuado.

Situação semelhante aconteceu no item taludes e bermas que abrange os subitens: dimensões e inclinações, cobertura de terra, proteção vegetal e afloramento de chorume. Não foi possível identificar taludes ou locais cuja atividade de disposição de resíduos já havia sido encerrada. Assim os subitens dimensões e inclinações, cobertura de terra e proteção vegetal, não puderam ser avaliados. Já o subitem afloramento de chorume foi pontuado com nota zero visto que foi possível observar locais de afloramentos de chorume.

No item superfície superior, os subitens nivelamento da superfície e homogeneidade da cobertura foram pontuados com nota zero, pois não foi constatada a cobertura dos resíduos. Até mesmo em aterros sanitários, o item superfície superior pode não atender aos requisitos exigidos, conforme observado por Pirete, Oliveira e Vasconcelos (2014).

No item estrutura de proteção ambiental foram observados os subitens: impermeabilização do solo, profundidade do lençol freático X permeabilidade do solo, drenagem de chorume, tratamento de chorume, drenagem provisória de águas pluviais,

drenagem definitiva de águas pluviais, drenagem de gases, monitoramento de água subterrânea, monitoramento geotécnico.

Conforme observado em vistoria e informações do PMSB, não há impermeabilização do solo (PMSB, 2015). Cabe ressaltar que a impermeabilização do local de disposição final de resíduos sólidos é de suma importância, pois evita que o resíduo e o chorume entrem em contato com o solo natural, evitando sua contaminação (BOSCOV, 2008).

Segundo a NBR 13895/1997 o monitoramento mínimo exigido para águas subterrâneas é um poço localizado à montante para avaliar a qualidade da água subterrânea sem interferência do local de disposição final de resíduos e três à jusante para monitorar possíveis impactos ambientais. No local do estudo, não existem poços de monitoramento de água subterrânea, assim esse subitem recebeu pontuação zero (NBR 13895/1997).

Quanto ao subitem profundidade do lençol freático X permeabilidade do solo não foi possível determinar a profundidade do lençol freático e não foram encontradas informações referentes a esse item nas fontes pesquisadas, o que inviabilizou a análise desse item.

O local não possui sistemas de drenagem e tratamento de chorume, drenagem de águas pluviais e de gases. A inexistência de sistema de drenagem das águas pluviais faz com que a água da chuva forme poças no local de disposição de resíduos (FIGURA 5).

FIGURA 5 - Ausência de Sistema de drenagem de águas pluviais



Fonte: Autora (2017)

O monitoramento geotécnico compreende técnicas de acompanhamento e medição da estabilidade de taludes de forma a identificar alterações no comportamento previsto e garantir a estabilidade do maciço, evitando potenciais riscos ambientais. Para isso utiliza de instrumentos como marcos superficiais, piezômetros e inclinômetros e da inspeção visual (BOSCOV, 2008). No local de estudo o monitoramento geotécnico é inexistente, sendo assim, esse subitem recebeu pontuação zero.

5.1.2. Outras informações

No item “Outras informações”, foram observados os subitens presença de catadores, queima de resíduos, ocorrência de moscas e de odores, presença de aves e de animais, assim como, o recebimento de resíduos não autorizados e recebimento de resíduos industriais.

Como a entrada ao local não é controlada, há a presença de catadores de materiais recicláveis que segregam os resíduos e os armazenam em *bags* (FIGURA 6). Não há sinalização na entrada ou nas cercas advertindo sobre o fato da entrada ser proibida, nem vigias ou outra forma de controle ao acesso de pessoas. Cabe ressaltar que, nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, a catação é proibida por lei federal (BRASIL, 2010). Diante do exposto, o item presença de catadores obteve pontuação zero.

FIGURA 6 - A) presença de catadores. B) armazenamento do material em *bags*



Fonte: Autora (2017)

A presença de pessoas não autorizadas favorece focos de incêndio que ameaçam a saúde humana e o meio ambiente, como observado na FIGURA 7. A queima de resíduos a céu aberto é proibida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Assim sendo, o item queima de resíduos obteve pontuação zero.

FIGURA 7 - Foco de incêndio no local de disposição final de RSU



Fonte: Autora (2017)

Na vistoria foi constatada maus odores e a presença de urubus, provavelmente relacionados à ausência de recobrimento. Por isso, o subitem ocorrência de moscas e odores e o subitem presença de aves e de animais, não foram pontuados. A presença de moscas e/ou urubus frequentemente está associada à locais de disposição final de resíduos sólidos, sendo encontrada, por exemplo, nos trabalhos de Guerra, Vidal e Souza (2010), Pirete, Oliveira e Vasconcelos (2014) e Andrade, Serra e Andrade (2013).

Em relação aos subitens recebimento de resíduos não autorizados e recebimento de resíduos industriais, um estudo de composição gravimétrica dos resíduos sólidos que chegam ao local detectou a presença de resíduos do serviço de saúde, pilhas e baterias que não poderiam ser destinados ao local (MARQUEZ, 2008). Diante disso, e da ausência de controle (guarita) presume-se que o local receba resíduos não autorizados e industriais, fazendo então que esses subitens não pontuassem.

5.1.3. Características da área

No item características da área foram observados os subitens proximidade de núcleos habitacionais, proximidades de corpos d'água, vida útil da área e as restrições legais do uso do solo.

Em relação à proximidade de núcleos habitacionais, a distância do centro do local de disposição final até o núcleo populacional mais próximo atende ao critério estabelecido por ser igual ou maior à 500 metros. A distância mínima entre um local de disposição final e um curso d'água, segundo ABNT NBR 13896/1997, é de 200 metros. O corpo d'água mais próximo do local de estudo é o Córrego Queixadas que está distante mais de 200 metros do local onde os resíduos são dispostos, atendendo ao critério estabelecido pelo IQR.

Referente a vida útil da área, como os resíduos sólidos são dispostos em um local ambientalmente inadequado e, por isso, proibido pela legislação nacional o subitem não foi pontuado.

Quanto às restrições legais ao uso do solo, apesar de no plano diretor do município não haver nenhuma restrição ao local de disposição de final de resíduos sólidos, esse não possui licença ambiental do órgão competente para o desempenho da atividade fim (PMSB, 2015). Diante do exposto, o local de estudo não atende ao critério do IQR, visto que possui restrições legais ao uso do solo, não sendo pontuado.

5.1.4. Pontuação do IQR

As pontuações do local de estudo, por item, são apresentadas no QUADRO 5. O subtotal da primeira parte da planilha foi de quatro pontos, sendo que único item que pontuou foi a estrutura de apoio, devido aos subitens isolamento físico e visual da área. Já a segunda parte da planilha não obteve pontuação. A pontuação da terceira parte da planilha foi de quatro pontos. Os subitens que receberam pontuação máxima foram a proximidade com núcleos populacionais e proximidade com corpos d'água.

QUADRO 5 - Pontuação, por item, dos critérios levantados no local de estudo

ITEM	PONTOS
ESTRUTURA DE APOIO	4
FRENTE DE TRABALHO	0
TALUDES E BERMAS	0
SUPERFICIE SUPERIOR	0
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	0
SUBTOTAL 1	4
OUTRAS INFORMAÇÕES	0
SUBTOTAL 2	0
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	4
SUBTOTAL 3	4
TOTAL	8
IQR	0,8

Fonte: Adaptado de Cetesb (2015)

Como é possível observar no QUADRO 5 o valor do IQR para a área foi de 0,8 pontos, o que enquadra o local como inadequado. Esse valor extremamente baixo era esperado pois devido as características encontradas na área no dia da visita, o local se enquadra como lixão à céu aberto visto que os resíduos não estavam sendo recobertos.

Além disso, o local não seguia nenhum critério de engenharia como impermeabilização de fundo, drenagem de gases, coleta e tratamento do chorume, drenagem das águas pluviais, cobertura dos resíduos, dentre outros. No mais, alguns subitens estão em desconformidade com a legislação nacional, dentre os quais destaca-se a queima de resíduos sólidos e a presença de catadores que são proibidos por lei (BRASIL, 2010).

No município de Araguari/MG cuja disposição final dos resíduos sólidos ocorre em aterro sanitário, forma de disposição ambientalmente adequada, o valor do IQR foi de 7,7 pontos, enquadrando o local como adequado. As condições dos acessos internos e o recobrimento dos resíduos foram os principais pontos a serem melhorados (PIRETE, OLIVEIRA e VASCONCELOS, 2014).

Entretanto nem todo aterro sanitário enquadra-se em condições adequadas, um exemplo é o aterro sanitário de Palmas/TO que obteve IQR de 7,0 pontos. As piores pontuações foram relativas as condições operacionais (ANDRADE, SERRA e ANDRADE, 2013). Isso demonstra a importância de monitorar os locais de disposição final de resíduos visto que até aterros sanitários podem estar em condições inadequadas o que pode ocasionar impactos ambientais negativos.

Outra situação é o caso do município de Taquarituba/SP, em 2006 o IQR do município foi de 4,46 pontos, considerado como inadequado. Após melhorias, esse índice subiu para 9,6 pontos, o que enquadrou a área como aterro sanitário em condições adequadas (GUERRA, VIDAL e SOUZA, 2010).

Segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de São Paulo, em 2015, o IQR de 93,6% dos municípios do estado foi enquadrado como adequado, um avanço comparado com o ano de 2011, quando essa porcentagem foi de 76,3% (CETESB, 2016). Esse acompanhamento dos locais de disposição final de resíduos só é possível através de um índice com critérios padronizados.

Apesar de alguns municípios ainda apresentarem uma situação inadequada, a melhoria nos resultados provavelmente se deve ações do Estado aplicadas aos municípios que apresentam irregularidades. Dentre as ações destaca-se a assinatura de Termos de Ajustamento de Conduta (TAC's), das orientações e fiscalizações das agências ambientais da CETESB junto aos municípios, dentre outras ações (CETESB, 2015).

5.2. Validação da metodologia para análise de metais em amostras de solo

Com o objetivo de validar a metodologia de digestão ácida das amostras de solo, foi utilizado como material de referência a amostra certificada NIST - solo *San Joaquin* (SEM 2709) que foi submetida aos mesmos procedimentos de digestão das amostras de solo. A mostra a comparação entre os valores certificados e os valores obtidos.

TABELA 1 - Comparação entre os valores medidos e certificados da amostra de referência *San Joaquin* por ICP-OES

Elemento	Valor medido (mg.Kg ⁻¹)	Valor certificado (mg.Kg ⁻¹)	Erro relativo (%)
Cu	35,8	33.9 ± 0.5	-5,60%
Mn	506	529 ± 18	4,35%
Ni	78,5	85 ± 2	7,65%
Pb	11,1	17.3 ± 0.1	35,83%
Zn	100,6	103 ± 4	2,33%

Fonte: Autora (2017)

Conforme observado na TABELA 1, com exceção do chumbo, os demais elementos tiveram erro relativo inferior à 10%. A amostra certificada NIST - solo *San Joaquin* (SEM 2709) não apresenta valores certificados para o lítio.

5.3. Concentrações dos metais na área de estudo

O solo na área de disposição final de resíduos sólidos de Tupaciguara/MG e seu entorno foi amostrado nos meses de fevereiro, julho e novembro de 2017. Os resultados e a discussão referentes às concentrações encontradas serão apresentados abaixo.

5.3.1. Micronutrientes relacionados à Matéria Orgânica (Cu, Mn e Zn)

Os metais cobre, manganês e zinco apresentam em comum o fato de serem micronutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas e animais, além de serem liberados na decomposição da matéria orgânica (LOPES, 1988). Entretanto, em excesso, esses metais podem ser prejudiciais e desencadear efeitos tóxicos nas plantas e na biota do solo. Além da matéria orgânica, práticas agrícolas inadequadas podem gerar um acúmulo excessivo desses elementos proveniente de corretivos, fertilizantes, defensivos e fungicidas (ZORTÉA, 2016).

Na TABELA 2 é apresentado os valores da concentração dos elementos cobre, manganês e zinco nas amostras de solo coletadas na 1º amostragem (fevereiro/2017), 2º amostragem (julho/2017) e 3º amostragem (novembro/2017). Os dados em destaque (negrito) referem-se aos valores superiores ao limite do Valor de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011 (COPAM, 2011). O elemento manganês não possui valores orientadores para solos.

TABELA 2 - Concentração de cobre, manganês e zinco nas três amostragens

CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS (mg.Kg ⁻¹)							
		ÁREAS					
		DF1	DF2	AG1	AG2	VN	
Cobre (Cu)	1° Amostragem	39,21	-	33,08	44,17	-	
		84,75	-	-	44,44	-	
		-	-	-	43,26	-	
		-	-	-	49,06	-	
	2° Amostragem	23,21	23,83	24,68	26,47	20,76	
		42,30	24,39	22,03	23,26	21,76	
		108,23	15,52	23,09	21,73	22,51	
		33,46	25,12	22,68	20,24	20,52	
	3° Amostragem	24,46	20,87	21,27	23,21	21,76	
		28,77	25,10	23,10	23,43	21,92	
		Média	48,05	22,47	24,28	32,77	21,54
		Mediana	36,34	24,11	23,09	26,47	21,76
			VRQ	49,00			
Manganês (Mn)	1° Amostragem	224,76	-	207,11	164,18	-	
		592,05	-	-	156,84	-	
		-	-	-	157,99	-	
		-	-	-	171,34	-	
	2° Amostragem	97,32	90,43	116,58	76,11	97,22	
		135,98	102,05	108,17	78,47	100,56	
		179,60	90,12	112,16	69,27	102,63	
		155,57	141,52	147,64	114,80	135,26	
	3° Amostragem	149,82	130,32	135,35	108,79	140,86	
		215,40	143,77	142,81	107,23	129,85	
		Média	218,81	116,37	138,55	125,96	117,73
		Mediana*	167,58	116,18	135,35	114,80	116,24
Zinco (Zn)	1° Amostragem	44,65	-	37,33	24,60	-	
		62,53	-	-	20,69	-	
		-	-	-	19,89	-	
		-	-	-	25,43	-	
	2° Amostragem	36,57	24,53	42,76	30,00	24,49	
		52,18	28,53	30,96	22,88	24,49	
		387,01	18,78	33,62	19,24	30,87	
		47,27	19,13	23,56	15,60	19,75	
	3° Amostragem	21,38	13,90	22,72	18,05	20,28	
		41,32	20,39	26,27	14,51	20,40	
		Média	86,61	20,88	31,03	21,169	23,38
		Mediana	45,96	19,76	30,96	20,69	22,44
			VRQ	46,5			

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; DF-2: disposição final - parte nova; AG-1: área agrícola 1; AG2: área agrícola 2 e VN – vegetação nativa. – dado não existe. VRQ – valor de referência de qualidade.

Fonte: Autora (2017)

Na TABELA 2 observa-se que todos os pontos coletados dentro da área de vegetação nativa (VN) apresentaram concentrações para os elementos cobre e zinco dentro dos valores de referência de qualidade de solo. Tal resultado já era esperado visto que a área foi escolhida como controle, já que não é desenvolvida nenhuma atividade antrópica na área.

Nas áreas agrícolas, em nenhum dos pontos amostrados a concentração do zinco ultrapassou os valores de referência de qualidade, assim como na área de vegetação nativa. Ou seja, dentro da área agrícola, que no ano da coleta de dados era destinada a pastagem, a

concentração do elemento estava dentro dos Valores de Referência de Qualidade de solo (VRQ). Porém, observa-se uma situação diferente para o elemento cobre já que um ponto da área agrícola 2 (AG-2), com possível influência do local de disposição final, ultrapassou o VRQ.

O aporte do elemento cobre na área agrícola 2 (AG-2) pode ser proveniente tanto de uma possível influência do local de disposição final, conforme foi evidenciado por Marques (2011) em área ao entorno de aterro controlado, quanto devido a atividade desenvolvida na propriedade. Práticas agrícolas inadequadas podem gerar um acúmulo de cobre proveniente de corretivos, fertilizantes, defensivos e fungicidas (ZORTÉA, 2016).

Em relação ao local de disposição final de resíduos sólidos, apenas os pontos coletados dentro da parte antiga (DF-1), que recebe resíduos sólidos a mais tempo, apresentaram pontos com alteração na qualidade do solo. Uma possível justificativa para a parte nova (DF-2) ainda não apresentar a concentração de elementos que ultrapasse o VRQ para solo pode estar relacionada ao fato da área ainda não ter recebido quantidade de resíduos suficiente para provocar a alteração na qualidade do solo.

Na TABELA 2 é possível perceber que em 25% dos pontos amostrados na parte antiga do local de disposição final (DF-1) a concentração do cobre ultrapassa tanto os Valores de Referência de Qualidade para solo (VRQ) ($49,00 \text{ mg.Kg}^{-1}$), quanto os Valores de Prevenção ($60,00 \text{ mg.Kg}^{-1}$) definidos pela legislação do Estado de Minas Gerais (COPAM, 2011). Entretanto nenhum ponto ultrapassa o valor de investigação agrícola (200 mg.Kg^{-1}). Tal situação também foi constatada por Oliveira (2012). Já Machado (2011) constatou concentrações de cobre que ultrapassam os níveis de intervenção (MACHADO, 2011).

Já para o elemento zinco, 50% dos pontos amostrados dentro da parte antiga (DF-1) superaram o VRQ ($46,50 \text{ mg.Kg}^{-1}$) proposto pelo COPAM (2011) para Minas Gerais. Cabe ressaltar, porém que os valores encontrados ficaram abaixo do valor de investigação imposto pela legislação (450 mg.Kg^{-1}).

O fato dos elementos cobre e zinco terem ultrapassado os valores de referência de qualidade de solo dentro do local de disposição final (DF1) indica que a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos gera uma alteração da qualidade natural do solo, ou seja, contribui para o aumento desses metais no local onde os resíduos são dispostos. Entretanto essa alteração não é suficiente para ultrapassar o valor de investigação para área agrícola definido pela legislação (COPAM, 2011; CONAMA, 2009). Ou seja, não existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana (CONAMA, 2009).

Apesar do elemento manganês não possuir valores orientadores para solos, é possível perceber que na parte antiga do local de disposição final (DF-1) os valores variam de 97,32 a 592,05 mg.Kg⁻¹, ou seja, em alguns pontos a concentração é maior do que os valores encontrados na área de vegetação nativa (VN), onde as concentrações variam de 97,22 a 140,86 mg.Kg⁻¹. Sendo que as maiores concentrações do elemento estão na área antiga. Isso reflete nas médias por área, visto que a área que apresenta a maior concentração média é a parte antiga (218,81 mg.Kg⁻¹) contra 117,73 mg.Kg⁻¹ da área de vegetação nativa.

Situação semelhante acontece com a média da concentração para os elementos cobre e zinco. Na parte antiga do local de disposição final (DF-1) a média para o cobre (48,05 mg.Kg⁻¹) é superior as demais áreas e a vegetação nativa é a área que apresenta a menor média (21,54 mg.Kg⁻¹). Para o elemento zinco a concentração média na parte antiga (86,61 mg.Kg⁻¹) também é superior às médias das concentrações do elemento nas outras áreas como por exemplo a área de vegetação nativa (23,38 mg.Kg⁻¹). Tal situação evidencia que a disposição inadequada de resíduos contribui para um aporte de elementos dentro do local de disposição final inadequado comparado à outras áreas como agrícolas e de vegetação nativa.

5.3.2. Elementos relacionados a disposição final inadequada de resíduos perigosos como pilhas e baterias (Ni, Li e Pb)

Na TABELA 3 são apresentados os valores da concentração dos elementos chumbo, lítio e níquel determinados nas amostras de solo coletadas na 1° amostragem (fevereiro/2017), 2° amostragem (julho/2017) e 3° amostragem (novembro/2017). Os dados em destaque (negrito) referem-se aos valores superiores ao Limite de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011 (COPAM, 2011). Apesar de não existirem valores orientadores de qualidade de solo estabelecidos para o lítio, esse elemento foi incluído no estudo, pois é um dos componentes de pilhas e baterias (VAITSMAN; VAITSMAN, 2006).

TABELA 3 - Concentração dos elementos (Pb, Li e Ni) nas três amostragens

CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS (mg.Kg ⁻¹)						
		ÁREAS				
		DF1	DF2	AG1	AG2	VN
Chumbo (Pb)	1° Amostragem	9,15	-	7,49	6,71	-
		12,98	-	-	6,85	-
		-	-	-	7,08	-
		-	-	-	8,99	-
	2° Amostragem	6,98	7,23	8,20	5,86	6,17
		9,45	7,33	6,59	5,86	7,11
		22,51	6,35	7,67	5,65	6,53
		20,94	9,02	5,85	3,33	5,34
		6,96	5,82	5,87	4,32	5,48
		7,77	6,77	5,04	3,71	5,85
Média	12,09	7,09	6,67	5,96	6,08	
Mediana*	9,30	7,00	6,59	5,86	6,01	
VRQ			19,50			
Lítio (Li)	1° Amostragem	8,25	-	6,62	9,21	-
		21,06	-	-	9,32	-
		-	-	-	8,54	-
		-	-	-	8,01	-
	2° Amostragem	5,07	4,17	4,35	5,15	4,22
		18,18	4,09	4,28	3,93	4,67
		6,16	2,35	4,58	3,67	5,08
		6,44	4,65	4,67	3,87	4,60
		4,69	3,85	4,41	4,77	5,47
		8,65	4,38	4,71	5,18	4,92
Média	9,81	3,92	4,80	6,35	4,83	
Mediana*	7,34	4,13	4,58	5,18	4,79	
Níquel (Ni)	1° Amostragem	17,06	-	14,91	18,60	-
		19,10	-	-	18,67	-
		-	-	-	17,95	-
		-	-	-	16,38	-
	2° Amostragem	12,70	12,94	12,01	14,57	11,63
		15,24	12,35	11,71	13,02	13,29
		17,95	8,31	15,71	10,25	12,98
		11,30	9,35	9,36	7,66	9,33
		10,46	8,26	8,65	9,49	10,44
		10,77	9,11	9,50	9,78	9,72
Média	14,32	10,05	11,69	14,01	11,23	
Mediana*	13,97	9,23	11,71	14,57	11,035	
VRQ			21,50			

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; DF-2: disposição final - parte nova; AG-1: área agrícola 1; AG2: área agrícola 2 e VN – vegetação nativa. – dado não existe. VRQ – valor de referência de qualidade.

Fonte: Autora (2017)

Na TABELA 3 observa-se que na área de vegetação nativa (VN) nenhum dos pontos amostrados apresentaram concentrações para os elementos chumbo e níquel superiores aos valores de referência de qualidade de solo. Tal resultado já era esperado visto que a área foi escolhida como controle, já que não é desenvolvida nenhuma atividade antrópica na área.

Nas áreas agrícolas 1 e 2 (AG-1 e AG-2), assim como na área de vegetação nativa (VN), em nenhum dos pontos amostrados a concentração de chumbo e níquel ultrapassou os

valores de referência de qualidade. Ou seja, dentro da área agrícola, a concentração dos elementos está dentro dos Valores de Referência de Qualidade de solo (VRQ).

Dentro do local de disposição de resíduos sólidos, nenhum dos pontos amostrados na parte nova (DF-2) e na margem (DF-3) ultrapassaram o VRQ definido pela legislação para os elementos chumbo e níquel. Uma possível justificativa para a parte nova (DF-2) ainda não apresentar a concentração de elementos que ultrapasse o VRQ para solo pode estar relacionada ao fato da área ainda não ter recebido quantidade de resíduos suficiente para provocar a alteração na qualidade do solo.

Na parte antiga do local de disposição final (DF-1), 25% dos pontos amostrados dentro da parte antiga (DF-1), que recebe resíduos sólidos a mais tempo, ultrapassaram o VRQ ($19,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$) para o elemento chumbo. Isso indica que há a degradação da qualidade do solo provocada pela disposição inadequada de RSU, alterando a qualidade do solo para esse elemento. Entretanto, em nenhum dos pontos amostrados a concentração foi maior do que o valor de prevenção ($72,00 \text{ mg.Kg}^{-1}$) e o valor de investigação agrícola ($180,0 \text{ mg.Kg}^{-1}$).

Em todos os pontos amostrados, inclusive na parte antiga (DF-1), a concentração do níquel ficou dentro do valor de referência de qualidade (VRQ) de solos para Minas Gerais (COPAM, 2011). Situação semelhante ao aterro controlado de Passo Fundo/RS onde o elemento apresentou conformidade com o VRQ da CETESB (MACHADO, 2011). Já Marques (2011) encontrou para os elementos níquel, dentro de um aterro controlado, concentração acima do limite de prevenção estabelecido pela CETESB e dentro de um lixão, todos os elementos ficaram dentro do limite de qualidade do solo (MARQUES, SILVA, 2011). No lixão de Romaria/MG, o níquel também ultrapassou o valor de prevenção estabelecidos pela CETESB (OLIVEIRA, 2012).

O lítio não possui valores orientadores para solos, todavia é possível perceber que na parte antiga do local de disposição final (DF-1) os valores variam de $4,69$ a $21,06 \text{ mg.Kg}^{-1}$, ou seja, em alguns pontos a concentração é maior do que os valores encontrados na área de vegetação nativa (VN), onde as concentrações variam de $4,22$ a $5,47 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Sendo que as maiores concentrações do elemento estão na área antiga. Isso reflete nas médias por área, visto que a área que apresenta a maior concentração média é a parte antiga ($9,81 \text{ mg.Kg}^{-1}$) contra $4,83 \text{ mg.Kg}^{-1}$ da área de vegetação nativa.

A média da concentração do chumbo dentro da parte antiga (DF-1) com valor de $12,09 \text{ mg.Kg}^{-1}$ é superior à média das demais áreas. Destaca-se, por exemplo, que dentro desse local, a concentração média é o dobro da encontrada na vegetação nativa (VN) que é

de 6,08 mg.Kg⁻¹. Para o elemento níquel a média dentro da parte antiga (DF-1) é de 14,32 mg.Kg⁻¹ sendo superior à média da vegetação nativa (11,23 mg.Kg⁻¹).

Possivelmente por se tratar de um município de pequeno porte, a quantidade de resíduos sólidos dispostos de forma inadequada no solo ainda não foi suficiente para causar uma alteração a ponto de ultrapassar os limites dos valores de intervenção. Entretanto a disposição inadequada de resíduos sólidos alterou a qualidade do solo, sendo que alguns elementos inclusive ultrapassaram os valores de prevenção.

Segundo a resolução CONAMA n° 420, (2009) quando a concentração dos elementos ultrapassa os limites dos valores de intervenção (VI) significa que há riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana e a área pode ser classificada como contaminada (CONAMA, 2009). Porém, mesmo o local de disposição final de resíduos sólidos do município de Tupaciguara não apresentando nenhum dos pontos amostrados com concentrações superiores ao VI, locais de disposição final inadequados podem gerar diversos impactos ambientais negativos ao meio ambiente.

5.3.3. Análise estatística entre vegetação nativa e parte antiga de disposição final

Com o objetivo verificar se há diferença significativa entre a concentração dos elementos na área de vegetação nativa (VN) e na parte antiga do local de disposição final de resíduos sólidos (DF-1), os resultados obtidos foram submetidos ao Teste de Wilcoxon, visto que os dados são não paramétricos, com nível de significância de 5%.

A Tabela 4 apresenta os *p-valores* da comparação da concentração dos elementos entre área de vegetação nativa (VN) e local de disposição final (DF). Os dados em destaque (negrito) referem-se aos valores inferiores ao *p-value* de 0,05.

TABELA 4 - *p-value* para a área de vegetação nativa (VN) e local de disposição final (DF)

	ELEMENTO					
	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Lítio (Li)	Manganês (Mn)	Níquel (Ni)	Zinco (Zn)
<i>p-value</i>	0,0027	0,0024	0,0126	0,0200	0,1079	0,0081

Fonte: Autora (2017)

Como pode ser observado pela TABELA 4 os elementos cobre (Cu), chumbo (Pb), lítio (Li), manganês (Mn) e Zinco (Zn) apresentaram valores de *p-value* inferiores a 0,05, ou seja, ocorreu uma variação de concentração significativa entre a área de vegetação nativa (VN) e local de disposição final (DF). Apenas para o elemento Níquel (Ni) não houve variação da concentração.

Estudo realizado em aterro controlado no município de Passo Fundo/RS analisou a concentração dos metais Ni, Cu, Zn, Cr, Cd e Pb e comparou com uma área controle de reserva ambiental e com os valores orientadores da CETESB. Nesse estudo foram determinadas maiores concentrações de Cu, Zn e Cr comparado à área de reserva, sendo que esses elementos ultrapassam os níveis de intervenção, conforme valores orientadores estabelecidos pela CETESB (MACHADO, 2011).

Comparando as concentrações dos elementos do local de disposição final de Tupaciguara/MG com a área de vegetação nativa ao entorno constata-se que com exceção do níquel, todos os demais elementos estudados apresentaram diferença significativa em relação à área de vegetação nativa, indicando que a disposição final de resíduos sólidos pode estar alterando a concentração dos elementos no solo de forma significativa.

5.5. Caracterização do solo

Com o objetivo de caracterizar o solo das áreas estudadas, foram realizadas análises de granulometria, de pH e de carbono orgânico total (COT) nas amostras coletadas, conforme metodologia descrita no item materiais e métodos. Os resultados das análises são apresentados abaixo.

5.6. Análise granulométrica

A TABELA 5 apresenta os resultados da análise granulométrica do solo das áreas onde foram realizadas as coletas. Os resultados são baseados em amostra composta por área, da amostragem realizada no mês de julho.

TABELA 5 - Caracterização granulométrica dos pontos de coleta de solo

	GRANULOMETRIA				
	Áreas				
	DF-1	DF-2	AG-1	AG-2	VN
Areia grossa (%)	49,20	31,20	17,50	22,20	15,40
Areia fina (%)	33,20	29,00	14,90	19,20	12,80
Argila (%)	14,80	20,60	40,20	44,70	55,40
Silte (%)	02,80	19,20	19,80	12,50	16,40
Classe textural	Arenoso	Médio	Argiloso	Argiloso	Argiloso

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; DF-2: disposição final - parte nova; AG-1: área agrícola 1; AG-2: área agrícola 2 e VN – vegetação nativa.

Fonte: Autora (2017)

Percebe-se que a textura das amostras na parte antiga do local de disposição final é bem diferente da encontrada nas áreas ao entorno, pois apresenta uma porcentagem de areia superior. Assim como Tupaciguara, alguns municípios têm realizado o recobrimento de aterros controlados com resíduos de construção civil.

De acordo com Lima (2013) a areia compõe 24,63% dos resíduos da construção civil, o que pode explicar o incremento dessa fração no solo desses locais (LIMA, CABRAL 2013). A textura influencia na mobilidade dos elementos no solo. Em solos mais arenosos, devido à velocidade de lixiviação ser maior, há menos tempo de contato entre os íons metálicos e o solo e conseqüentemente menor adsorção (EZAKI, 2006).

5.7. Análise de pH

A análise de pH seguiu a metodologia proposta pela EMBRAPA (2011) e os valores encontrados para as amostras coletadas em fevereiro, julho e novembro estão apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 - Valores de pH do solo

	pH					
	Áreas					
	DF-1	DF-2	AG-1	AG-2	VN	
1° Amostragem	Ponto 1	6,90	-	5,80	4,50	-
	Ponto 2	7,80	-	-	5,40	-
	Ponto 3	-	-	-	5,40	-
	Ponto 4	-	-	-	4,50	-
	Ponto 5	-	-	-	5,80	-
	Ponto 6	-	-	-	-	-
2° Amostragem	Ponto 1	7,50	5,10	6,30	4,50	4,30
	Ponto 2	7,80	5,30	6,00	5,30	4,50
	Ponto 3	7,50	4,70	5,70	4,80	4,20
3° Amostragem	Ponto 1	6,80	4,30	5,90	4,70	3,80
	Ponto 2	6,40	3,70	5,30	4,70	3,80
	Ponto 3	8,40	3,90	5,80	4,50	3,60

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; DF-2: disposição final - parte nova; AG-1: área agrícola sem influência do local de disposição final; AG-2: área agrícola com influência do local de disposição final e VN – vegetação nativa. – dado não existente.

Fonte: Autora (2017)

Com exceção da parte antiga do local de disposição final, todas as áreas apresentam pH ácido. Nas áreas de vegetação nativa (VN), agrícola com influência (AG-2) e na margem do local de disposição final de resíduos sólidos (DF-3) os valores de pH estão entre 3,6 a 5,8. Esse intervalo corrobora com os valores de pH encontrados para os tipos de solo encontrados na região, latossolos e argisolos vermelhos, que são moderadamente a fortemente ácidos (EMBRAPA, 2013).

Essa situação não é observada na área agrícola sem influência do local de disposição final (AG-1). Nessa área os valores de pH encontrados são mais básicos do que os das áreas de vegetação nativa, a outra área agrícola e a margem do local de disposição de resíduo. Um pH mais alto na área agrícola controle pode ser explicado pelas diferenças de manejo do solo. Técnicas como calagem, por exemplo, contribuem para a redução da acidez do solo (VILELA, 1998).

Os valores de pH mais elevados, na faixa entre 6,4 a 8,4, foram encontrados na parte antiga do local de disposição final de resíduos sólidos. Valores semelhantes, entre 6,4 e 8,2, foram encontrados por Samadder (2016) em estudo realizado na Índia.

Um dos fatores que pode contribuir para a elevação do pH em áreas de disposição final é a prática de recobrir os resíduos com descarte da construção civil. Tal prática foi observada no local de estudo e pode estar contribuindo para a elevação do pH visto que concretos e argamassas possuem como matéria-prima calcário e cimento (LASSO, 2013)

que liberam carbonatos e hidróxidos (GUTIERREZ, MATOS, ROSSMANN, 2010). Situação semelhante foi encontrada por Oliveira (2012), em estudo realizado no lixão de Romaria/MG, nos pontos em que dentre os resíduos eram depositados entulhos da construção civil foram encontrados os maiores valores de pH variando de 7,2 a 7,7.

Outro fator que pode explicar o pH neutro à básico na parte antiga é o estágio de degradação da matéria orgânica presente nos resíduos. A relação entre o pH dos locais de disposição final e os estágios de decomposição dos resíduos sólidos já é bem estabelecido por diversos autores (BOSCOV, 2008; MORAES, 2014; CASTILHOS JÚNIOR, 2003; RESTREPO, 2013). O aumento do pH pode indicar que a degradação dos resíduos sólidos atingiu a fase final do processo de degradação anaeróbia, fase na qual o pH se eleva para a faixa entre 7 e 8 (RESTREPO, 2013). Em síntese, tanto a matéria orgânica estabilizada quanto os resíduos da construção civil podem explicar o aumento do pH na parte antiga.

Para melhor compreender a correlação entre o pH e os elementos estudados, seria necessário conhecer, além da concentração total dos elementos, a fração disponível na solução do solo. Dados sobre a porcentagem adsorvida e a porcentagem disponível na solução do solo ajudaria a melhor explicar os dados observados.

5.8. Carbono Orgânico Total

A análise do carbono orgânico total (COT) seguiu a metodologia proposta por Benites e Swift (2001) e os valores encontrados para as amostras coletadas em fevereiro, julho e novembro está apresentado na TABELA 7.

TABELA 7 - Valores de COT em g/Kg das amostras de solo

		COT (g/Kg)				
		DF-1	DF-2	AG-1	AG-2	VN
1° Amostragem	Ponto 1	15,50	-	27,70	18,10	-
	Ponto 2	12,80	-	-	17,60	-
	Ponto 3	-	-	-	18,10	-
	Ponto 4	-	-	-	23,50	-
	Ponto 5	-	-	-	20,30	-
	Ponto 6	-	-	-	-	-
2° Amostragem	Ponto 1	23,60	18,60	29,80	21,60	24,40
	Ponto 2	31,90	29,40	24,20	21,30	21,60
	Ponto 3	29,40	13,90	29,00	18,80	25,70
3° Amostragem	Ponto 1	24,30	11,60	19,90	27,00	24,20
	Ponto 2	22,50	27,00	20,80	20,30	18,20
	Ponto 3	22,90	28,60	20,30	16,40	20,30
	Média	22,86	21,52	24,53	20,27	22,40
	Mediana	23,25	22,80	24,20	20,30	22,90
	1° Quartil	17,25	13,32	20,30	18,10	19,77
	3° Quartil	28,12	28,80	29,00	21,60	24,72
	Desvio Padrão	6,35	7,84	4,30	3,03	2,86
	Mínimo	12,80	11,60	19,90	16,40	18,20
	Máximo	31,90	29,40	29,80	27,00	25,70

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; DF-2: disposição final - parte nova; AG-1: área agrícola sem influência do local de disposição final; AG-2: área agrícola com influência do local de disposição final; VN: vegetação nativa. – dado não existente.

Fonte: Autora (2017)

Era esperado que a média da concentração de COT na parte antiga (DF-1) fosse superior aos valores encontrados nas demais áreas já que no Brasil 51,4% da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos é de matéria orgânica (BRASIL, 2012), entretanto a média dessa área foi superada pela margem (DF-3) e área agrícola sem influência do local de disposição final de resíduos sólidos (AG-1). Isso pode ter acontecido, porque os valores encontrados na parte antiga (DF-1) na primeira amostragem foram inferiores à média das outras duas amostragens, possivelmente porque os resíduos haviam sido recém-recobertos.

No mais, percebe-se uma diferença na média das duas áreas agrícolas. O fato do pH e do COT da área sem influência do local de disposição final (AG-1) serem maiores que os valores encontrados na área agrícola com influência (AG-2) podem ser explicadas devido a diferença de manejo entre as duas propriedades. Pesquisas mostram que pastagens bem manejadas apresentam valor de COT nas camadas superficiais (0 a 20 cm), equivalente ou superior ao da vegetação natural do cerrado (ROSENDO; ROSA, 2012).

A matéria orgânica contribui para a retenção de metais no solo (VINHAL-FREITAS, 2010). Para verificar a correlação entre o carbono orgânico total e a concentração de

elementos, obteve-se a matriz de correlação de Spearman, apresentada na TABELA 8. Os resultados com coeficiente $p \geq 0,9$ foram interpretados como correlação muito forte, $0,70 < r \leq 0,89$ como forte, $0,40 \leq r \leq 0,60$ correlação moderada e $0,10 \leq r \leq 0,30$ como correlação fraca (DANCEY, REIDY, 2005).

TABELA 8 - Correlação de Spearman entre COT e a concentração dos elementos

	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
DF-1	0,14	-0,14	-0,64	-0,10	0,36	0,29
AG-1	0,46	-0,32	-0,43	0,79	0,96	0,86
VN	0,03	-0,43	-0,60	0,31	0,37	0,61

Legenda: DF-1: disposição final - parte antiga; AG-1: área agrícola sem influência do local de disposição final e VN – vegetação nativa.

Fonte: Autora (2017)

A matéria orgânica é fonte de elementos essenciais como magnésio e micronutrientes como cobre, manganês e zinco (LOPES, 1988). Essa relação pode ser percebida para o elemento zinco, tanto na área agrícola sem influência do local de disposição final quanto na área de vegetação nativa. Para o elemento cobre não foram obtidas correlações fortes embora estudos mostram que a matéria orgânica tem grande influência na retenção do cobre devido ao alto grau de seletividade resultante da adsorção específica (VINHAL-FREITAS, 2010).

Dentro da área antiga do local de disposição final, nenhum elemento apresentou correlação forte ou muito forte. Apenas o elemento manganês apresentou correlação moderada. Isso pode significar que outros fatores estão influenciando mais a concentração dos elementos do que a matéria orgânica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR se mostrou apropriado para avaliar o local de disposição final de resíduos por ser bem detalhado e por seus critérios estarem em conformidade com leis e normas ambientais. A utilização do IQR permite observar as não conformidades do local com a legislação, o que facilita a proposição de melhorias.

O resultado obtido pelo IQR classificou o local de disposição final de resíduos sólidos do município de Tupaciguara como inadequado. O resultado obtido equivale à situação encontrada no local no dia da vistoria, visto que a grande maioria dos itens observados se apresentava em desconformidade com os parâmetros analisados e com a legislação. O não atendimento de subitens do IQR como drenagem e tratamento do chorume e ausência de impermeabilização da área podem comprometer a qualidade do solo do local e consequentemente da água subterrânea.

Os resultados da concentração dos elementos estudados mostraram que cobre, chumbo e zinco superaram os valores de referência de qualidade para solo no local de disposição final de resíduos sólidos o que não acontece na área de vegetação nativa. Nas áreas ao entorno, apenas um ponto localizado na área agrícola com influência do local de disposição final apresentou alteração da qualidade para o elemento cobre, as demais áreas estão dentro do padrão estabelecido. Isso indica que a disposição inadequada pode influenciar a qualidade do solo em alguns pontos, mesmo não tendo sido atingido o limite de intervenção.

A opção por amostrar o solo em uma área de vegetação nativa próxima foi válida visto que esta atuou como um parâmetro de referência do solo na região de estudo e permitiu verificar que os elementos chumbo, cobre e magnésio tem sua concentração dentro do local de disposição final alterada de forma significativa comparada à área de vegetação nativa.

Além disso, o estudo permitiu verificar que outras atividades diferentes da disposição de resíduos também podem influenciar a qualidade do solo, como constatado para a atividade agrícola a partir dos elementos magnésio e cobre.

Como sugestão para trabalhos futuros propõe amostrar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos que chegam ao local de disposição final para verificar a relação destes com os elementos presentes no solo. Recomenda-se também mensurar a concentração dos

elementos estudados no curso d'água superficial e também nos poços tubulares e cisternas das propriedades localizadas na área de influência do local de disposição final de resíduos sólidos, a fim de verificar se o local influencia a qualidade da água subterrânea e superficial.

No mais, para melhor compreender a correlação entre o pH, carbono orgânico total - COT e os elementos estudados, sugere-se que além da concentração total dos elementos, seja analisado a fração disponível na solução do solo. Dados sobre a porcentagem adsorvida e a disponível na solução do solo ajudaria a melhor explicar os dados observados.

Por fim, o estudo demonstrou que em alguns pontos do local de disposição de resíduos sólidos, mesmo a concentração dos elementos avaliados não tendo superado o limite de intervenção, a qualidade do solo foi alterada comparado às áreas de vegetação nativa e as áreas ao entorno.

Tal constatação reforça a necessidade de municípios de pequeno porte articularem alternativas ambientalmente adequadas para a destinação e/ou disposição de seus resíduos sólidos. Dentre as alternativas para reduzir a quantidade de resíduos que são destinados à disposição final estão a implantação de um programa de coleta seletiva, incentivar a criação de sistemas de compostagens e destinar corretamente resíduos hospitalares e especiais como pilhas, baterias e lâmpadas. Cabe reforçar que a disposição final de resíduos sólidos urbanos em locais de disposição final ambientalmente inadequados como lixões e aterros controlados passou a ser ilegal após a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 8.419:1992**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13896:1997**: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10.004:2004**: Resíduos Sólidos - Classificação. 2004. 21 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. 2016.
- ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. 2007. 366 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ANDRADE, T. C. C.; SERRA, J. C. V.; ANDRADE, A. B. Aplicação de uma ferramenta de gestão ambiental de qualidade de aterros de resíduos sólidos urbanos. **Revista de ciências ambientais**, Canoas, v. 7, n. 2, p. 45-56, 2013.
- ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; GOMES, P. C. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 17-27, 2002.
- BAAWAIN, M.; AL-MAMUN, A.; OMIDVARBORNA, H.; AL-AMRI, W. Ultimate composition analysis of municipal solid waste in Muscat. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 355-362, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.013>
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16)
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 24 mar. 2017.
- BRENNAN, R. B. et al. Management of landfill leachate: the legacy of European Union Directives. **Waste Management**, 2015.
- BOSCOV, G. M. E. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos. 2008.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. **Estatística Básica**. São Paulo: Atual, 2002.
- CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**. Guarapuava-PR. V.6, n. 3, p. 547- 565. 2010.
- CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas superficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos: o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001. 122p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

CASTILHOS JÚNIOR., A. B (Coord.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades** - PROSAB 3. Rio de Janeiro: RiMa, 2003. 294p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de informação toxicológica** - Cromo e seus compostos. 2012. Disponível em <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/cromio.pdf>> Acessado em 19 jan. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de informação toxicológica** - Chumbo e seus compostos. 2012. Disponível em <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/cromio.pdf>> Acessado em 19 jan. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Ficha de informação toxicológica** - Cádmio e seus compostos. 2012. Disponível em <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/cromio.pdf>> Acessado em 19 jan. 2018.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **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. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2009. Seção 1, 20p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Deliberação Normativa CONAMA nº 460**, 30 de dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>. Acesso em: 10 de junho de 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (BRASIL). **Resolução nº 401**, de 04 de novembro de 2008. Diário Oficial da União, Brasília, 5 nov. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (BRASIL). **Resolução nº 358**, de 29 de abril de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 4 maio 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (BRASIL). **Resolução nº 23**, de 12 de dezembro de 1996. Diário Oficial da União, Brasília, 13 dez. 1996.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM (Minas Gerais). **Resolução nº 166**, de 29 de junho de 2011. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, 27 de julho de 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>. Data de acesso: 28 de junho de 2017.

COSTA, C. N. **Biodisponibilidade de metais pesados em solos do Rio Grande do Sul**. 2005. 126f. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2005.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para a psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed Bookman, 2006.

DENAFAS, G.; et al. Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 22–30, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.06.001>

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000300009>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição. 2013.

EUROPEAN COMMISSION. Follow-up study on the implementation of Directive 1999/31/EC on the landfill of waste in EU-25. **European Commission**, June, 2007.

EZAKI, S. **Íons de metais pesados (Pb, Cu, Cr e Ni) associados a solos de cobertura de resíduos sólidos em dois aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo - SP**. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia) – Instituto de Geologia, Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/D.44.2004.tde-09082013-150034>

EZAKI, S.; HYPOLITO, R. Comportamento geoquímico de íons de metais pesados (Pb, Cu, Cr e Ni) em aterros sanitários – simulações de células de lixo em colunas experimentais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n.1, p. 5-12, 2006. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.20063610512>

FARIA, B. F. **A influência das áreas de disposição de resíduos sólidos da cidade de Campinas, SP na qualidade das águas: determinação de metais empregando a fluorescência de raios X por reflexão total com radiação sincrotron**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

FIRME, L. P.; VILLANUEVA, F. C. A.; RODELLA, A. A. Solo contaminado com cádmio: extratibilidade do metal e cinética química de degradação da matéria orgânica de torta de filtro. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 956 - 963, 2014.

GIDARAKOS, E.; HAVAS, G.; NTZAMILIS, P. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. **Waste Management**, v. 26, n. 6, p. 668 - 679, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.018>

GU, B. et al. Characterization, quantification and management of China's municipal solid waste in spatiotemporal distributions: A review. **Waste Management**, v. 61, p. 67-77, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.039>

GUERRA, A. F., VIDAL, C. M. S., SOUZA, J. B. Proposta de melhoria de aterro de resíduos sólidos urbanos para um pequeno município. **Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 191 – 203, 2010.

GUTIERREZ, K. G.; MATOS, A. T.; ROSSMANN, M. Influência da presença de camada de resíduos de construção civil na remoção de metais pesados em percolado recirculado de aterro sanitário. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 87 - 98, 2010. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.139>

HAN, D. et al. Evaluation of the impact of an uncontrolled landfill on surrounding groundwater quality, Zhoukou, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 136, p. 24 - 39, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.09.008>

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Minas Gerais. Tupaciguara. Estimativa da população para 2017. Rio de Janeiro: IBGE. 2017. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=316960&search=%257Ctupaciguara>. Data de acesso: 20 de nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 04 de abril de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM (IPT/CEMPRE). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010.

KASPER, A. C. et al. Caracterização de sucatas eletrônicas provenientes de baterias recarregáveis de íons de lítio, telefones celulares e monitores de tubos de raios catódicos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 12. 2009.

LASSO, P. R. O.; VAZ, C. M. P.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, C. R.; BACCHI, O. O. S. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1659-1668, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600022>

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.18, n. 2, p. 169-176, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200009>

LIMA, P. G.; TAMARINDO, U. G. F.; FORTI, J. C., BRAGA JUNIOR S. S. Avaliação de um aterro sanitário por meio do Índice de Qualidade de Resíduos Sólidos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 1, p. 88 - 106, 2017.

LOPES, A. S. (Trad.). Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos, 1988. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.028>

LOPES, D. D. et al. Geophysical technique and groundwater monitoring to detect leachate contamination in the surrounding area of a landfill - Londrina (PR-Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 481 - 487, 2012.

MACHADO, M. E.; MENEZES, J. C. S. S.; COSTA, J. F. C. L.; SCHNEIDER, I. A. H. Análise e avaliação da distribuição de metais pesados em um antigo aterro de resíduos sólidos urbanos "Aterro Invernadinha". **Evidência**, v. 11, n. 2, p. 69-82, 2011.

MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Barueri, SP: Editora Manole. 2003.

MARQUES, R. F. P.; SILVA, A. M. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais**. 2011. 95 p. Dissertação (Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em sistemas agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

MARQUEZ, L. N. **Diagnóstico preliminar e análise dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Tupaciguara - MG**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2008.

MARTINELLI, A. C. et al. Avaliação da lixiviação do cádmio e níquel provenientes da degradação de baterias níquel-cádmio em uma coluna de solo. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 465 - 472, São Paulo, 2014.

MELO, M. C. et al. Deformação vertical dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental em função da composição gravimétrica e volumétrica dos materiais. **Revista Matéria**. v. 21, n. 2, p. 450-460. 2016. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0042>

MENEZES FILHO, J. A. **Níveis elevados de manganês e déficit cognitivo em crianças residentes nas proximidades de uma metalúrgica ferro-manganês na Região Metropolitana de Salvador, Bahia**. 2009. 148 p. Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2009.

MILANEZ, B. et al. Avaliação integrada da gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: uma proposta de metodologia. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v.2, n.2, p.1-11, 2013.

MORAES, C. L. **Avaliação do passivo ambiental lixão desativado do município de Lages – SC**. 2014. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

MOURA, A. A.; LIMA, W. S.; ARCHANJO, C. R. Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso - município de Itaúna - MG. **SynThesis: Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, n.3, p. 4 - 16, abr. 2012.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1 / 2, p. 83-100, 2006.

OENNING, A. S., et al. Estudo de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Criciúma. **Revista Iniciação Científica**. v. 10, n. 1, 2012.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Sorção de elementos traços em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, p.289 – 301, Taubaté, SP. 2014.

OLIVEIRA, M. D. R. **Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Romaria/MG**. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

PASTOR, J., HERNÁNDEZ, A. J. Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: Determinants for restoring their impact. **Journal of Environmental Management**. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.048>

PIRETE, L.; OLIVEIRA, B. F. F.; VASCONCELOS, M. G. Avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos no município de Araguari utilizando o índice de qualidade de aterros de resíduos - IQR. **Revista Agrogeoambiental**, v. 00, p. 25-32, 2015.

PMSB. Prefeitura Municipal de Tupaciguara. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Tupaciguara, 2016. 553 p.

RAJOVIC, C. S. **Diretrizes para o gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Estudo de caso: Uberaba, MG.** 2016. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2016.

RESTREPO, J. J. B. **Determinação da taxa de transferência de elementos-traço de resíduos sólidos urbanos para lixiviado.** 2013. 223 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

REZENDE, J. H. et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.1, 2013.

RONG, L. et al. Assessment of the potential utilization of municipal solid waste from a closed irregular landfill. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-7, 2015.

ROSENDO, J. S.; ROBERTO, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. **Sociedade & Natureza**. n. 2, p. 359-376, 2012.
<https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014>

SAMADDER, S. R. et al. Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study. **Science Total Environmental**, [S.l.], 2016.

SHINZATO, M. P. B. **Mobilização de poluentes no maciço de resíduos de lixão desativado.** Tese (Doutorado em engenharia hidráulica e saneamento). Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 196 f. 2014.

SIZIRICI, B.; TANSEL, B. Parametric fate and transport profiling for selective groundwater monitoring at closed landfills: a case study. **Waste Management**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 263-270, 2015.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 12 de jan. de 2018.

SOUSA, H. A.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte MG. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, 2002.

URBAN, R. C. Índice de adequação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como ferramenta para o planejamento: aplicação no estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária Ambiental**. 2015.

VAITSMAN, E. P.; VAITSMAN, D. S. Química & Meio Ambiente – Ensino contextualizado. **Editora Interciência**. 252 p. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

VILELA, L.; et al. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 16p. EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 37.

VINHAL-FREITAS, I. C. et al. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária técnica**. v. 31, n. 2, p 153–163, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005.

WANG, Y. et al. Calcium carbonate-based permeable reactive barriers for iron and

manganese groundwater remediation at landfills. **Waste Management**. 2016.

WANG, Y. **Landfill management in the aftercare period of municipal waste landfills**. [s.l.] Aalto university, 2013.

XING, W. et al. Environmental impact assessment of leachate recirculation in landfill of municipal solid waste by comparing with evaporation and discharge (EASEWASTE). **Waste management**, v. 33, n. 2, p. 382-389, 2013.

ZAPPE, A. L. **Avaliação do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de um consórcio intermunicipal no Rio Grande do Sul, Brasil**. 2016. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em tecnologia ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2016.

ZORTÉA, T. et al. Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. **Scientia Agraria**, v. 17 n° 1, p. 1-9. Curitiba, 2016.

Anexo A - Critérios do IQR

QUADRO - Critérios do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR)

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO
ESTRUTURA DE APOIO	PORTARIA, BALANÇA E VIGILANCIA	SIM/SUFICIENTE	2
		NÃO/INSUFICIENTE	0
	ISOLAMENTO FÍSICO	SIM/SUFICIENTE	2
		NÃO/INSUFICIENTE	0
	ISOLAMENTO VISUAL	SIM/SUFICIENTE	2
		NÃO/INSUFICIENTE	0
ACESSO A FRENTE DE DESCARGA	ADEQUADO	3	
	INADEQUADO	0	
FRENTE DE TRABALHO	DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADO	5
		INADEQUADO	0
	COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO	5
		INADEQUADO	0
	RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO	5
		INADEQUADO	0
TALUDES E BERMAS	DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADO	4
		INADEQUADO	0
	COBERTURA DE TERRA	ADEQUADO	4
		INADEQUADO	0
	PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADO	3
		INADEQUADO	0
AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO/RAROS	4	
	SIM/NUMEROSOS	0	
SUPERFÍCIE SUPERIOR	NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO	5
		INADEQUADO	0
	HOMOGENEIDADE DA COBERTURA	SIM	5
NÃO		0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM/ADEQUADA (NÃO PREENCHER ITEM 15)	10
		NÃO/INADEQUADA (PREENCHER ITEM 15)	0
	PROF.LENÇOL FREÁTICO (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (k)	P > 3 m, k < 10-6 cm/s	4
		1 <= P <= 3m, k < 10-6 cm/s	2
		CONDIÇÃO INADEQUADA	0
			0
	DRENAGEM DE CHORUME	SIM/SUFICIENTE	4
		NÃO/INSUFICIENTE	0
	TRATAMENTO DE CHORUME	SIM/ADEQUADO	4
		NÃO/INADEQUADO	0
	DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE/DESNEC.	3
		NÃO/INSUFICIENTE	0
	DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE/DESNEC.	4
		NÃO/INSUFICIENTE	0
	DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE/DESNEC.	4
		NÃO/INSUFICIENTE	0
MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRANEA	ADEQUADO	4	
	INADEQUADO	1	
	INEXISTENTE	0	
MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO	4	
	INADEQUADO	1	
	INEXISTENTE	0	
SUBTOTAL 1			86

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO
OUTRAS INFORMAÇÕES	PRESEÇA DE CATADORES	NÃO	2
		SIM	0
	QUEIMA DE RESÍDUOS	NÃO	2
		SIM	0
	OCORRENCIA DE MOSCAS E ODORES	NÃO	2
		SIM	0
	PRESEÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO	2
		SIM	0
	RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	NÃO	2
		SIM	0
RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (Preencher item 29)	-	
	NÃO (ir p/item 30)		
ESTRUTURA E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE / ADEQUADO	10	
	INSUFICIENTE / INADEQ.	0	
SUBTOTAL 2			20
CARACTERÍSTICA S DA ÁREA	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	>= 500m	2
		< 500m	0
	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	>= 200m	2
		< 200m	0
	VIDA ÚTIL DA ÁREA	<= 2 ANOS	
		2 < x <= 5 ANOS	
		> 5 ANOS	
	RESTRICÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM	
NÃO			
SUBTOTAL 3			
TOTAL			

Fonte: CETESB (2015)

Anexo B - IQR de Tupaciguara/MG

QUADRO - Pontuação obtida pelo local de disposição final de resíduos sólidos de Tupaciguara, segundo IQR

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PONTOS
ESTRUTURA DE APOIO	PORTARIA, BALANÇA E VIGILANCIA	NÃO/INSUFICIENTE	0
	ISOLAMENTO FÍSICO	SIM/SUFICIENTE	2
	ISOLAMENTO VISUAL	SIM/SUFICIENTE	2
	ACESSO A FRENTE DE DESCARGA	INADEQUADO	0
FRENTE DE TRABALHO	DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	NÃO SE APLICA	-
	COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	INADEQUADO	0
	RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	INADEQUADO	0
TALUDES E BERMAS	DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	NÃO SE APLICA	-
	COBERTURA DE TERRA	NÃO SE APLICA	-
	PROTEÇÃO VEGETAL	NÃO SE APLICA	-
	AFLORAMENTO DE CHORUME	SIM/NUMEROSOS	0
SUPERFÍCIE SUPERIOR	NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	NÃO SE APLICA	-
	HOMOGEINIDADE DA COBERTURA	NÃO SE APLICA	-
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	NÃO/INADEQUADA	0
	PROF. LENÇOL FREÁTICO (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (k)	NÃO FOI POSSÍVEL AVALIAR	-
	DRENAGEM DE CHORUME	NÃO/INSUFICIENTE	0
	TRATAMENTO DE CHORUME	NÃO/INADEQUADO	0
	DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	NÃO/INSUFICIENTE	0
	DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	NÃO/INSUFICIENTE	0
	DRENAGEM DE GASES	NÃO/INSUFICIENTE	0
	MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRANEA	INEXISTENTE	0
	MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	INEXISTENTE	0
SUBTOTAL 1			4
OUTRAS INFORMAÇÕES	PRESENÇA DE CATADORES	SIM	0
	QUEIMA DE RESÍDUOS	SIM	0
	OCORRENCIA DE MOSCAS E ODORES	SIM	0
	PRESENÇA DE AVES E ANIMAIS	SIM	0
	RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	SIM	0
	RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO FOI POSSÍVEL AVALIAR	-
SUBTOTAL 2			0
	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	>= 500m	2

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PONTOS
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	$\geq 200m$	2
	VIDA ÚTIL DA ÁREA	NÃO SE APLICA	-
	RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM	
SUBTOTAL 3			4
TOTAL			8
IQR			0,8

Fonte: Adaptado CETESB (2015)