

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

PROPOSTA DE INCLUSÃO DE ARMAZENAMENTO
TEMPORÁRIO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PARA
ATENDIMENTO À ECONOMIA CIRCULAR:
ESTUDO DE CASO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS

Raissa Barbosa Pereira

2019



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

PROPOSTA DE INCLUSÃO DE ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO NO
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PARA ATENDIMENTO À ECONOMIA
CIRCULAR: ESTUDO DE CASO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS

Raissa Barbosa Pereira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientador(a): Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

RIO DE JANEIRO

Dezembro de 2019

PROPOSTA DE INCLUSÃO DE ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO NO
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PARA ATENDIMENTO À ECONOMIA
CIRCULAR: ESTUDO DE CASO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS

Raissa Barbosa Pereira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof.^a Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, D. Sc.

Prof.^a Monica Pertel, D. Sc.

Lucia Helena da Silva Maciel Xavier, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

Dezembro de 2019

Pereira, Raissa Barbosa

Proposta de Inclusão de Armazenamento Temporário no Gerenciamento de Resíduos para Atendimento à Economia Circular: Estudo de Caso dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos/ Raissa Barbosa Pereira – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2019.

VIII, 58 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco
Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Curso de Engenharia Ambiental, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 52-58.

1.Armazenamento Temporário. 2.Gerenciamento de Resíduos Sólidos. 3.Economia Circular. 4. Mineração urbana. 5.Logística Reversa I. Pacheco, Elen. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia Ambiental. III. Proposta de Inclusão de Armazenamento Temporário no Gerenciamento de Resíduos para Atendimento à Economia Circular: Estudo de Caso dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avós, pelo amor e apoio incondicional.

Ao meu melhor amigo e companheiro, Lucas Pires, por estar ao meu lado, tendo paciência, me dando força e coragem em todos os momentos.

Também agradeço à minha melhor amiga, Kássia Salimos, por me ajudar durante essa jornada.

A minha orientadora, Elen Pacheco, por todo suporte, confiança e incentivo na elaboração desde trabalho.

A UFRJ e aos meus professores, por todos os ensinamentos.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Proposta de Inclusão de Armazenamento Temporário no Gerenciamento de Resíduos para Atendimento à Economia Circular: Estudo de Caso dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

Raissa Barbosa Pereira

Dezembro/ 2019

Orientador (a): Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

Curso: Engenharia Ambiental

Os níveis de consumo da população estão crescendo, acarretando no aumento da geração de resíduos, que são comumente destinados aos aterros sanitários. Boa parte dos resíduos sólidos que apresentam potencial para a reciclagem são dispostos em aterros, onde são despejados todos misturados, sem que haja qualquer segregação, diminuindo o potencial de sua recuperação. Assim, o armazenamento temporário desses resíduos, aptos à reciclagem, permite o estoque de matéria-prima que não possuem viabilidade técnica, economia e/ou ambiental de serem reciclados no momento da destinação, possibilitando sua futura valorização. É importante que esta forma de armazenamento seja incluída no gerenciamento, como uma alternativa da gestão integrada dos resíduos sólidos, permitindo a recuperação dos recursos através da mineração urbana e a reinserção das matérias-primas no ciclo produtivo, atendendo a economia circular, que permite a máxima reutilização dos recursos. O armazenamento temporário deverá ser realizado dentro de padrões técnicos e legais, que estimulará mais a reciclagem dos resíduos para maior atendimento, no caso do Brasil, à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Palavras-chave: Armazenamento Temporário; Gerenciamento de Resíduos Sólidos; Mineração Urbana; Economia Circular; Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Proposal to Include Temporary Storage in Waste Management to Comply with Circular Economy Principles: Case Study of Electro-Electronic Equipment Waste

Raissa Barbosa Pereira

December/ 2019

Advisor: Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

Course: Environmental Engineering

Consumption levels are rising, increasing the generation of wastes commonly discarded in sanitary landfills. A significant portion of recyclable solid waste is disposed of in landfills, where it is mixed in with other residue with no separation whatsoever, hindering its recovery. Thus, the temporary storage of these recyclable wastes makes it possible to store raw material with no technical, economic and/or environmental viability, and use it in future applications. It is important that this type of storage be included as an integrated management alternative for solid wastes, enabling resources to be recovered via urban mining and the reinsertion of raw materials into the productive cycle, in order to comply with circular economy principles and allow maximum reuse of resources. Temporary storage should adhere to legal and technical standards, thereby encouraging further waste recycling to better meet (in the case of Brazil) National Solid Waste Policy (PNRS) guidelines.

Keywords:. Temporary Storage; Solid Waste Management; Urban Mining; Circular Economy; Electro-Electronic Equipment Waste.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 13 |
| 2.1 | GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS..... | 13 |
| 2.2 | RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS..... | 20 |
| 2.3 | ATERROS..... | 24 |
| 2.4 | MINERAÇÃO URBANA | 25 |
| 2.5 | LOGÍSTICA REVERSA | 28 |
| 2.6 | ECONOMIA CIRCULAR..... | 31 |
| 2.7 | ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO | 33 |
| 3 | METODOLOGIA DE PESQUISA..... | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 4.1 | ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO | 38 |
| 4.1.1 | O Armazenamento Temporário no Gerenciamento de Resíduos Sólidos 39 | |
| 4.1.2 | Propostas Preliminar de Possíveis Locais para o Armazenamento Temporário | 43 |
| 4.1.3 | Proposta de Acondicionamento de REEE | 48 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 50 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

O estilo de vida da população mundial e a constante busca pelo bem-estar conduzem à aquisição de novos bens de consumo e serviços (MANNARINO, FERREIRA & GANDOLLA, 2016). Com a necessidade de produção de novos produtos para atender ao consumo global, aumenta-se a demanda por recursos naturais, causando pressão e exaustão nos ecossistemas (BREURE, LIJZEN & MARING, 2018). Sabe-se que nos últimos 40 anos, de acordo com o *World Economic Forum* (2018), o uso global de matérias-primas quase triplicou, confirmando a tendência da sociedade em adquirir e descartar novos produtos constantemente. Esses níveis de consumo refletem uma economia linear, voltada para a extração, produção e descarte pós-consumo, que não é sustentável e ocasiona problemas ambientais devido ao aumento da geração de resíduos, à escassez dos recursos naturais e consumo dos recursos exauríveis (COSSU & WILLIAMS, 2015; DE RÖMPH, 2016; JANI *et al.*, 2017).

Aumenta-se assim, a necessidade de discussões, ações e regulamentações focadas na temática, especificamente no caso dos resíduos (ALFAIA, COSTA & CAMPOS, 2017). Com relação as políticas públicas brasileiras, vê-se um avanço com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) implementada através da Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010a), porém ainda existe uma distância física e estrutural, do que é estabelecido na teoria e como ocorre na prática (MAIELLO, BRITTO & VALLE, 2018). É preciso encontrar uma solução para os resíduos gerados, porém, ainda não existe uma política definida para o seu tratamento e destino final de forma sustentável (GILO & CUNHA, 2017), as soluções atuais são voltadas principalmente para a disposição em aterro sanitário, incineração e reciclagem (GUTBERLET, 2015; NOCHIAN *et al.*, 2016). O descarte de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ainda é a forma mais comum de disposição, utilizado em muitos países da Europa, América do Norte e Austrália, que são considerados economicamente desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento, na maioria dos casos os resíduos são encaminhados aos aterros sanitários, mas uma parcela ainda é disposta em aterros controlados ou lixões, que não possuem a proteção necessária para o meio ambiente e para saúde das pessoas (MASI *et al.*, 2014; GREEDY 2016).

Nos aterros, tradicionalmente, os resíduos são despejados juntos, sem que haja uma segregação, ação que dificulta o processo de reciclagem que possa vir a ocorrer, além de conduzir ao decréscimo das propriedades originais dos materiais, acarretando em perdas de recursos contido nos mesmos (MASI *et al.*, 2014; GREEDY, 2016). Porém,

essa opção de disposição não deve ser a única por prejudicar e dificultar a recuperação dos materiais, é necessário haver uma mudança para que o sistema se torne sustentável desde a extração de recursos até a disposição dos rejeitos, com o objetivo de se ter menor geração de resíduos (DE RÖMPH, 2016; HERNÁNDEZ-ROMERO & ROMERO, 2018).

A recuperação e a reciclagem de materiais são necessárias, dado que muitos recursos são finitos e o processo de extração de matérias-primas virgens acarreta em diversos custos ambientais. Assim, pode-se considerar os recursos com potencial de gerar lucro através da recuperação dos resíduos (GUTBERLET, 2015). Desse modo, a tendência atual nos países desenvolvidos é a de minerar os resíduos que foram aterrados, sendo uma solução alternativa para esses resíduos com potencial econômico e ambiental para serem reciclados.

A mineração urbana visa a recuperação dos resíduos, principalmente de aterros, que são vistos como estoques de recursos potenciais (KROOK *et al.*, 2012; GUTBERLET, 2015), que podem ter concentração de elementos comparáveis ou maiores que os estoques naturais (COSSU & WILLIAMS, 2015). A recuperação desses resíduos reflete na redução do consumo de recursos primários, promovendo também um uso mais eficiente dos recursos, com sua reintrodução no ciclo produtivo (ARMISHEVA, SLIUSAR & KOROTAEV, 2013), impactando diretamente na economia e no meio ambiente (JANI *et al.*, 2017). A mineração urbana é um caminho para resolver a questão dos resíduos, buscando a sustentabilidade, tornando-se uma estratégia para o gerenciamento, de forma a estimular uma economia mais circular, que permite a gestão dos resíduos com a recuperação e o retorno dos materiais que seriam perdidos ao serem dispostos em aterros (BONIFAZI & COSSU, 2013; DE RÖMPH, 2016; JANI *et al.*, 2017).

A economia circular é um sistema econômico que substitui os modelos de negócio linear, voltado para a produção, uso e descarte, pelo modelo circular, que reinsere os produtos no ciclo produtivo, visando reduzir, reciclar e recuperar os recursos, com o objetivo de atingir o desenvolvimento sustentável (BALDÈ *et al.*, 2017). Esta deve ser adotada por objetivar a máxima reutilização dos recursos e produtos e a minimização dos impactos através da reinserção dos recursos no próprio ou em outro ciclo produtivo. Assim, é possível reutilizar os recursos sem que haja desperdícios (BREURE, LIJZEN & MARING, 2018).

No entanto, é preciso entender que nem todo o resíduo tem potencial para ser reciclado hoje, mas dentro de uma análise temporal, pode ser que haja tecnologia e viabilidade no futuro, tornando a sua recuperação possível, se destinados ao armazenamento

temporário. O armazenamento temporário é um conceito que pode ser utilizado para o estoque de resíduos, de forma a possibilitar a recuperação de materiais e energia no futuro, fornecendo tempo necessário para o desenvolvimento de tecnologia, mercado e obtenção de matéria-prima suficiente para operação. Este conceito possibilita a reciclagem dos resíduos e a recuperação dos recursos potenciais (GEYSEN, 2013; MASI *et al.*, 2014).

Sabe-se que as alternativas para melhorar as práticas do gerenciamento de resíduos é o tratamento por meio da redução, reutilização e reciclagem (3R's), mas não é preciso limitar-se à isso (HERNÁNDEZ-ROMERO & ROMERO, 2018), assim, o armazenamento temporário pode ser inserido no gerenciamento de resíduos, de forma a permitir uma reciclagem dos recursos no futuro de maneira mais eficiente, principalmente por possibilitar a recuperação dos resíduos que hoje são destinados aos aterros e que não podem ser considerados como rejeitos, por terem potencial de valorização e por não existir tecnologia de reciclagem momentânea.

Pode-se destacar que a PNRS objetiva a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo, incentivo à indústria da reciclagem e à gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a), desse modo, o armazenamento temporário se insere no gerenciamento de resíduos como uma solução para a gestão integrada dos resíduos sólidos para valorizar os resíduos, incentivar a reciclagem e estimular a adoção de padrões sustentáveis.

Também é necessário mudar os hábitos de consumo e de produção para que haja menor geração de resíduos através de novas técnicas de produção que possibilite o aproveitamento dos recursos, tratamentos adequados que permitam a valorização dos resíduos, além de ter uma legislação que promova a mudança no quadro atual que é voltado para dispor os resíduos em aterros sanitários e incentive também a sociedade a ter um consumo mais consciente (GILO & CUNHA, 2017). Sabe-se que isso será praticável se o armazenamento temporário estiver alinhado com a mineração urbana e à economia circular, possibilitando o estoque, recuperação e reintrodução dos recursos no ciclo produtivo, para então, reduzir a quantidade de resíduos dispostos em aterros. Assim é possível ter um desenvolvimento mais sustentável, destinando corretamente os resíduos urbanos e diminuindo os impactos ambientais. Dessa maneira é possível ter uma solução adequada para os resíduos encaminhados para locais que permitam a sua recuperação futura.

Entende-se que o armazenamento temporário pode ser utilizado para quaisquer resíduos que têm potencial de valorização, mas que não possuem viabilidade técnica,

econômica e/ou ambiental de reciclagem momentânea. Como um estudo de caso, entende-se que o armazenamento temporário pode ser aplicado para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), pois é um resíduo cuja geração está aumentando rapidamente, e necessita de um gerenciamento adequado, principalmente por conter em sua composição materiais perigosos e valiosos, e também devido a diversidade de equipamentos, que ainda requer consolidação das tecnologias de reciclagem (KAHHAT & JUNIOR, 2010; KUNRATH & VEIT, 2015). Assim, o armazenamento temporário torna-se uma alternativa para o gerenciamento adequado deste resíduo no fim de sua vida útil.

Entende-se que é necessária uma nova forma de gerenciamento dos resíduos que possibilite a sua maior valorização de forma a aumentar o fluxo de material para a reciclagem. Desse modo, o objetivo geral do estudo é discutir a proposta de inclusão do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos sólidos que apresentam dificuldades tecnológica, econômica e/ou ambiental momentânea, para serem inseridos na cadeia produtiva a fim de atender a economia circular através da mineração urbana. Para isso, os objetivos específicos são: estabelecer a definição utilizada neste trabalho para o armazenamento temporário de resíduos sólidos; definir como o armazenamento temporário se insere no gerenciamento de resíduos sólidos; apontar propostas preliminares de possíveis locais para o armazenamento temporário; e, por fim, estabelecer como se dá o acondicionamento de REEE nesses locais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A conceituação do gerenciamento de resíduos sólidos, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, aterros, mineração urbana, logística reversa, economia circular e armazenamento temporário é necessária para gerar uma base de conhecimento que permita o planejamento de locais que possam ser utilizados temporariamente para o armazenamento de resíduos sólidos a serem reciclados no futuro.

2.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos tornaram-se presentes em diferentes legislações no Brasil, com a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e a PNRS, além de normas técnicas, como a NBR 10.004, por exemplo. A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, implementa a PNSB que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e o define como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos, drenagem e manejo de águas pluviais, tendo como um dos princípios fundamentais a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos, que é o conjunto de atividades e operações relacionadas à coleta, ao transporte, ao transbordo, ao tratamento e ao destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição, capina e poda de árvores em logradouros e vias públicas (ABNT, 2004; BRASIL, 2007; BRASIL, 2010a).

Além do PNSB, cabe ressaltar a PNRS, instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que trouxe uma nova visão sobre a temática dos resíduos que reflete na qualidade de vida da sociedade. A PNRS dispõe de princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada para o gerenciamento de resíduos sólidos no país, incluindo os resíduos perigosos, estabelecendo as responsabilidades dos geradores e do poder público, e instrumentos econômicos aplicáveis. Nela são destacadas diversas definições essenciais para a temática, como o conceito de resíduos, rejeitos, destinação e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a). Pode-se definir os resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos

provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

De acordo com a PNRS os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a origem ou a periculosidade. Com relação a origem os resíduos sólidos podem se subdividir em: urbanos, divididos em domiciliares, originários de atividades domésticas, e de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas; de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços públicos, sendo os de limpeza urbana, de serviços públicos de saneamento básico, os de serviços de saúde, agrossilvopastoris, gerados em atividades agropecuárias e silviculturais, e de serviços de transporte, originários em portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; industriais, gerados nos processos produtivos e instalações industriais; e resíduos de mineração, gerados de atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. Com relação a periculosidade, eles podem ser perigosos, quando apresentarem risco a saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices e riscos ao meio ambiente, ou quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, em função das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, sendo não perigosos se não possuírem nenhuma dessas propriedades citadas anteriormente (ABNT, 2004; BRASIL, 2010a).

Outra classificação dos resíduos segundo de acordo com a Norma NBR 10.004 (ABNT, 2004) é os dividir em classes: classe I, é destinado aos resíduos perigosos que apresentam periculosidade, ou alguma característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, e classe II, para os não perigosos, sendo este último dividido em classe II A - não inertes, para resíduos que não se enquadram como classe I e classe II B, e que podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, e o II B – inertes, para resíduos que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. A PNRS prevê que atividades que gerem ou operem resíduos perigosos devem ser autorizadas ou licenciadas por órgãos

competentes, capazes de comprovar as capacidades técnicas e econômicas, além das condições para prover o gerenciamento adequado desses resíduos (BRASIL, 2010a).

Assim, resíduos sólidos são qualquer material, substância, objeto ou bem descartado de atividades humanas, e que devem ser destinados de forma ambientalmente adequada para a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético ou outras destinações, admitidas por órgãos ambientais competentes. Este, torna-se rejeito quando não possui alternativas de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis ou economicamente viáveis. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos normalmente é realizada em aterros sanitários (BRASIL, 2010a).

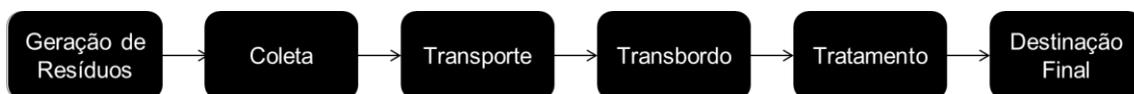
No Brasil, os resíduos sólidos urbanos são compostos por matéria orgânica, como principal componente, papel, papelão, vidro, metais, plásticos, materiais têxteis, madeira, borracha, couros e outros materiais não identificados. Na maioria dos municípios, os resíduos são encaminhados para aterros sanitários para sua disposição final, sem que haja reciclagem, fazendo com que os resíduos se misturem, acarretando no desperdício dos materiais recicláveis. Tanto os resíduos secos recicláveis, quanto os compostáveis (orgânicos putrescíveis) deveriam ser separados pelo gerador em programas de coleta seletiva e encaminhados à reciclagem (ABDI, 2013; FEITOSA, BARDEN & KONRAD, 2018).

Através da análise gravimétrica é possível conhecer as características quali e quantitativas dos resíduos que variam em função de vários aspectos. Os dados de composição e caracterização são importantes para planejar o gerenciamento dos resíduos sólidos, auxiliar no cumprimento da legislação e estimar o potencial de aproveitamento dos materiais recicláveis. Esses dados dependem de sua origem, se doméstico, industrial, da agricultura, hospitalar; em função de aspectos econômicos, sociais, geográficos, culturais e climáticos; assim como variam em função de hábitos de consumo; nível de riqueza; estilo de vida; legislações e costumes (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012; GODECKE, NAIME & FIGUEIREDO, 2012; GILO & CUNHA, 2017; JANI *et al.*, 2017; FEITOSA, BARDEN & KONRAD, 2018).

Desse modo, é necessário buscar o gerenciamento adequado para cada tipo de resíduo, que é denominado como um conjunto de ações, diretas ou indiretas, que inclui as cinco etapas, sendo a coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada, sendo a etapa da coleta e destinação muito importantes (BRASIL, 2010a; IBGE, 2011). Para implementar um plano de gerenciamento de resíduos, é necessário garantir que todos os resíduos sejam gerenciados de forma

adequada e segura, desde a geração até a destinação final, assim é necessário caracterizar as etapas do gerenciamento (Figura 1). O processo de geração de resíduos é a primeira etapa do gerenciamento, na qual é necessário identificar as fontes de geração de resíduos no fim de sua via útil; em seguida eles são coletados, seja pela coleta regular ou seletiva, realizados pelo menos uma vez por semana, possibilitando uma caracterização e quantificação; após a coleta, estes são transportados até a estação de transbordo, onde ocorre a segregação e acondicionamento dos resíduos; depois estes são encaminhados para o tratamento, para que o impacto negativo no meio ambiente e na saúde humana, seja minimizado, ou para outras destinações, de acordo com as características e classificação do resíduo, visando a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes (BRASIL, 2010a; SNIS, 2018; FIRJAN, 2019).

Figura 1: Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a)

O conjunto de ações que busca soluções alternativas para os resíduos sólidos, considerando o âmbito político, econômico, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável é denominada de gestão integrada dos resíduos (BRASIL, 2010a). Assim, percebe-se que é necessário ter uma visão sistêmica para integrar o gerenciamento e a gestão dos resíduos sólidos para reduzir os impactos associados (MAIELLO, BRITTO & VALLE, 2018).

Com relação aos aspectos econômicos, o PNSB estabelece que os serviços públicos de saneamento terão sustentabilidade econômico-financeira através da remuneração pela cobrança dos serviços prestados, por meio de taxas e tarifas, considerando a destinação correta dos resíduos, podendo estimá-lo através do nível de renda da população atendida, características das áreas urbanas e/ou mediante da massa ou volume médio coletado por habitante ou município (BRASIL, 2007). A PNRS estabelece que o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos se responsabiliza pela organização e prestação dos serviços de forma direta ou não, de acordo com o plano municipal de gestão integrada implementado pelas pessoas físicas ou jurídicas responsáveis (BRASIL, 2010a).

A PNRS obriga os municípios a elaborarem um Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos para um horizonte de 20 anos (BRASIL, 2010a) para seu

melhor gerenciamento. No Brasil, a maioria dos municípios brasileiros terceirizam os serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos, por meio de consórcios, devido à falta de conhecimento técnico e financeiro com o objetivo de suprir essas deficiências (MAIELLO, BRITTO & VALLE, 2018). Assim, deve-se destacar a importância da gestão intermunicipal e dos consórcios responsáveis por realizar os serviços para a gestão integrada dos resíduos sólidos (ALFAIA, COSTA & CAMPOS, 2017).

Pode-se destacar a ordem de prioridade para a gestão e gerenciamento de resíduos, como um dos objetivos da PNRS, da opção mais favorável para a menos favorável, para evitar a geração de resíduos, sendo: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a; ABDI, 2013). Quando a não geração se torna impossível, deve-se avançar conforme a ordem de prioridade, até que a última opção seja de dispor de forma ambientalmente adequada, com o objetivo de dispor apenas o que de fato for rejeito para os aterros. Além disso, a partir de 2014, é proibida a destinação e disposição final dos resíduos ou rejeitos em corpos hídricos, lançamento *in natura* a céu aberto ou queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para este fim (BRASIL, 2010a), porém não é isso o que ocorre, acarretando em malefícios à população.

Mesmo com a implementação da PNRS, o Brasil ainda precisa melhorar o gerenciamento dos seus resíduos, principalmente com relação a coleta seletiva, reciclagem e disposição final. Em 2018, de acordo com os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil da ABRELPE (2019), foram gerados, no país, 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, correspondente a média de 380 kg/habitante. Desse total, estima-se que 72,7 milhões de toneladas (92%) foram coletados, mas apenas 43,3 milhões de toneladas (40,5%) foram destinados para aterros sanitários, sendo que 29,5 milhões descartados em locais inadequados, indo para lixões (23%) ou aterros controlados (17,5%), que não possuem nenhum sistema e/ou medidas para proteger o meio ambiente ou a saúde humana.

Comparando com dados do Panorama dos Resíduos Sólidos de 2010, que foi o ano da implementação da PNRS, houve evolução do setor como exposto na Tabela 1. Considerando-se os anos 2010 e 2018, é possível perceber que houve um aumento na geração de resíduos sólidos no país em 30%, uma evolução na quantidade de resíduos coletados pelos serviços de forma geral em 34%, sendo 27% coletados seletivamente. Houve um aumento de 39% dos resíduos destinados ao aterro sanitário, e uma diminuição de 68% e 41% dos resíduos destinados de forma inadequada aos aterros controlados e lixões, respectivamente (ABRELPE 2010; ABRELPE, 2019). Assim,

percebe-se, que há um avanço no gerenciamento de resíduos do país, mas ainda assim, o aterro sanitário não pode deixar de existir, pois, embora exista formas de valorização capazes de recuperar a maior parte dos recursos contidos nos resíduos, ainda haverá uma parcela que será dada rejeito, que deve ser encaminhadas aos aterros (MANNARINO, FERREIRA & GANDOLLA, 2016).

Tabela 1: Comparação do Panorama de Resíduos Sólidos Urbanos

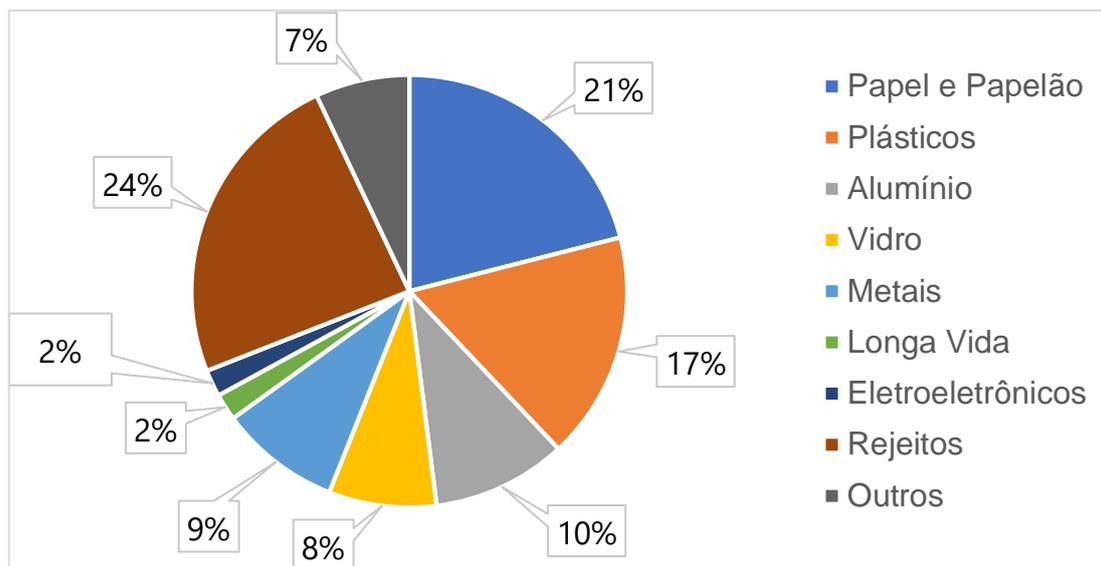
| Parâmetros | Geração (t) | Geração per capita (kg/hab/d) | Coleta Seletiva (%) | Coletado (t) | Não coletado (t) | Aterros sanitários (t) | Aterros controlados (t) | Lixões (t) |
|--------------|-------------|-------------------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------|
| 2010 | 60.868.080 | 1,037 | 57,6 | 54.157.896 | 6.710.184 | 31.194.948 | 15.414.315 | 11.473.045 |
| 2018 | 79.069.585 | 1,039 | 73,1 | 72.748.515 | 6.321.070 | 43.300.000 | 5.015.000 | 6.785.000 |
| Evolução (%) | 29,9 | 0,2 | 26,9 | 34,3 | -5,8 | 38,8 | -67,5 | -40,9 |

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2010 e ABRELPE; 2019.

A coleta seletiva é caracterizada como a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição (BRASIL, 2010a). Assim, cerca de 73% dos municípios brasileiros possuem alguma iniciativa de coleta diferenciada para os resíduos recicláveis, caracterizada em três modelos: porta a porta (80%), quando os resíduos são coletados diretamente nas calçadas, testada ou via pública, normalmente na frente ou próximo as residência; em PEVs (45%), onde os resíduos segregados são colocados em locais pré-estabelecidos de uso coletivo, em contentores, por exemplo; e através de cooperativas, que recolhem os resíduos nos locais previamente estabelecidos. Embora haja estes modelos de coleta seletiva, ainda não é possível atingir todo o território nacional, sendo cerca de 83% da população brasileira atendida, sendo a maioria das iniciativas concentrados no Sul (42%) e Sudeste (45%) do país (CEMPRE, 2018; SNIS, 2018).

Ao analisar a composição gravimétrica da coleta seletiva do Brasil em 2018 (Figura 2), de acordo com o CEMPRE, tem-se que que as aparas de papel e papelão são os materiais mais coletados (21%), em massa, seguidos de plásticos em geral (17%), alumínio (10%), vidros (8%), metais (9%), embalagens longa vida (2%) e eletrônicos (2%), além de outros resíduos que não são classificados (7%). Porém, a percentagem coletada de rejeito também é alta (24%), reforçando a necessidade de se investir mais em educação e na conscientização ambiental para estimular a reciclagem dos materiais, de modo a aumentar estes percentuais e reciclar o máximo de resíduos possíveis.

Figura 2: Dados da Coleta Seletiva de 2018



Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2018.

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é um dos princípios da PNRS, que pode ser implementada de forma individualizadas e encadeadas para todos os atores envolvidos na cadeia produtiva, desde os fabricantes aos consumidores, de forma a minimizar o volume de resíduos sólidos, os rejeitos gerados e os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental, através de práticas de responsabilidade socioambiental. Essa responsabilidade pode ser estimulada pela realização de atividades que alcancem a eficiência e sustentabilidade, estímulo ao desenvolvimento, produção e consumo de produtos derivados de materiais recicláveis e reciclados, promoção do aproveitamentos dos resíduos sólidos evitando a geração dos resíduos, e principalmente, compatibilizar os interesses dos agentes econômicos e sociais juntos aos processos de gestão através de estratégias sustentáveis (BRASIL, 2010a). A sociedade pode evitar desperdícios, através das mudanças em seus hábitos e atitudes, e a industrias, modificando seu modo de produção, tornando-o mais sustentável, através da racionalização de recursos, redução de desperdícios, entre outros (MAIELLO, BRITTO & VALLE, 2018).

Assim, com uma visão de gestão integrada, é possível minimizar os problemas relacionados ao gerenciamento dos resíduos (MAIELLO, BRITTO & VALLE, 2018). É primordial buscar soluções para a disposição dos resíduos sólidos, de forma a permitir a sua máxima valorização com a reinserção no ciclo produtivo, diminuindo a extração de recursos naturais e minimizando os impactos ambientais (BREURE, LIJZEN & MARING, 2018). É preciso investir em diferentes formas de valorização para promover a reciclagem dos resíduos, no entanto, há dificuldades para a implementação de um

sistema de reciclagem eficaz relacionado com a falta de participação da população na coleta seletiva, falta de locais adequados para a separação dos resíduos de acordo com a sua tipologia, longas distancias entre o ponto de coleta e locais de processamento e reciclagem, e pouca adesão do setor industrial (MANNARINO, FERREIRA & GANDOLLA, 2016), além da falta de incentivos às empresas de investirem e fazer da reciclagem um negócio.

Para mudar a atual realidade é preciso haver mudanças nos hábitos de consumo da população, novas técnicas de produção e políticas públicas factíveis ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Práticas simples como promover ações de separar o lixo e estimular a coleta seletiva, viabiliza a reciclagem dos materiais, criando assim, uma nova cultura na sociedade (MANNARINO, FERREIRA & GANDOLLA, 2016; GILO & CUNHA, 2017).

2.2 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) necessitam de uma corrente elétrica ou de campos magnéticos para o seu funcionamento. Os EEE se tornam resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no fim de sua vida útil, quando não há mais possibilidade de reuso, reparo ou manutenção (ABDI, 2013). Os EEE estão presentes no dia-a-dia das pessoas devido à grande variedade de produtos no mercado e pela infinidade de seus usos, sendo programados para terem uma vida útil curta devido à obsolescência programada frente às novas tecnologias ou à falta de peças de reposição (ABDI, 2013; CNI, 2017), aumentando assim o fluxo de geração resíduos (SINGH & GAUTAM, 2014).

O consumo de EEE cresceu rapidamente de 2000 a 2016, principalmente pela facilidade de acesso e preços acessíveis à população. Geladeiras, máquinas de lavar roupa, fornos elétricos e TVs de tela plana foram os equipamentos que tiveram maiores taxas de crescimento anual, da mesma forma alguns equipamentos se tornaram obsoletos, como monitores de tubo de raios catódicos volumosos (CRT) e televisões CRT (BALDÈ *et al.*, 2017). Aproximadamente de 3 a 5% dos resíduos sólidos urbanos são compostos por REEE, e estima-se que essa taxa de crescimento aumente 3 vezes a cada ano (SINGH & GAUTAM, 2014). Pesquisas indicam que a taxa de geração global anual de REEE é 5% e pode-se considerar que este volume aumente até 500% em alguns países (CNI, 2017). Em 2016 foi gerado cerca de 44,7 milhões de toneladas no mundo, equivalente a 6,1 Kg por habitante (BALDÈ *et al.*, 2017), só no Brasil, em 2017, foi

gerado 1,4 milhões de toneladas (ABDI, 2013). Ou seja, este é um resíduo que necessita de alternativas de valorização equiparadas ao volume gerado.

O ciclo de vida dos REEE pode ser dividido em quatro fases no gerenciamento: entrada no mercado, quando o produto é vendido ao consumidor; estoque, quando o produto está em uso; geração do resíduo, quando este torna-se obsoleto e é descartado; e, por fim, o gerenciamento propriamente dito, quando o resíduo é coletado e entra no sistema de logística reversa (BALDÊ *et al.*, 2017).

Hoje, os REEE recebem o mesmo tratamento dos resíduos sólidos urbanos, ou seja, são encaminhados aos aterros sanitários, mas isso não deve ser mantido, visto que estes necessitam de uma destinação diferente a dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com a PNRS. Assim, é fundamental ter segregação dos resíduos sólidos urbanos dos REEE, pois estes apresentam em sua composição materiais importantes para a cadeia produtiva tradicional, como metais, plásticos e outros (KUNRATH & VEIT, 2015; SINGH & GAUTAM, 2014). Já existem alternativas para a destinação ambientalmente adequada dos REEE através do reparo e condicionamento, voltados para o reuso, recuperação de metais valiosos e reciclagem (XAVIER *et al.*, 2018). Segundo KAHHAT e JUNIOR (2010), a alternativa para o tratamento de lixo eletrônico, dentro do gerenciamento de resíduos, é a reciclagem, pois é uma opção ambientalmente benéfica, dado que esta tem como objetivo a recuperação dos componentes valiosos, sendo uma solução para o descarte correto desses resíduos (SINGH & GAUTAM, 2014).

Para o melhor gerenciamento dos REEE é preciso caracterizá-los. De acordo com a Associação Brasileira de Equipamentos Eletroeletrônicos (ABINEE), os REEE são classificados em 11 áreas setoriais: Automação Industrial; Componentes Elétricos e Eletrônicos; Dispositivos Móveis de Comunicação; Equipamentos de Segurança Eletrônica; Equipamentos Industriais; Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica; Informática; Material Elétrico de Instalação; Serviço de Manufatura em Eletrônica; Telecomunicações; Utilidades Domésticas Eletroeletrônicas. Outra forma de classificação é segundo as quatro categorias de uso doméstico, que divide os REEE em linhas branca, marrom, azul e verde (ABDI, 2013; XAVIER *et al.*, 2017; CNI, 2017). A linha branca possui equipamentos de grande porte (35 a 70 kg), composto principalmente por metais e por menor diversidade de componentes e tem vida útil longa (10 a 15 anos); a linha marrom possui equipamentos de médio porte (1 a 25 kg), composto principalmente por plástico e vidro e vida útil curta (5 a 13 anos); a linha azul possui equipamentos de pequeno porte (até 5 kg), composto em grande parte por

plástico e vida útil longa (10 a 12 anos); e a linha verde possui equipamentos de pequeno porte (até 20 kg), com grande diversidade de componente, composto principalmente por metais e plásticos e vida útil curta (2 a 5 anos) (Figura 3) (ABDI, 2013; XAVIER *et al.*, 2017; CNI, 2017).

Figura 3: Linha de produtos eletroeletrônicos

| Linha Branca | Linha Azul | Linha Marrom | Linha Verde |
|--|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Refrigeradores • Congeladores • Fogões • Fornos • Lavadoras de roupa • Lavadoras de louça • Secadoras • Ar-condicionado • Geladeiras | <ul style="list-style-type: none"> • Batedeiras • Liquidificadores • Ferros elétricos • Furadeiras • Espremedores de frutas • Aspiradores de pó • Cafeteiras • Máquinas de costura • Brinquedos • Torradeiras | <ul style="list-style-type: none"> • Monitores de tubo • Televisores de tubo e plasma • TV LCD e LED • DVD e VHS • Equipamentos de som • Filmadoras | <ul style="list-style-type: none"> • Computadores desktop • Laptops • Acessórios de informática • Tablets • Telefones celulares • Impressora • Câmera fotográfica • Videogames |

Fonte: ABDI, 2013; XAVIER *et al.*, 2017; CNI, 2017.

As linhas foram criadas de acordo com a categoria de produção dos produtos, considerando o seu peso e sua vida útil, sendo assim, não adequadas à cadeia de reciclagem, que necessita de uma categorização voltada para a desmontagem dos resíduos. Sendo assim, outra forma de classificação é a proposta no Manual para Destinação de Resíduos Eletroeletrônicos no Rio de Janeiro (XAVIER *et al.*, 2018), onde os REEE são classificados em 7 categorias a partir da segregação na fonte, sendo: eletrodomésticos; eletrônicos; monitores; informática e telecomunicações; fios e cabos; pilhas e baterias; e lâmpadas. Os eletrodomésticos são produtos de pequeno e médio porte para uso doméstico, como por exemplo: refrigeradores, secadoras, fogões, lavadoras, fornos; os eletrônicos são equipamentos que possuem maior quantidade de plástico e que podem ser facilmente desmontados, como por exemplo: batedeiras, liquidificadores, câmeras fotográficas, torradeiras, ventiladores; os monitores podem ser feitos de vidro ou plástico, mas de modo geral são uma categoria a parte devido aos procedimentos que devem ser adotados no transporte, como por exemplo: monitores e telas de Tubos de Raios Catódicos (CRT), telas de cristal líquido (LCD) e monitores de LED; materiais de informática e telecomunicações são utilizados no dia-a-dia das pessoas, como computadores desktops, placas de circuito integrado (PCI), fones de ouvido, videogames, celulares; fios e cabos são condutores de eletricidade mas não

necessitam de maiores cuidados pois são produtos de fácil manejo; pilhas e baterias são dispositivos utilizados para o funcionamento dos equipamentos eletroeletrônicos, e o seu processo de recuperação ainda não está bem estabelecido; e as lâmpadas, que possuem vida útil curta e devem ser descartadas separadamente devido ao risco de contaminação por mercúrio (XAVIER *et al.*, 2018).

Como verificado, existem diferentes REEE, que são compostos por metais ferrosos (preciosos e elementos de terras raras, como ouro e paládio), metais não-ferrosos e plásticos (SINGH & GAUTAM, 2014; CNI, 2017), além de metais pesados como arsênio, entre outros. Em REEE mais complexos podem conter até 60 elementos da tabela periódica, sendo muitos deles são tecnicamente recuperáveis (BALDÈ *et al.*, 2017). As suas características exigem diferentes formas de gerenciamento para que não haja contaminação das pessoas que os manipulam, tanto o consumidor quanto o reciclador, e para que não haja contaminação do meio ambiente devido ao contato com resíduos e água (ABDI, 2013).

Pode-se destacar que os REEE possuem alto índice de reciclabilidade, que é a porcentagem de recursos que podem ser obtidos dos resíduos, sendo: 92% o índice de reciclabilidade de computadores e notebooks, equipamentos industriais e comerciais; 90% dos celulares, tablets e smartphones; e 54% dos televisores e monitores. Além disso, tem-se que é possível reciclar cerca 82,5% dos polímeros e plásticos presente nos REEE. Entende-se assim que os REEE possuem alta taxa de reciclabilidade e que o descarte correto pode acarretar em benefícios econômicos através da reciclagem e recuperação dos componentes, possibilitando a reintegração das matérias-primas no processo produtivo (KUNRATH & VEIT, 2015).

De acordo com a ABDI (2013), já existem iniciativas que utilizam matérias-primas secundárias na fabricação de REEE, porém, essas iniciativas ainda são isoladas e pouco significativas, pois não há infraestrutura de coleta e transporte que se equipare ao volume de resíduos gerados. Sabe-se que o lixo eletrônico requer soluções que visem o máximo de sua reciclagem devido ao valor agregado que seus componentes possuem. É preciso entender que parte dos REEE permanece como rejeito após a reciclagem, devido a fatores tecnológicos, econômicos e/ou ambientais, e essa parcela pode ter potencial de valorização futura. Desse modo, é necessário que exista uma estrutura que armazene esses resíduos que possuem potencial de valorização para uma futura recuperação e reciclagem.

Para que as alternativas de destinação se tornem efetivas é preciso que o consumidor descarte corretamente os seus resíduos para que o volume de REEE gerado seja

computado (XAVIER *et al*, 2018). É preciso conhecer o perfil de geração e descarte de REEE para planejar da melhor forma a implantação dos sistemas de logística reversa, que o encaminhará para a destinação ambientalmente correta. Sabe-se que hoje apenas 41 países possuem dados de REEE, sendo que apenas os países europeus possuem estatísticas regulares e harmonizadas, dificultando quantificar e qualificar dados sobre o lixo eletrônico. Além disso, sua caracterização é complexa por depender de diversos fatores, como tamanho, composição; relevância ambiental, peso, função original, entre outros, tornando o gerenciamento melindroso (BALDÈ *et al.*, 2017).

2.3 ATERROS

Aterros são instalações desenvolvidas e gerenciadas para dispor rejeitos e devem atender aos padrões estabelecidos nas normas técnicas de modo a proteger a saúde pública e o meio ambiente de contaminantes (EIK, 2017; XAYPANYA *et al.*, 2018). De acordo com a *Environmental Protection Agency* (EPA, 2019), podem-se classificar os aterros em sanitários, quando projetados para receber resíduos sólidos urbanos e não perigosos; aterro de resíduos industriais, projetados para receber resíduos comerciais e industriais, que incluem os resíduos perigosos e não perigosos; ou aterros especificamente para resíduos perigosos. De um modo geral, o uso do aterro deve ser evitado e, para isso, deve-se incentivar o aumento da vida útil dos produtos manufaturados para, assim, reduzir o volume de resíduos destinados ao aterro.

O aterro sanitário é a forma mais antiga de dispor os resíduos classe II, como os resíduos sólidos urbanos, a um custo mínimo (ABNT, 2004; MASI *et al.*, 2014; RÖMP, 2016), porém, em países em desenvolvimento, ainda são utilizados aterros controlados e lixões para descartar resíduos. Os aterros sanitários são usados para a disposição dos resíduos no solo sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente, projetados para o recebimento dos resíduos de acordo com requisitos técnicos com sistemas de tratamentos para os efluentes gerados. Os aterros controlados são considerados uma fase intermediária entre aterros sanitários e lixões, onde os resíduos são depositados no solo e cobertos por uma camada de terra ou outro material, sem que haja qualquer forma de tratamento. O lixão é um vazadouro a céu aberto onde os resíduos são depositados sobre o solo sem que haja nenhum preparo do local e nem tratamento dos efluentes gerados, contaminando assim o ar, solo e o lençol freático (ABNT, 1992; IBGE, 2011).

Os resíduos, depois de descartados nos aterros sanitários, dificilmente serão reciclados, pois este é projetado somente para a disposição final do lixo (ARMISHEVA, SLIUSAR & KOROTAEV, 2013) e, legalmente, não pode ser realizada triagem neste local. Os resíduos são encaminhados ao aterro sem que haja uma segregação, na maioria das vezes, o que ocasiona mudanças nas suas propriedades físico-químicas, pois eles interagem quimicamente uns com os outros (JANI *et al.*, 2017), dificultando o processo de recuperação. De acordo com dados do Sistema Nacional de informações sobre Saneamento, em 2018, a quantidade de resíduos coletadas foi de 63 milhões de toneladas, sendo que apenas 1 milhão de toneladas foram recuperadas, sendo 76% destinados ao aterro sanitário, 11% aos aterros controlados, e 13% aos lixões (SNIS, 2018). Ademais, a ocupação e a necessidade de grandes áreas para disposição dos rejeitos ocasionam a escassez de terras (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012).

Aterros de resíduos industriais são criados para o armazenamento de resíduos industriais comuns, classe II, ou perigosos, classe I (ABNT, 2004; EPA, 2019). Os resíduos industriais comuns são sólidos e semissólidos que admitem destinação similar aos resíduos sólidos urbanos, já os resíduos industriais perigosos são sólidos, semissólidos e líquidos, que não possuem tratamento convencional, sendo oriundos de atividade industrial e/ou do tratamento de seus efluentes, e que apresentam periculosidade ou potencial de risco à saúde humana ou ao meio ambiente devido as suas propriedades físico-químicas, de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e/ou de patogenicidade (ABNT, 2004), de modo a necessitar de um cuidado especial (ABNT, 1992).

2.4 MINERAÇÃO URBANA

A extração de recursos do subsolo a partir do processamento de jazidas minerais é denominada mineração tradicional. A mineração urbana é a recuperação dos recursos do “sobressolo” (XAVIER & LINS, 2018), sendo caracterizada como a extração de estoques antropogênicos, voltada para recuperação de recursos naturais, energéticos, minerais, compostos ou qualquer outro estoque (BONIFAZI & COSSU, 2013; COSSU & WILLIAMS, 2015; PARK *et al.*, 2017). A mineração tradicional e urbana são análogas, pois ambas podem recuperar metais e não-metais, além de sucatas ferrosas e não-ferrosas (XAVIER & LINS, 2018).

A mineração urbana é voltada para a concentração de estoques em áreas urbanas, podendo ser realizada para estoques em uso; de hibernação; e dissipação; em aterros; e para reprocessar resíduos de mineração de matéria-prima virgem, como tanques de rejeitos ou montes de escória (JOHANSSON *et al.*, 2013). O termo hoje utilizado para caracterizar qualquer tipo de reciclagem ou recirculação material de produtos pós-consumo, para obter matéria-prima secundária (COSSU & WILLIAMS, 2015; XAVIER & LINS, 2018).

Os materiais dispostos em aterros podem conter uma grande quantidade de recursos com potencial de recuperação (MASI *et al.*, 2014), com porções que podem superar os estoques naturais. A mineração de aterros é caracterizada por atividades de extração e processamento de resíduos que estão estocados em aterros ou dispostos no solo, como em minas de rejeitos de mineração ou aterros de resíduos classe II, por exemplo, visando recuperar os recursos estocados (COSSU & WILLIAMS, 2015; PARK *et al.*, 2017), sendo a escavação, processamento, tratamento e a recuperação dos recursos as etapas do processo de mineração urbana (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012). Segundo GREEDY (2016), é possível destacar quatro aspectos principais para operações de mineração urbana em aterros sanitários, sendo:

Extração de materiais com potencial de reciclagem; extração de materiais adequados para recuperação de energia; a recuperação do solo de cobertura que pode ser reutilizado em operações de aterros próximos ou usado de maneira mais eficiente na reposição dos rejeitos das operações de mineração urbana; e recuperação de terras.

A mineração urbana de aterros pode ser classificada em *in situ* e *ex situ*. A mineração *in situ* se dá pelas atividades de recuperação sem escavar os resíduos armazenados, como por exemplo a extração de metano; e mineração *ex situ* envolve a recuperação com escavação parcial ou totalmente dos materiais para um tratamento adicional posterior (JONES *et al.*, 2013).

Tal prática é utilizada para minimizar a problemática da gestão de resíduos (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012; PARK *et al.*, 2017), gerando benefícios essenciais para a sociedade como minimização dos impactos ambientais, diminuição da demanda por materiais virgens, limitação da extração de recursos escassos e redução o fluxo de resíduos destinados ao aterro (BRUNNER, 2011; GREEDY, 2016; PARK *et al.*, 2017), além de gerar benefícios econômicos (XAVIER & LINS, 2018).

Anteriormente, a mineração urbana era direcionada para recuperação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) por conter uma grande quantidade de

elementos de terras raras e metais caros (COSSU & WILLIAMS, 2015), que são cruciais economicamente para o país. Porém, a mineração urbana pode ser aplicada a quaisquer que sejam os resíduos, além dos metais, como lodo do tratamento de água, escórias de incineração ou restos de pneu, por exemplo, por conterem matérias-primas que podem ser utilizadas em diversos processos produtivos (BONIFAZI & COSSU, 2013). Estudos na Europa e Estados Unidos concluíram que a mineração urbana, voltada para os aterros, é uma opção econômica devido ao prolongamento da vida útil dos aterros e a não necessidade de novos locais para a construção de um novo depósito de resíduo (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012), sendo útil para grandes cidades que não possuem locais para a disposição (MANNARINO, FERREIRA & GANDOLLA, 2016).

Outro conceito é a mineração aprimorada de aterro que é definido pelo armazenamento intencional dos resíduos em aterros, para escavação e valorização dos fluxos de resíduos, tanto de materiais quanto de energia, através de tecnologia integrada (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012; JONES *et al.*, 2013; ROMPH, 2016) voltada para a valorização futura e a recuperação de frações finas que antes eram descartadas, possibilitando a recuperação máxima de recursos (PARRODI, HÖLLEN & POMBERGER, 2018). Entende-se que a mineração aprimorada de aterros pode ser aplicada para aterros novos e antigos, tornando-os minas futuras com potencial de reciclagem eficaz no futuro (DANTHUREBANDARA *et al.*, 2012).

Os autores KROOK, SVENSSON & EKLUND (2012) afirmam que o fator limitante da mineração urbana é a ausência de um arcabouço legal, com padrões e princípios que contenham informações referentes às exigências burocráticas que fundamentem esta prática. Outro desafio destacado é com relação a tecnologia existente para a realização da mineração e quais materiais deveriam ser minerados. Ainda não há consenso sobre os aspectos econômicos que devem ser considerados e quais parâmetros precisam ser analisados. Os autores argumentam que existem informações na literatura científica que possibilitam o projeto do aterro voltado para a prática de mineração urbana, mas que nem sempre será eficiente em termos econômicos. Além disso, há incertezas relacionadas ao projeto de mineração do aterro, como a heterogeneidade dos resíduos, tecnologias de processamento e reciclagem para a recuperação dos recursos, demanda do mercado para compra e/ou venda de matéria prima secundária, escassez da disponibilidade de terras, riscos ambientais e a saúde são variáveis que limitam o estudo de viabilidade econômica (MASI *et al.*, 2014; JANI *et al.*, 2017; PARK *et al.*, 2017; KROOK *et al.*, 2018).

Desde modo, o potencial de mineração de aterros depende de muitas variáveis que são essenciais para a avaliação do seu desempenho. Entende-se então que o planejamento do aterro é fundamental para torná-lo uma reserva de recursos, sendo necessário analisar o que é fundamental para obter o desempenho econômico e ambiental na implementação da mineração urbana, sendo a inovação tecnológica, condições para a realização e o desenvolvimento de estruturas padronizadas os principais desafios de pesquisa (KROOK, SVENSSON & EKLUND; 2012).

2.5 LOGÍSTICA REVERSA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) caracteriza a logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social que possibilita a coleta e o retorno dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para que estes sejam reinseridos em seu próprio ou em outro ciclo produtivo, ou para que tenham outra destinação final ambientalmente adequada. Dessa forma, a logística reversa deve viabilizar o reaproveitamento dos resíduos, diminuindo a parcela que é disposta nos aterros (Brasil, 2010a). O Decreto nº 7.404 de 2010 regulamenta a Lei nº 12.305 de 2010, cria o Comitê Interministerial da PNRS, para apoiar a sua estruturação e implementação, de modo a facilitar o cumprimento das metas estabelecidas, e o Comitê Orientador, para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa (BRASIL, 2010b).

O sistema de logística reversa é um dos instrumentos da PNRS relacionado à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, e deve ser planejado, implementado e operacionalizado através de regulamentação expedida pelo Poder Público, acordo setorial ou termo de compromisso, firmado entre o poder público e o setor empresarial, de abrangência nacional, regional, estadual ou municipal, devendo estes serem revisados em até cinco anos após sua implementação. Além de poder implantar outras medidas como disponibilizar pontos de coleta de resíduos, firmar parcerias com cooperativas ou associação de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, e implantar sistemas de compra de produtos ou embalagens usadas, por exemplo (Brasil, 2010a; BRASIL, 2010b).

São obrigados a implementar e estruturar os sistemas de logística reversa, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, de forma a viabilizar obrigatoriamente a coleta de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e

baterias; pneus; óleo lubrificante; lâmpadas fluorescentes (de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista); e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010a).

O Decreto nº 9.177 de 2017, regulamenta a Lei nº 12.305 de 2010 e complementa o Decreto nº 7.404 de 2010, e estabelece normas para assegurar a isonomia na fiscalização e no cumprimento das obrigações impostas ao setor empresarial, ou seja, para os não signatários do sistema de logística reversa tenham responsabilidade equivalente aos signatários no cumprimento das obrigações estabelecidas pela PNRS (BRASIL, 2010b; BRASIL, 2017).

A cadeia de processos da logística reversa é dividida nas seguintes etapas: descarte, coleta, triagem, reciclagem, destinação e disposição final. O sistema se inicia quando o consumidor devolve os seus resíduos nos pontos de coleta, onde estes são acondicionados após uma segregação realizada pelos próprios consumidores; depois os resíduos são encaminhados para os centros de triagem, para que seja feito um beneficiamento primário. A partir disso, é realizada a separação dos resíduos por tipo de material, para em seguida este ser direcionado para a reciclagem, visando a obtenção de insumos ou novos produtos, através da valorização dos resíduos. E, por fim, quando não houver possibilidade de recuperação do resíduo, este é destinado para a disposição final ambientalmente adequada (ABDI, 2013; KINOBE *et al.*, 2015; COUTO & LANGE, 2018).

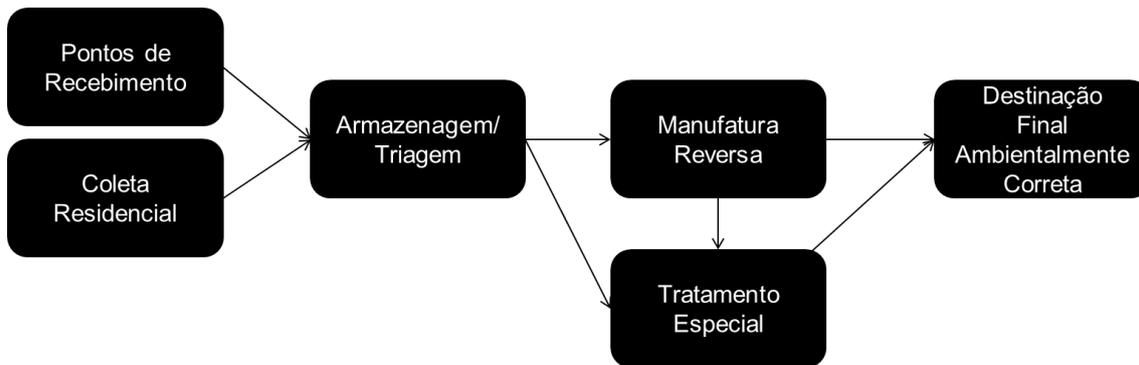
No Brasil, os sistemas de logística reversa, a partir de 2020, serão implementados através do acordo setorial, assinado em 25 de novembro de 2019, firmado entre o Poder Público e o setor empresarial, formado por fabricantes, importadores, comerciantes ou distribuidoras, para estabelecer os termos e condições de implantação e operação. O objeto deste acordo é retornar ao ciclo produtivo os resíduos de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico, excluindo os de uso não doméstico, corporativo e os utilizados em processos produtivos por usuários profissionais; produtos eletroeletrônicos oriundos de serviços de saúde; pilhas, baterias e/ou lâmpadas não integrantes ou removidas da estrutura física dos produtos eletroeletrônicos; componentes eletroeletrônicos individualizados; e resíduos advindos de grandes geradores (BRASIL, 2019).

O sistema de logística reversa será implementado em duas fases. A fase 1 se inicia após a assinatura do presente acordo, em 01 de janeiro de 2020, com término marcado para 31 de dezembro de 2020. Durante esse tempo será criado o Grupo de Acompanhamento de Performance (GAP) para acompanhar e divulgar a implementação do sistema de logística reversa; para buscar a adesão do setor empresarial formalizando

sua participação; instituição do mecanismo financeiro para garantir a sustentabilidade econômica do sistema; estruturar o mecanismo de reporte de dados para auxiliar o monitoramento e acompanhamento do sistema; e buscar o apoio do Ministério do Meio Ambiente, órgãos ambientais e Secretarias de Fazenda para flexibilizar a operação do sistema, tanto para a instalação dos pontos de recebimento e/ou pontos de consolidação, quanto para o transporte de resíduos. A fase 1 começa, prioritariamente, com a instalação dos pontos e recebimento e/ou consolidação; habilitação de prestadores de serviços para atuarem no sistema; e elaboração do plano de comunicação, que divulgará a implantação do sistema de logística reversa para todos os envolvidos, assim como as etapas operacionais, e de educação ambiental, para qualificar formadores de opinião, lideranças de entidades, associações e gestores municipais. A fase 2 contém um cronograma de implantação para um horizonte de 5 anos, na qual será estabelecido o percentual a ser coletado e destinado a cada ano. No ano 1, em 2021, espera-se que esse percentual seja de 1%, atendendo a 24 cidades, já no ano 5, em 2025, espera-se que esse percentual chegue a 17%, atendendo a 400 cidades (BRASIL, 2019).

Os consumidores são obrigados a segregar e armazenar seus os REEE separadamente dos resíduos sólidos, de forma a evitar riscos à saúde humana e danos ao meio ambiente, a fim de descartá-los adequadamente. A operação do sistema de logística reversa está exposta no Manual Operacional Básico, que contém orientações técnicas para o correto manuseio, transporte e armazenamentos dos REEE. O fluxo básico de operação do sistema de logística reversa é composto basicamente pelas seguintes etapas (ver Figura 4): primeiro ocorre o descarte pelos consumidores nos pontos de recebimento ou através da coleta residencial; depois os REEE são transportados primariamente até a área de armazenamento/triagem, onde os resíduos serão separados por similaridade. A partir desse ponto, o fluxo pode se dividir em dois caminhos: os resíduos que possuem potencial de valorização são destinados, através do transporte secundário, para a manufatura reversa, onde será feita a desmontagem dos equipamentos para redirecionar os componentes; já os resíduos que necessitarem de tratamento especial serão encaminhados, através do transporte complementar secundário. Após esta etapa, ambos os resíduos são direcionados para a destinação final ambientalmente correta, para que haja algum tipo de valorização (BRASIL, 2019).

Figura 4: Fluxo de Operação dos Sistemas de Logística Reversa



Fonte: Adaptado de BRASIL, 2019

Os recursos financeiros que garantem a sustentabilidade econômica do sistema de logística reversa serão repassados pelo setor empresarial, composto pelas empresas que aderiram ao acordo setorial, por meio de pagamento direto a GREEN ELETRON, que é a entidade gestora do sistema coletivo, sendo o pagamento feito de acordo com o produto eletroeletrônico colocado no mercado. As empresas não signatárias devem elaborar os seus próprios sistemas de logística reversa através de iniciativas isoladas (BRASIL, 2019).

Através do acordo setorial é possível obter vantagens através do compartilhamento de soluções e otimização de recursos a fim de cumprir as metas estabelecidas neste documento (BRASIL, 2019).

2.6 ECONOMIA CIRCULAR

Ao longo do tempo, as políticas e legislações eram apenas voltadas para a disposição final do rejeito (DE RÖMPH, 2016), refletindo uma economia linear com base no modelo “*take-make-dispose*”, na qual ocorre a extração das matérias-primas para produção de determinado bem, que será descartado no final de sua vida útil (BONIFAZI & COSSU, 2013; COSSU & WILLIAMS, 2015). A economia circular vem mudar o conceito do atual e tradicional modelo linear com uma abordagem de crescimento econômico alinhada com o desenvolvimento sustentável (KORHONEN, HONKASALO & SEPPÄLÄ, 2018), que de acordo com KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT (2017), é:

Uma economia circular descreve um sistema econômico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de "fim de vida" por reduzir, alternativamente reutilizar, reciclar e recuperar materiais nos processos de produção/distribuição e consumo, operando assim ao

nível micro (produtos, empresas, consumidores), nível meso (parques eco-industriais) e nível macro (cidade, região, nação e além), com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, implica a criação de qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras.

O conceito holístico da economia circular deve considerar os três pilares do desenvolvimento sustentável, limitando o fluxo e produção a um nível que a natureza é capaz de tolerar, reduzindo custos com insumos, e possibilitando a criação de empregos (KORHONEN, HONKASALO & SEPPÄLÄ, 2018). A economia circular enfatiza a redução, reutilização, reciclagem e recuperação no processo de produção, circulação e consumo, sendo muito voltada para a reciclagem, mas não deve se limitar a isso (KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

Entende-se que a regulamentação possui uma função fundamental no contexto de transição da economia linear para uma economia circular, pois tais mudanças acarretam em transformações estruturais no sistema existente, principalmente sob o aspecto legal, porém, essa ainda é uma discussão recente, principalmente quando é preciso mudar os modelos atuais de negócio. É preciso entender também que o consumidor tem papel fundamental nessa transição, e, através da mudança nos seus hábitos de consumo e estilo de vida, pode impactar significativamente essa mudança (KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

Assim, é essencial relacionar a economia circular com o ciclo de vida do produto, tornando esta uma das etapas do seu ciclo (desenvolvimento do produto, obtenção de matérias-primas e insumos, processo produtivo, consumo e disposição final), para que no fim de sua vida útil, ele retorne para a cadeia produtiva (BRASIL, 2010a; DE RÖMPH, 2016; KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

A hierarquia da economia circular é composta por 9 R's: recusar, evitando gerar e obter novos produtos; repensar, utilizando o produto de outra forma; reduzir, produzindo de forma mais eficiente; reutilizar, doando e/ou revendendo o produto com condições de uso; reparar, através da manutenção e reparo do defeito; reformar, restaurando o produto antigo para reutilizá-lo; remanufaturar, reutilizando peças de um produto antigo que seriam descartadas para consertar um mesmo produto; reaproveitar, utilizando produtos e peças descartados para um novo produto com função diferente; reciclar, através do processamento do material para obter a mesma ou menor qualidade; recuperar, através da incineração do material. Os três primeiros R's podem ser implementados com o uso e fabricação dos produtos através de um design mais

inteligente, permitindo um uso por maior tempo; os cinco seguintes permitem o aumento da vida útil dos produtos e de suas peças; e os dois últimos permitem a aplicação dos recursos em outros processos produtos, desse modo, deve-se priorizar sempre a redução sobre todos os R's e evitando a recuperação, por se aproximar mais de uma economia linear, aumentando assim, a circularidade dos recursos presentes no ciclo de vida dos produtos (KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

De acordo com COSSU & WILLIAMS (2015), a economia circular possui dois propósitos fundamentais: utilizar o produto durante o maior tempo possível, estendendo a sua vida útil através do reuso e reparo, e o uso de matérias-primas secundárias através da reintrodução dos resíduos no ciclo produtivo, reduzindo-se a geração de resíduos, minimizando a extração de matéria-prima e criando novas oportunidades no mercado. A economia circular compreende também dois ciclos: um técnico, voltado para a reutilização das matérias-primas secundárias na produção até o fim de vida, e um biológico, no qual os recursos se regeneram (BREURE, LIJZEN & MARING, 2018).

Entende-se que o ciclo da economia circular não deve se limitar apenas a um produto ou processo específico, mas a reintrodução do insumo em quaisquer que sejam os processos de forma a diminuir a extração de matérias-primas virgens (BREURE, LIJZEN & MARING, 2018). Assim sendo, a economia circular deve ser uma mudança sistêmica capaz de acarretar em benefícios ambientais, como a otimização do uso dos recursos, além de minimizar os impactos ambientais negativos, reduzindo o volume de resíduos que são gerados. Sua implementação deve potencializar a reutilização dos recursos e minimizar a extração de matéria-prima (BONIFAZI & COSSU, 2013; COSSU & WILLIAMS, 2015; KIRCHHERR, REIKE & HEKKERT, 2017).

2.7 ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO

Os aterros sanitários em países desenvolvidos não são mais vistos como descarte final para os resíduos, segundo DE RÖMP (2016), o aterro deve ser um local de armazenamento temporário para resíduos que aguardam a recuperação através da reciclagem de materiais e de energia, por meio da mineração urbana ou por coprocessamento. Através deste conceito é possível diminuir o percentual de resíduos valiosos que são destinados aos aterros sanitários e à incineração (MASI *et al.*, 2014).

Hoje, o armazenamento temporário é utilizado em algumas situações: para resíduos radioativos (ABULFARAJ, SAMMAN & KAMAL, 1994; SHIMAOKAI *et al.*, 2016), para resíduos a serem incinerados (IBRAHIM *et al.*, 2013b; RÖMP, 2016) e para resíduos que não possuem viabilidade técnica e/ou econômica de reciclagem, tornando-se uma reserva para a recuperação futura (RÖMPH; 2016).

O armazenamento temporário é utilizado em aterros usados para resíduos radioativos ou para aqueles materiais que foram expostos à radiação, e que necessitam ser estocados até o final do tempo de decaimento do elemento radioativo, de forma a diminuir os impactos do meio ambiente e os danos à saúde humana no futuro. Os resíduos devem ser coletados, transportados, acondicionados e destinados para o armazenamento temporário. A estrutura deste aterro deve ser projetada de modo a limitar a exposição de radiação ao homem e ao ambiente externo; possuir contenção dos resíduos armazenados; e proteger os resíduos de efeitos adversos (ABULFARAJ, SAMMAN & KAMAL, 1994; SHIMAOKAI *et al.*, 2016).

Alguns autores (PARRODI, HÖLLEN & POMBERGER, 2018) declaram que o aterro sanitário pode ser transformado em locais de armazenamento temporário, se forem construídos de maneira estrutural e ambientalmente segura (MASI *et al.*, 2014). Assim, é possível facilitar o acesso a esses recursos potenciais no futuro, quando houver tecnologia de processamento disponível, ou com o surgimento de outros usos, dependendo dos mercados disponíveis, qualidade do material e estrutura legal.

Para GEYSEN (2013), o armazenamento temporário é apenas mais uma etapa do ciclo de vida dos materiais e afirma que há três desafios essenciais para implementá-lo, e que também determina o momento de reciclagem e/ou recuperação destes resíduos poderá ser feita: sendo o desenvolvimento das tecnologias de reciclagem, capazes de promover a reciclagem; o desenvolvimento do mercado para a comercialização de matérias-primas secundárias e materiais reciclados; e a obtenção de uma quantidade significativa de resíduos para operar em escala e transformá-los em novos recursos materiais.

Já a Diretiva Europeia 1999/31/CE define o armazenamento temporário como um local de armazenamento de resíduos até que a sua coleta seja realizada, visando o tratamento ou disposição, de acordo com o tipo de resíduo, capacidade de operação das plantas de processamento e/ou demanda por energia, período de armazenamento e objetivo da coleta. Esse armazenamento pode classificar-se em sazonal, referente a períodos de até oito meses para resíduos destinados a incineração, e não sazonal, referente ao período de dias a semanas sendo este igual ou maior que três anos quando

o resíduo é destinado à valorização (UNIÃO EUROPEIA, 2008; IBRAHIM *et al.*, 2013; GEYSEN, 2013; DE RÖMPH, 2016).

Um exemplo de utilização de armazenamento temporário é o do aterro de Remo, localizado na Bélgica, que inicialmente funcionava como um aterro tradicional, onde eram depositados cerca de 16 milhões de toneladas de resíduos desde a década de 1970 (KROOK *et al.*, 2018). No local foi implementado o armazenamento temporário, concebido com legislações de aterro sanitário devido à ausência de legislações específicas, para armazenar resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e resíduos de construção e demolição (JONES *et al.*, 2013).

A operação do aterro de Remo ocorreu em diferentes fases com a implantação da mineração *in situ* e *ex situ*. A primeira fase foi a realização da mineração *ex situ*, na qual ocorreu a concepção de um local para o armazenamento temporário, seguindo três princípios: agrupamento de materiais em células; geração de quantidades uniformes diariamente ou semanalmente, e mapeamento da localização dos materiais de acordo com um modelo 3D. A quantidade de resíduos estimada para cada célula baseou-se no volume recebido pelo aterro; o potencial de valorização foi definido através do agrupamento de materiais em categorias (como por exemplo plásticos, metais, vidros, e etc.) para resíduos que não podiam ser reciclados, em função do cenário atual e a implementação de novas tecnologias. A segunda fase foi a mineração *in situ*. Nela ocorreram a aplicação de três principais técnicas: remediação do local para remover poluentes, lavagem para remover compostos solúveis e extração de material para a recuperação de metais. A partir da implementação da mineração *in situ* e *ex situ* espera-se preencher a lacuna existente entre a escala atual, onde os resíduos são destinados para o aterro sem que haja recuperação dos recursos, e a escala para operar o aterro, após a implementação do armazenamento temporário, com a recuperação de materiais e energética. No futuro, espera-se que a área natural seja restabelecida (GEYSEN, 2013; JONES *et al.*, 2013).

De acordo com alguns autores (KAHHAT & JUNIOR, 2010), descarte homogêneo de resíduos em monocélulas já é utilizado para alguns tipos de materiais, como resíduos de usinas de carvão, pneus, amianto e outros resíduos especiais. No caso específico do estudo, também é possível utilizar monocélulas para REEE, tornando-o um aterro de lixo eletrônico, limitando a interação com outros tipos de resíduos, como os putrescíveis, diminuindo o risco ambiental e a qualidade do material presente, e tornar o local como armazenamento temporário de resíduos para valorização futura, quando houver viabilidade técnica, econômica e/ou ambiental de reciclagem, para recuperar os

recursos não renováveis. Porém, este tipo de local pode tornar o resíduo susceptível a oxidação, degradando alguns metais presentes nos REEE.

Entende que o conceito de armazenamento temporário precisa ser melhor desenvolvido para que esses locais sejam estruturados conforme regulamentações ambientais, de forma a permitir a e a recuperação futura dos materiais que estejam ali depositados (JONES *et al.*, 2013). Assim, é possível estimular mais a reciclagem e possibilitar uma economia mais circular com a reinserção dos recursos no ciclo produtivo (PARRODI, HÖLLEN & POMBERGER, 2018) através da recuperação dos materiais obtidos com a mineração urbana.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a elaboração do presente trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas de abordagem qualitativa, na qual foram consultados artigos publicados no Periódicos Capes, Google Acadêmico e trabalhos apresentados em congressos. A busca foi realizada em sites eletrônicos, no período de janeiro a dezembro de 2019, com as seguintes palavras chaves: economia circular, mineração urbana, armazenamento temporário, logística reversa, gerenciamento de resíduos, resíduos sólidos urbanos e resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A metodologia científica adotada foi hipotético-dedutiva segundo Bunge (MARCONI & LAKATOS, 2003), que objetiva alcançar a verificação da hipótese levantada que é inserir o armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos sólidos para atender a economia circular, a partir do conhecimento-prévio obtido com base na pesquisa bibliográfica realizada. As etapas utilizadas na metodologia foram:

- i. Buscou-se as definições de armazenamento temporário presentes em artigos científicos a fim de conhecer as discussões até o presente momento sobre este conceito e obter um conhecimento prévio;
- ii. A partir do levantamento literário sobre o entendimento do armazenamento temporário, foi apresentada uma discussão de como este poderia ser inserido nas etapas do gerenciamento de resíduos sólidos;
- iii. Foi proposta, de forma preliminar, os possíveis locais para o armazenamento temporário de resíduos sólidos, concebido para o estoque de resíduos que não possuem viabilidade técnica, econômica e/ou ambiental de reciclagem, considerando o modelo atual de descarte, visando a sua adaptação e conectando a mineração urbana e economia circular, de forma a propor um estoque que viabilize a recuperação dos resíduos no futuro;
- iv. E, por fim, buscou-se aplicar a utilização do armazenamento temporário para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), e como poderia se dá o seu acondicionamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico serão discutidos como o armazenamento temporário pode ser conceituado quando é utilizado como uma etapa do gerenciamento de resíduos sólidos, assim como as justificativas para a sua implementação. Posteriormente, serão feitas propostas preliminares de possíveis locais para o armazenamento temporário e, por fim, estabeleceu-se como poderia ser o acondicionamento de REEE nesse tipo de armazenamento.

4.1 ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO

Verificou-se que na literatura que existe o conceito de armazenamento temporário para diversos usos, contudo ele ainda não está definido dentro do gerenciamento dos resíduos sólidos. Porém, entende-se que o armazenamento temporário, como levantado por GEYSEN (2013), é a apenas uma etapa do ciclo de vida dos produtos.

Sabe-se que com a escassez dos recursos naturais, é necessário adotar um modelo de desenvolvimento mais sustentável, assim, é preciso ter uma economia mais circular através da mineração urbana. É preciso entender que a economia circular engloba ações de minimização de resíduos, reciclagem de material e mineração urbana, através dos seus fundamentos de utilizar os produtos durante um maior tempo, e quando não for possível, destiná-lo de forma ambientalmente adequada. Desse modo é possível otimizar o uso dos recursos e incentivar a minimização da geração dos resíduos, utilizando técnicas de prevenção, estimulando a conscientização ambiental através de novos padrões de consumo. Com a destinação ambientalmente adequada, é possível reciclar os materiais, visando transformar a maior parte dos resíduos em recursos, através do processamento, e reinseri-los no ciclo produtivo. Desse modo, é possível dispor em aterros somente o que de fato for considerado rejeito (COSSU & WILLIAMS, 2015; XAVIER & LINS, 2018).

A partir da economia circular é possível ter um modelo de desenvolvimento que é voltado para o uso e reuso dos materiais. Do mesmo modo, a mineração urbana, que visa a recuperação máxima dos resíduos estocados no armazenamento temporário, torna-se uma alternativa para obter recursos, com o aproveitamento econômico da

matéria-prima secundária (XAVIER & LINS, 2018). Assim, percebe-se que a economia circular e a mineração promovem uma visão sistêmica do gerenciamento dos resíduos, que, como visto na revisão bibliográfica, ainda requer melhorias, pois boa parte dos resíduos ainda são encaminhados aos aterros. Com a inserção do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos, se pode alcançar maior proteção ambiental, conservação dos recursos, e gerando retorno econômico futuro. O armazenamento temporário pode ser considerado uma etapa catalisadora do fluxo de resíduos para o retorno a cadeia produtiva.

Dessa maneira, o armazenamento temporário pode se alinhar à economia circular, como um novo caminho para a reciclagem, possibilitando o fechamento dos ciclos dos materiais a partir da reciclagem direta dos resíduos. Sendo a mineração urbana um novo caminho para reintegrar os resíduos, no final de sua vida útil, através da recuperação dos recursos. Assim, o conceito de mineração urbana pode se relacionar com a economia circular e o fechamento dos ciclos produtivos (COSSU & WILLIAMS, 2015), tornando-os mais eficientes.

O armazenamento temporário pode ser utilizado para resíduos que não apresentarem viabilidade tecnológica, econômica e/ou ambiental momentânea de serem reinseridos na cadeia produtiva, possibilitando a reciclagem e valorização futura, de forma a minimizar os impactos ambientais e os riscos potenciais da disposição (RÖMPH; 2016). Entende-se que o armazenamento temporário pode ser aplicado para quaisquer que sejam os resíduos, sendo o foco deste trabalho o armazenamento temporário de resíduos eletroeletrônicos.

4.1.1 O Armazenamento Temporário no Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O armazenamento temporário funcionará como um depósito de resíduos que não possuem viabilidade tecnológica, econômica e/ou ambiental momentânea de reciclagem, possibilitando assim a valorização futura.

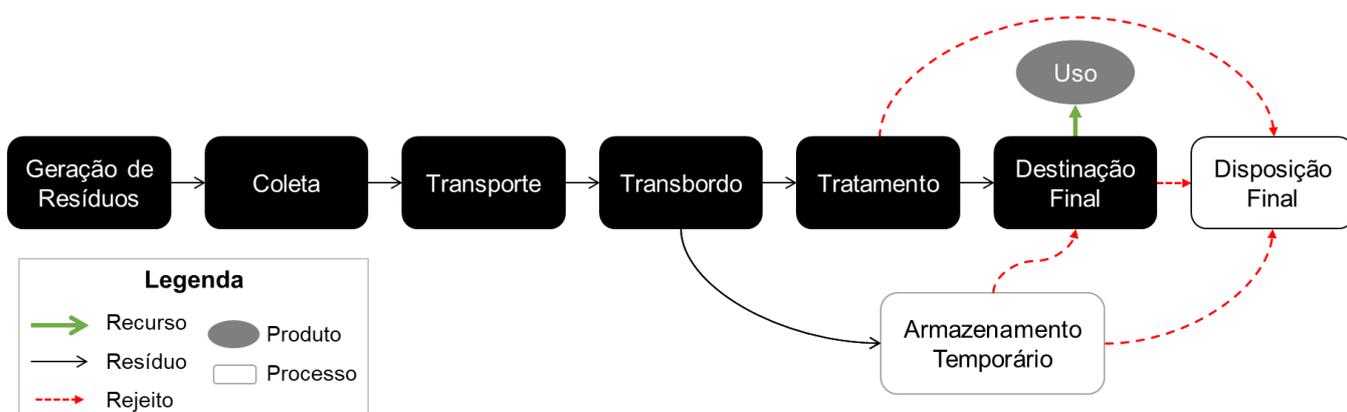
A gestão de resíduos busca alternativas para os resíduos sólidos, para, de alguma forma, otimizar e garantir o máximo da reciclagem e a mínima geração de rejeitos. Dessa maneira, o armazenamento temporário se insere no gerenciamento como uma alternativa de destinação ambientalmente adequada para os resíduos.

Para que o armazenamento temporário seja inserido como uma alternativa de gestão para os resíduos é preciso também se ter políticas públicas com orientação de como esta nova etapa do gerenciamento de resíduos pode ser implementada com o auxílio da coleta seletiva e sistemas de logística reversa, para que os resíduos sejam previamente segregados conforme sua constituição ou composição, como estabelecido pela PNRS (BRASIL, 2010a).

É preciso estimular os geradores a aderirem a coleta seletiva e incentivar a devolução dos resíduos nos pontos de coleta dos sistemas de logística reversa. Esta etapa é essencial para o gerenciamento de resíduos, pois permitirá uma avaliação qualitativa, segundo as características físicas dos resíduos, e/ou quantitativa, baseado na massa coletada. A triagem quantitativa e qualitativa possibilitará a realização de uma estimativa do potencial econômico e o dimensionamento dos locais de armazenamento temporário (FEITOSA, BARDEN & KONRAD, 2018) com adequação do local de armazenamento aos volumes gerados.

A inclusão de uma nova etapa no gerenciamento de resíduos se dá pela necessidade de recuperar recursos que estão indo para o aterro sanitário, tornando-se uma alternativa de destinação final ambientalmente adequada, como a reciclagem, incineração energética, remanufatura, entre outros. O gerenciamento de resíduos que anteriormente era composto por 6 etapas: geração de resíduos; coleta; transporte primário; triagem; tratamento e destinação final (Figura 1), agora seria composto por 7 etapas (Figura 5) com a inclusão do armazenamento temporário e a disposição final de rejeitos, sendo a parcela de recurso obtida na destinação final encaminhada para o uso.

Figura 5: Esquema geral da proposta para a inclusão do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Assim, como no tradicional gerenciamento de resíduos sólidos, os resíduos são gerados pelo consumidor e destinados à coleta seletiva e/ou sistemas de logística reversa, que irá promover uma segregação primária de acordo com sua constituição ou composição. Depois os resíduos são encaminhados, através do transporte primário, para uma nova etapa de triagem, que ocorre na estação de transbordo, onde os resíduos são segregados e acondicionados. Depois dessa etapa ocorre uma tomada de decisão: parte do resíduo é destinado à reciclagem, e outra parte, que também é reciclável, mas normalmente é enviada ao aterro, deverá ser encaminhada ao armazenamento temporário, onde futuramente será reciclada. Os rejeitos gerados no fluxo do gerenciamento, nas etapas tratamento, destinação final e armazenamento temporário são encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada.

Essa alteração no fluxo de gerenciamento impacta de forma benéfica toda a cadeia de resíduos, promovendo mais uma alternativa de destinação para os resíduos com potencial de valorização, proporcionando a recuperação máxima dos recursos, principalmente os não renováveis e as matérias-primas críticas, destinando só os rejeitos para os aterros sanitários.

Entende-se que a concepção de aterro hoje não é adequada para o armazenamento temporário de resíduos, apenas para a disposição final de rejeito, pois os resíduos são coletados sem que haja uma segregação, impossibilitando a recuperação futura. Assim, o armazenamento temporário será uma etapa do ciclo de vida dos produtos, e o estoque dos resíduos irá promover as três dimensões do desenvolvimento sustentável: renda, diminuindo os impactos ambientais e recuperação dos recursos valiosos, promovendo assim uma qualidade na segregação dos resíduos, para que estes sejam mais facilmente inseridos na cadeia produtiva.

Para a inclusão do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos sólidos se deve considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultura, e social, com controle social e sobre a premissa do desenvolvimento sustentável, como estabelecido pela Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010). As justificativas para a inclusão do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos são apresentadas e discutidas a seguir:

- Mudança de paradigma sobre o aterro sanitário atual:

A concepção atual dos aterros sanitários é vista como forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, onde os resíduos são encaminhados todos misturados, acarretando no decréscimo de suas propriedades, impossibilitando uma possível

recuperação dos materiais com potencial de reciclagem ou utilização para o aproveitamento energético. O gerenciamento de resíduos deve ser planejado, visando a recuperação dos recursos com o auxílio da coleta seletiva e logística reversa, que permitem a triagem dos resíduos, para que seja encaminhado ao aterro sanitário apenas o que de fato é rejeito. Assim, o armazenamento temporário surge como uma etapa para auxiliar a gerenciamento dos resíduos e possibilitar a estocagem dos resíduos que possuem potencial de recuperação.

- Aumento da vida útil dos aterros sanitários:

Sabe-se que as cidades estão cada vez mais densamente povoadas e os locais adequados para a construção de novos aterros são escassos e estão se tornando cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos. Assim, o armazenamento temporário surge como uma forma de estoque para otimizar a reciclagem e recuperação dos resíduos e destinar apenas os rejeitos para os aterros sanitários, diminuindo assim a necessidade de grandes ou novas áreas para a construção de aterros sanitários, e aumentando a vida útil dos aterros sanitários.

- Estímulo para o desenvolvimento de tecnologias para tratamentos de resíduos:

Nem todos os resíduos possuem tecnologia de tratamento, porém estes podem possuir matérias-primas importantes e que são escassas e, conseqüentemente, não devem ser dispostos em aterros. O armazenamento temporário passa a ser uma alternativa para estocar os resíduos com potencial de recuperação, mas que aguardam o desenvolvimento de tecnologias, aplicáveis por exemplo aos REEE e aos resíduos radioativos que não possuem tratamento e, por isso, ficam armazenados até ao decréscimo do seu potencial de radiação.

- Viabilidade econômica da reciclagem:

Há casos em que a reciclagem não é realizada, pois não há uma unidade de reciclagem instalada nas proximidades do local de geração e as distâncias a percorrer para o seu encaminhamento a uma empresa recuperadora inviabiliza economicamente o processo. Também, neste caso, é importante o armazenamento temporário de resíduos que tem potencial futuro para recuperação.

- Fonte secundária de matéria-prima:

Há diversas mudanças em andamento no mundo e cada vez mais as matérias-primas secundárias estão sendo utilizadas devido à escassez dos recursos naturais não renováveis, competição pelos recursos naturais e preços das matérias-primas. Entende-se que, a recuperação destes resíduos se tornará atrativa. Assim, o armazenamento temporário surge como uma alternativa viável para obtenção de matérias-primas, funcionando como um local concentrador e fornecedor de resíduos.

- Políticas públicas e incentivo à reciclagem:

A PNRS incentiva o reuso, reutilização e reciclagem dos resíduos, porém não há legislação que estimule e/ou obrigue o uso de matéria-prima secundária no setor produtivo, do mesmo modo, não há estímulo para que os consumidores utilizem materiais reciclados. Isso se dá pelo fato de a reciclagem, ter um preconceito quanto ao seu material ter qualidade inferior, o que nem sempre é verdade. Assim, junto com a implantação do armazenamento devem-se ter as políticas públicas para beneficiar as indústrias que utilizarem matéria-prima secundária, para que os custos da reciclagem sejam compensados.

São necessárias medidas legais que incentivem o uso de matérias-primas secundárias no ciclo produtivo (GEYSEN, 2013) para que o armazenamento temporário seja implementado de maneira eficiente. Com isso, se pode ter a segregação e coleta dos resíduos para a promoção do desenvolvimento de tecnologias e a instalação de unidades produtivas para a recuperação dos resíduos armazenados

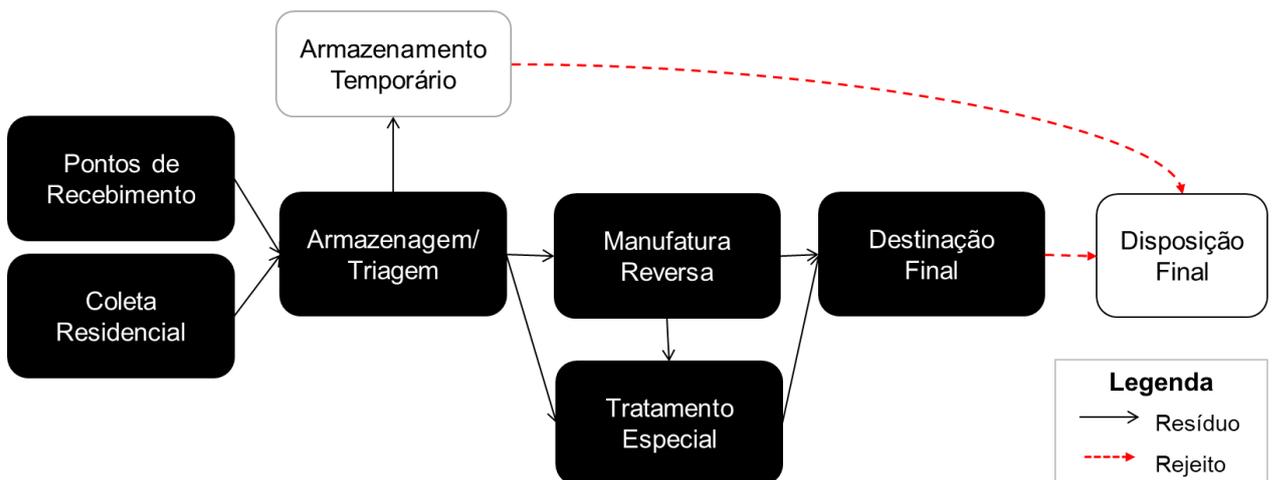
Desse modo, o armazenamento temporário se insere no gerenciamento dos resíduos, tornando-o mais eficiente, possibilitando padrões sustentáveis de produção e bens de consumo, atendendo a sustentabilidade, promovendo a qualidade ambiental e permitindo melhores condições de vida (BRASIL, 2010a).

4.1.2 Propostas Preliminar de Possíveis Locais para o Armazenamento Temporário

Para a concepção do local de armazenamento temporário para os REEE, buscou-se a ideia de setorização do espaço destinado à estocagem, como exposto por SHIMAOKA (2016), que aplica o armazenamento temporário para resíduos radioativos, de modo que

os resíduos sejam armazenados separadamente de acordo com a suas características. Entende-se, que por se tratar de um resíduo que pode sofrer alterações físicas devido a intempéries, o local de armazenamento deve ser coberto para que não haja contaminação, degradação e oxidação dos materiais. No caso específico dos REEE, o armazenamento temporário se insere no fluxo de operação dos sistemas de logística reversa (Figura 4) paralelamente a etapa de triagem (Figura 6).

Figura 6: O armazenamento temporário inserido no fluxo de operação dos sistemas logística reversa



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Dessa forma, a propõe o fluxo operacional do armazenamento temporário deve ser organizado de forma a possibilitar a separação, segregação, identificação, setorização e mapeamento dos resíduos depositados (Figura 7).

Figura 7: Fluxo de operação do armazenamento temporário



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Inicialmente os resíduos poderão ser coletados através da logística reversa e seguirão o seu fluxo de operação. Estes serão encaminhados para o fluxo do armazenamento

temporário após a etapa de triagem primária do fluxo operacional do sistema de logística reversa, que separa os resíduos de acordo com a sua similaridade, otimizando a etapa de segregação posterior. Depois, os REEE são encaminhados para uma local de triagem secundária, onde ocorre a segregação dos resíduos a fim de possibilitar a identificação, o armazenamento setorizado e potencialização de sua valorização. A junção dos resíduos em grupos permite a divisão do local destinado ao armazenamento temporário. Após a etapa de segregação os resíduos devem ser conduzidos para a etapa identificação. Entende-se que a segregação dos REEE deve estar alinhada a identificação e localização dos estoques com o propósito de caracterizar os resíduos em armazenamentos e possibilitar a sua localização futura. E, por fim, os resíduos são destinados ao armazenamento temporário permitindo o seu mapeamento, para que haja um registro de sua localização, possibilitando a modelagem gráfica do armazenamento temporário de modo a fomentar a estruturação do local.

Uma importante etapa é a triagem, pois determinará como os resíduos serão segregados e armazenamentos. A partir da separação, é possível segregar os REEE em grupos e subgrupos, e partir disso identificá-los para que estes sejam encaminhados para a setorização do armazenamento temporário, onde serão estocados e mapeados para que aguardem a valorização futura.

Neste trabalho serão propostas, de forma preliminar, três possibilidades de estoque seguindo o fluxo de operação do armazenamento temporário: aterro setorizado, adaptação de armazém e um pátio de contêineres. Entende-se que os locais são adequados e adaptáveis ao fluxo operacional do armazenamento temporário e poderão funcionar como estoque para ser utilizado no futuro para a recuperação dos materiais quando houver o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a reciclagem. Destaca-se que para que os locais se tornem armazenamentos temporário no gerenciamento de resíduos é necessário que o local tenha licenciamento para que os locais sejam concebidos conforme as regulamentações ambientais.

a) Aterro Setorizado

De acordo com alguns autores (KROOK, SVENSSON & EKLUND, 2012), o aterro pode ser utilizado como armazenamento temporário para ser um reservatório de recursos no futuro, mas um aterro projetado especificamente para a recuperação de recursos não se justifica economicamente. Porém, isso deve ser melhor estudado, visto que os aterros são concebidos para o depósito de resíduos e é possível, através da mineração urbana *in situ*, recuperar os resíduos armazenados.

Entende-se, a assim, que o aterro setorizado pode ser uma alternativa para o armazenamento temporário visto que são projetados para o depósito de resíduos em diferentes células, permitindo a identificação, setorização e mapeamento. Para isto, deve ser feita uma obra geotécnica, com uso de membranas, recobrimento e sistema de drenagem de efluentes. No caso do armazenamento de REEE, monocélulas cobertas deverão ser utilizadas para minimizar a oxidação ou outras alterações nas propriedades dos materiais constituintes dos REEE.

b) Adaptação de Armazém de Logística

O armazém é utilizado hoje por muitas empresas como parte da operação logística para armazenar seus materiais e produtos (SILMA & LIMA, 2015). Assim, entende-se que esta forma de depósito se torna uma alternativa para o armazenamento temporário proposto, visto que ele é utilizado como um abrigo de cargas com o objetivo de manter o material estocado de acordo com às especificações técnicas.

Entende-se que o armazém de logística se adequa ao armazenamento temporário por ser um abrigo de cargas, permitindo armazenar um grande volume de resíduos. Assim, os resíduos poderiam ser armazenados em prateleiras e nas estantes, permitindo a identificação, setorização e mapeamento. Para isto, devem ser realizados estudos técnicos e operacionais do local, o solo deve ser impermeável, deve haver controle de umidade e de temperatura, estruturas de ventilação, saídas de emergência, entre outros.

c) Pátio de Contêineres

Contêineres são projetados com material resistente capaz de suportar as cargas transportadas, de forma econômica, rápida e segura. Sua vida útil operacional é restrita a 10 anos exigidos pela legislação, porém de acordo com alguns autores, o contêiner pode durar até 100 anos (SANTOS et al, 2017; MONFORTE et al, 2018). Sabe-se também que o descarte de contêineres é um problema recorrente, assim, deve-se buscar oportunidades de reciclagem e reuso do produto de forma a minimizar esse passivo ambiental. Os contêineres são reutilizados hoje para construção civil e arquitetura, para a concepção de casas e lojas sustentáveis, por exemplo (SANTOS et al, 2017; MONFORTE et al, 2018).

Assim, entende-se que o contêiner pode ser um depósito alternativo ao armazenamento temporário visto que são projetados para armazenar e transportar cargas e principalmente devido a sua resistência, durabilidade e capacidade de empilhamento. Além de ser uma alternativa de uso, que incentiva a reciclagem, para o descarte de contêineres. Sabe-se que o contêiner permite o empilhamento, tornando o armazenamento adaptável e flexível, além de permitir o armazenamento de um grande volume de materiais, o que é benéfico, visto que é necessário um espaço físico destinado ao estoque. Assim, o armazenamento dos resíduos em contêineres, permite a identificação, setorização e mapeamento destes no pátio. Para isto, também devem ser realizados estudos técnicos e operacionais para que o solo seja impermeável, haja controle de umidade e de temperatura.

O esquema operacional do armazenamento temporário deve se adequar a cada região do país, devem ser analisadas as condições técnicas, operacionais, econômicas e ambientais através de um projeto estratégico, analisando o espaço disponível, volume de resíduos gerados, custos, tempos de armazenamento e tecnologias disponíveis. Este estudo pode ser feito a partir de indicadores, que permite identificar os parâmetros limitantes para a concepção de um local para o armazenamento temporário.

4.1.3 Proposta de Acondicionamento de REEE

Esse trabalho apresenta uma proposta da implantação de armazenamento temporário aplicável para os resíduos sólidos urbanos, porém, o estudo de caso para os REEE. Entende-se que os REEE podem ser armazenados temporariamente por ter a possibilidade de gerar retorno econômico através da sua recuperação dos recursos devido a sua composição diversificada e valiosa (SINGH & GAUTAM, 2014).

Os REEE são um resíduo que deve ser descartado obrigatoriamente através de um sistema de logística reversa para que este seja destinado corretamente. Assim, devido as obrigatoriedades da PNRS, pensa-se que o armazenamento temporário de REEE possibilita a máxima recuperação dos seus recursos valiosos, promovendo, o desenvolvimento sustentável ao deixar de extrair recursos da natureza, tornando-o este resíduo um bem econômico, e possibilitando a geração de empregos.

Sabe-se que a reciclagem é benéfica para o meio ambiente, mas ainda não existem tecnologias viáveis capazes de reciclar todos os REEE gerados. As tecnologias existentes estão em escala piloto ou em estágio inicial, sendo incapazes de solucionar a problemática atual (KAHHAT & JUNIOR, 2010). Assim, o armazenamento temporário surge como uma solução sustentável para estocar os resíduos até que se torne viável técnica, econômica, e/ou ambientalmente a recuperação dos resíduos estocados.

Sabe-se, assim, que há diferentes locais de armazenamento temporário que podem ser concebidos de acordo com o tipo de REEE a ser armazenado. As diferentes formas de local para o armazenamento temporário precisam ser melhor estudadas para análises de viabilidade técnica, econômica e ambiental, de modo a permitir a máxima valorização futura dos materiais estocados e, para isso, o fluxo de armazenamento temporário deve ser seguido, de forma a otimizar o processo de recuperação.

É preciso ter uma infraestrutura de armazenamento capaz de promover a sua futura recuperação de forma que não haja perda do material valioso. A composição diversificada dos REEE torna-se um desafio para a gestão e o gerenciamento de resíduos. A triagem deve ser realizada de acordo com o volume do REEE, local a ser concebido, tipo de REEE. Desse modo, o acondicionamento do REEE no armazenamento temporário pode ser realizado segundo:

- Especificação da ABINEE que classifica os REEE de acordo com uso doméstico: linha branca, marrom, verde e azul;

- Componentes, se houver algum tipo de reciclagem imediata, que permita o descomissionamento e separação dos REEE em componentes, como placas de circuito impresso, baterias e fios.
- Material, se houver algum tipo de reciclagem imediata, que permita o descomissionamento e separação dos REEE de acordo com o material, como metal, plástico e vidro, priorizando o armazenamento temporário das matérias-primas críticas e elementos de terras raras, cobre, ouro, prata, chumbo, por possuírem maior valor agregado.

5 CONCLUSÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos trouxe uma nova visão sobre a temática dos resíduos sólidos através dos conceitos de gerenciamento e gestão dos resíduos sólidos, objetivando a não-geração, reduzir, reutilizar e reciclar. Porém esse ainda é um caminho longo a percorrer, sendo necessário incentivar práticas simples como promover ações de separar o lixo, incentivando a coleta seletiva e os sistemas de logística reversa, criando assim nova cultura na sociedade, através do retorno do resíduo ao ciclo produtivo através de sua reciclagem. Sabe-se que pequenas ações da sociedade não são capazes de mudar de forma significativa o gerenciamento de resíduos, e é preciso que haja vontade política e recursos econômicos capazes de mudar o cenário atual, implementando de forma mais efetiva um gerenciamento adequado à realidade da geração dos resíduos.

Entende-se que o armazenamento temporário pode ser inserido como uma nova etapa no gerenciamento dos resíduos a fim de atender a economia circular, possibilitando sua maior valorização, de forma aumentar o fluxo de material para a reciclagem. Desse modo, o armazenamento temporário permite o estoque de resíduos que não possuem viabilidade técnica, economia e/ou ambiental de serem reciclados momentaneamente, possibilitando a valorização futura. É importante que esta forma de armazenamento seja uma etapa do gerenciamento, como uma alternativa da gestão integrada dos resíduos sólidos, permitindo a recuperação dos recursos e a reinserção das matérias-primas no ciclo produtivo atendendo à economia circular, que permite a máxima reutilização dos recursos. Assim, o armazenamento é apenas uma etapa do ciclo de vida dos produtos, permitindo estimular maior fluxo de material para a reciclagem, como objetiva a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A partir das propostas preliminares de possíveis locais para o armazenamento temporário, conclui-se que, o local deve ser organizado de forma a possibilitar a separação, segregação, identificação, setorização e mapeamento dos resíduos depositados. Destaca-se que o aterro setorizado, armazém de logística adaptado e um pátio de contêineres são locais que se adaptam ao fluxo do armazenamento temporário, porém, não é possível estabelecer qual local é o mais adequado. Para isso, devem ser analisadas as condições técnicas, operacionais, econômicas para cada concepção.

A aplicação do armazenamento para ao REEE se dá pelo fato destes resíduos possuírem em sua composição materiais valiosos e perigosos, devido ao seu alto índice

de reciclabilidade e por possibilitar retornos econômicos, acarretando em benefícios ambientais e econômicos através da reciclagem e recuperação dos resíduos. Assim, o acondicionamento do REEE no armazenamento temporário pode ser realizado segundo a especificação da ABINEE que classifica os REEE de acordo com uso doméstico: linha branca, marrom, verde e azul; componentes, como placas de circuito impresso, baterias e fios; ou material, como cobre, ouro, prata, chumbo.

Logo, entende-se que são necessários mais estudos sobre a parte técnica da inserção do armazenamento temporário no gerenciamento de resíduos que passa a ser uma prioridade, tornando-o mais eficiente, atendendo a sustentabilidade, promovendo a qualidade ambiental e permitindo melhores condições de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABULFARAJ, W. H., SAMMAN, T. A., 1994, "DESIGN OF A TEMPORARY RADIOACTIVE WASTE STORAGE FACILITY", *Radiation Physics and Chemistry*, v. 44, n 1-2 (Jul-Ago), pp.149-156.

ALFAIA, R. G. S. M, COSTA, A. M., CAMPOS, J. C., 2017, "Municipal solid waste in Brazil: A review", *Waste Management & Research*, v. 35, n. 12 (nov), pp. 1195-1209.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI), 2013, *Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*, Brasília - Brasil. Disponível em: <<https://conhecimento.abdi.com.br/conhecimento/Publicaes1/Log%C3%ADstica%20reversa%20de%20Equipamentos%20Eletroeletr%C3%B4nicos%20-%20res%C3%ADduos.pdf>> Acesso em: 30 set. 2019.

ARMISHEVA, G., SLIUSAR, N., KOROTAEV, D., 2013, "Briefing: Urban-mining of landfills", *Waste and Resource Management*, v. 166, n. 4 (Nov), pp. 153-157.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE), 2019, *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019*. In: *Panorama dos Resíduos Sólidos*, São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE), 2010, *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2010*. In: *Panorama dos Resíduos Sólidos*, São Paulo - Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 1992, *NBR 8419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004, *NBR 10004 Resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004, *NBR 10004 Resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro, Brasil.

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P. : *The Global E-waste Monitor – 2017*, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

BANGUERA, L., SEPÚLVEDA, J. M., FUERTES, G., CARRASCO, R., VARGAS, M., 2017, "REVERSE AND INVERSE LOGISTIC MODELS FOR SOLID WASTE MANAGEMENT", **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 28, n. 4 (Dez), pp.120-132.

BONIFAZI, G., COSSU, R., 2013, "The Urban Mining concept", **Waste Management**, v. 33, n. 3 (Mar), pp. 497-498.

BRASIL, 2007, *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2010 - Institui a Política Nacional de Saneamento Básico*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 28 dez. 2019

BRASIL, 2010a, *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 24 jan. 2019.

BRASIL, 2010b, *Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 – Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 29 dez. 2019.

BRASIL, 2017, *Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2010 – Regulamenta o art. 33 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, e complementa os art. 16 e 17 do Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2015-2018/2017/Decreto/D9177.htm>. Acesso em: 29 dez. 2019.

BRASIL, 2018, *Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletrônicos de Uso doméstico e seus componentes*. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf>>. Acesso em 29 dez. 2019.

BREURE, A. M., LIJZEN, J. P. A, MARING, L., 2018, "Soil and land management in a circular economy", **Science of the Total Environment**, v. 624, n. (Mai), pp. 1125-1130.

BREURE, A., M., LIJZEN, J., P., A., MARING, L., 2018, "Soil and land management in a circular economy", **Science of the Total Environment**, v. 624, n. (Mai), pp. 1125-1130.

BRUNNER, P. H., 2011, "Urban Mining: A Contribution to Reindustrializing the City", **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 3 (Jun), pp.339-341.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE), 2018, Ciclosoft 2018. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/9>>. Acesso em 31 nov. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI), 2017, A Indústria Elétrica e Eletrônica Impulsionando a Economia Verde e a Sustentabilidade Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/fasci17.pdf>>. Acesso em: 30 jan 2019.

COSSU, R., WILIAMS, I. D., 2015, “Urban mining: Concepts, terminology, challenges”, **Waste Management**, v. 45, n. (Out), pp.1-3.

COUTO, M. C. L., LANGE, L. C., 2018, “Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil”, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5 (Set-Out), pp. 889-898.

DANTHUREBANDARA, M., PASSEL, S. V., NELEN, D., TIELEMANS, Y., ACKER, K. V., 2012, “ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF LANDFILLS”. *Linnaeus ECO-TECH*, Kalmar, SWE, 19-21 março 2012.

DE RÖMPH, T. J., 2016, “Terminological Challenges to the Incorporation of Landfill Mining in EU Waste Law in View of the Circular Economy”, **European energy and environmental law review**, v. 25, n. 4 (Ago), pp. 106-109.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2019, *Basic Information about Landfills*. Disponível em: <<https://www.epa.gov/landfills/basic-information-about-landfills#whatis>>. Acesso em 18 jul. 2019.

FEITOSA, A. K., BARDEN, J. E., KORAND, O., 2018, “Análise Gravimétrica na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão Sistemática”, **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 12, n.1 (Jul), pp. 131-146.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS (FIRJAN), 2019, Manual de Gerenciamento de Resíduos 2019. Disponível em: < <https://www.firjan.com.br/publicacoes/manuais-e-cartilhas/gerenciamento-de-residuos.htm>>. Acesso em 28 dez. 2019.

GEYSEN, D., 2013, “Implementation Of Temporary Storage At The Remo Landfill Site”. *2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining*. Houthalen-Helchteren, Limburgo, BE, 14-16 outubro 2013.

GILO, L. G., CUNHA, F. G., “Gerenciamento de resíduos sólidos com ênfase teórica na reciclagem”, 2017, **Revista Farol**, v. 4, n. 4 (Jun), pp. 166-178.

GODECKE, M. V., NAIME, R. H., FIGUEIREDO, J. A. S., 2012, “O CONSUMISMO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL”, **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8 (Set-Dez), pp. 1700-1712.

GREEDY, D., 2016, “Landfilling and landfill mining”, **Waste Management & Research**, v. 34, n. 1 (Jan), pp.1-2.

GUTBERLET, J., 2015, “Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling”, **Waste Management**, v. 45, n. (Nov), pp. 22-31.

HERNÁNDEZ-ROMERO, O., ROMERO, S., 2018, “Maximizing the value of waste: From waste management to the circular economy”, **Thunderbird In Bus Rev**, v.60, n. 5 (Fev), pp. 757- 764.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2011, *Atlas de Saneamento*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/atlas/tematicos/16365-atlas-de-saneamento.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em 28 dez. 2019.

IBRAHIM, M. A. GÖRANSSON, G., KACZALA, F., HOGGLAND, W., MARQUES, M., 2013, “Characterization of municipal solid waste temporary storage sites: Risks posed to surrounding areas as a consequence of fire incidents”, **Waste Management**, v. 33, n.11 (Nov), pp. 2296-2306.

KUNRATH, J. L., VEIT, H. M., 2015, “Resíduos eletroeletrônicos: materiais reaproveitados dentro da cadeia de processamento”, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 2 (), pp. 68–72.

JANI, Y., KRIIPSALU, M., MIKK-PEHME, K., BURLAKOV, L., HOGGLAND, M., DENAFAS, G., HOGGLAND, W., 2017, “Composition of Waste at an Early EU-Landfill of Torma in Estonia”, **Iranian Journal of Energy & Environment**, v. 8, n. 2 (Ago), pp. 113-117.

JOHANSSON, N., KROOK, J., EKLUND, M., BERGLUND, B., 2013, “An integrated review of concepts and initiatives for mining the technosphere: towards a new taxonomy”, **Journal of Cleaner Production**, v. 55, n. (Set.), pp.35-44.

JONES, P. T., GEYSEN, D., TIELEMANS, Y., PASSEL, S. V., PONTIKES, Y., BLANPAIN, B., QUAGHEBEUR, M., HOEKSTRA, N., 2013, “Enhanced Landfill Mining

in view of multiple resource recovery: a critical review”, **Journal of Cleaner Production**, v. 55, n. 15 (Set), pp. 45-55.

KAHHAT, R. F., JUNIOR, E. K., 2010, “Preliminary Feasibility Study on the Use of Mono-disposal Landfills for E-waste as Temporary Storage for Future Mining”. Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology. Arlington, VA, USA, 17-19 maio 2010.

KINOBE, J. R., GEBRESENBET, G., NIWAGABA, C. B., VINNERÅS, B., 2015, “Reverse logistics system and recycling potential at a landfill: A case study from Kampala City”, **Waste Management**, v. 42, n. 8 (Ago), pp. 82-92.

KIRCHHERR, J., REIKE, D., HEKKERT, M., 2017, “Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions”, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 127, n. (Dec), pp. 221-232.

KORHONEN, J., HONKASALO, A., SEPPÄLÄ, J., 2018, “Circular Economy: The Concept and its Limitations”, **Ecological Economics**, v. 143, n. (Jan.), pp. 37-46.

KROOK, J., SVENSSON, N., EKLUND, M., 2012, “Landfill mining: A critical review of two decades of research”, **Waste Management**, v. 32, n. 3 (Mar), pp. 513-520.

KROOK, J., SVENSSON, N., VAN ACKER, K., VAN PASSEL, S., 2018, “HOW TO EVALUATE (ENHANCED) LANDFILL MINING: A CRITICAL REVIEW OF RECENT ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENTS”, 2018, *4th International Symposium On Enhanced Landfill Mining*, Mechelen, Bélgica, 5-6 Fevereiro 2018. pp. 317-332.

MAIELLO, A., BRITTO, A. L. N. P., VALLE, T. F., 2018, “Implementation of the Brazilian National Policy for Waste Management”, **BRAZILIAN JOURNAL OF PUBLIC ADMINISTRATIO**, v. 52, n. 1 (Jan-Fev), pp 24-51.

MANNARINO, C. F., FERREIRA, J. A., GANDOLLA, M., 2016, “Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Europeia”, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n.2 (Jun), pp.379-385.

MASI, S., CANIANI, D., GRIECO, E. LIOI, D. S., MANCINI, I. M., 2014, “Assessment of the possible reuse of MSW coming from landfill mining of old open dumpsites”, **Waste Management**, v 34, n. 3 (Jan), pp. 702-710.

MONFORTE, T. M, CARMO, C. S. T., FAISCA, R. G., Santos, T. B. N., 2018, “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES POPULARES CONSTRUÍDAS COM

CONTAINER”. *PATORREB 2018: 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, Rio de Janeiro, BR, 04-06 abril 2018.

NOCHIAN, A., TAHIR, O. M., MAULAN, S., MIKAEILI, R., 2016, “A REVIEW OF SYSTEMATIC APPROACH FOR SUSTAINABLE REDEVELOPMENT OF A CLOSED LANDFILL SITE”, *Jurnal Teknologi*, v. 78, n.5 (Mai), pp.299-307.

PARK, J. K., CLARK, T., KRUEGER, N., MAHONEY, J., 2017, “A Review of Urban Mining in the Past, Present and Future”, *Advances in Recycling & Waste Management*, v 2, n. 2 (Abr), pp. 474-477.

PARRODI, J., C., H., HÖLLEN, D., POMBERGER, R., 2018, “FINE FRACTIONS FROM LANDFILL MINING: POTENTIAL AND MAIN CHALLENGES TO OVERCOME”. *4th International Symposium On Enhanced Landfill Mining*, Mechelen, BE, 5-6 Fevereiro 2018.

SANTOS, M. R., GONÇALVES, A. C., NETO, G. C. O., SHIBAO, F. Y., 2017, “Logística reversa e os ganhos ambientais na reutilização de contêineres”. *XIX ENGEMA: Encontro internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, São Paulo, BR, 04-06 dezembro 2017.

SHIMAOKAI, T., KUMAGAI, K., KATSUMI, T., IBA, M., 2016, “Design, installation, and maintenance of temporary storage sites for radioactive decontamination waste”, *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, v. 2, n. 70 (Jan), pp. 2385-2390.

SILVA, D. G. S., LIMA, J. C. S., 2015, “FUNÇÕES DE UM ARMAZÉM”, *Cadernos UNISUAM de Pesquisa e Extensão*, v.5, n. 4 (), pp. 27-34.

SINGH, A., GAUTAM, A. K., 2014, “Study and Comparison of E-waste Disposal Solutions”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. v 4, n. 5 (Mai), pp. 474-477.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS), 2018, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2018/Diagnostico_RS2018.pdf>.

Acesso em 28 dez. 2019.

UNIÃO EUROPEIA, 2008, DIRECTIVA 2008/98/CE relativa aos resíduos, *Jornal Oficial da União Europeia*. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=PT>>. Acesso em 31 nov. 2019.

VAN EIK, A. G. H. P., 2007, “Redução de emissões na disposição final”. In: *Mecanismo de Desenvolvimento Limpo Aplicado a Resíduos Sólidos*, v. 3, Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), pp. 2-44.

World Economic Forum, 2018, “Circular Economy in Cities - Evolving the model for a sustainable urban future”. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/White_paper_Circular_Economy_in_Cities_report_2018.pdf>. Acesso em: 19 Jan 2019.

XAVIER, L. H., LINS, F.A. F., NASCIMENTO, H. F. F., BELLAN, I. O., RIBEIRO, F., CALDAS, M. B., SILVA, L. O. S., ZOMER, B., ARAUJO, R. A., FILHO, O. O. D., REINOL, P. C., FAGUNDES, R. L., GUSMÃO, A. C. F., 2017, **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Cetem, 2017.

XAVIER, L.H., LINS, F.A.F., 2018, “Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil”, **BRASIL MINERAL**, v. , n. 379 (Mar.), pp. 22-26.

XAVIER, L.H., LINS, F.A.F., NASCIMENTO, H.F.F., OTTONI, M. S.O., SUEMITSU, W. I., CALDAS, M.B., SILVA, L.O.S., ARAUJO, R.A., SANTOS, R.M., MANÇANO, M.R., CARDOSO, E.R., REINOL, P. C., GUSMÃO, A.C.F. **Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos no estado Rio de Janeiro**. Orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Cetem, 2018.

XAYPANYA, P., TAKEMURA, J., CHIEMCHAI SRI, C., SEINGHENG, H., TANCHILLING, M. A. N., 2018, “Characterization of Landfill Leachates and Sediments in Major Cities of Indochina Peninsular Countries — Heavy Metal Partitioning in Municipal Solid Waste Leachate”, **Environments**, v. 5, n. 65 (Jun), pp. 1-24.