



RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA PREVENÇÃO AMBIENTAL

Edilene Lima Santos¹

Cristina Maria Dacach Fernandez Marchi²

RESUMO

Desde 2015, o Brasil se encontra como o primeiro produtor de resíduo eletroeletrônico da América Latina e o segundo nas Américas. O levantamento das perspectivas para manejo adequado destes resíduos é imprescindível. O presente artigo propõe uma revisão da literatura sobre as possibilidades de manejo apropriado dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - REEE, com ênfase em resíduos de computadores e dos seus componentes. Emprega metodologia qualitativa e para a organização da pesquisa fez-se criteriosa compilação de 31 estudos científicos, encontrados em portais como o da *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e de sete normas legais. A inclusão ou exclusão dos dados decorreram da análise dos achados, que reforçassem medidas de proteção ambiental pelo descarte inadequado de REEE. Conclui-se que no Brasil inúmeras leis asseguram o manejo de REEE, a exemplo da Lei Federal nº 12.305/2010 e o Decreto nº 10.936/2022. Entretanto, para que os procedimentos legais e as inovações técnicas deem certo, torna-se imprescindível o controle dos processos, que deve ser capaz de gerir as situações de impacto ambiental que estes resíduos ocasionam.

Palavras-chave: Acordo Setorial; Impactos Ambientais; Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.

ABSTRACT

Electronic equipment waste: bibliographic survey and proposition of alternatives for environmental prevention. Since 2015, Brazil is the first producer of electronic waste in Latin America, occupying the 2nd place in the America. Therefore, is essential the survey of perspectives for proper waste management from electronic equipment. Since 2015, Brazil has been the first producer of electronic waste in Latin America and the second in the Americas. The survey of perspectives for the proper management of this waste is essential. This article proposes a review of the literature on the possibilities of proper management of waste electrical and electronic equipment - WEEE, with an emphasis on computer waste and its components. It uses a qualitative methodology and for the organization of the research, a careful compilation of 31 scientific studies was carried out, found in portals such as Scientific Electronic Library Online (SCIELO) and seven legal regulations. The inclusion or exclusion of data resulted from the analysis of the findings, which reinforced the environmental protection measures due to the inadequate disposal of WEEE. It is concluded that in Brazil numerous laws ensure the management of WEEE, such as Federal Law No.

1 PPG em Planejamento Ambiental, Universidade Católica do Salvador – UCSal, Salvador, BA, Brasil.

2 PPG em Território, Ambiente e Sociedade, Universidade Católica do Salvador – UCSal, Salvador, BA, Brasil. E-mail para correspondência: cristina.marchi@pro.ucsal.br

12,305/2010 and Decree No. 10,936/2022. However, for legal procedures and technical innovations it is essential to control the processes, which must be capable of managing the environmental impact situations caused by these wastes.

Keywords: Environmental Impacts; Sectoral Agrément; Waste Electrical and Electronic Equipment.

INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e o rápido avanço tecnológico, em especial nas últimas décadas, contribuíram para elevar a produção e o consumo de bens e de serviços, resultando em contínua e crescente geração de resíduos (Campos, 2012). Dentre estes, se destacam os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), gerados a partir da utilização de equipamentos tecnológicos, que se tornaram fundamentais para o desenvolvimento das diversas atividades realizadas pela sociedade contemporânea.

O REEE é considerado perigoso porque é constituído por vários elementos, que abrangem desde materiais que possuem pouco valor econômico, como o plástico e outros resíduos recicláveis, até substâncias tóxicas e metais pesados prejudiciais à saúde. Devido à presença desses componentes, a última etapa de manejo dos REEE deve ir além do descarte final em aterros (UNU, 2015; Demajorovic et al., 2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, Lei 12.305, aprovada em 2 de agosto de 2010, atribui responsabilidades aos geradores de resíduos pela estruturação e implementação dos sistemas de Logística Reversa de equipamentos eletroeletrônicos e seus componentes (Brasil, 2010a). A PNRS, apesar de citar este tipo de resíduos não esclarece o significado do termo para a aplicação da Lei. Tampouco, instituiu no decreto regulamentador, o Decreto n. 7.404 de 2010, a definição para tais equipamentos ou seus resíduos, nem categorizou o entendimento para eletroeletrônicos (Brasil, 2010b). Ainda que a PNRS não trate diretamente o REEE, este relevante marco regulatório orienta e articula ações de prevenção e tratamento de impactos ambientais provocados pelo inadequado manejo dos resíduos sólidos. Walerco et al. (2021) salientam que a promulgação da PNRS vem favorecendo o avanço da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), destacando a importância de instrumentos como o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

A proteção e a recuperação do meio ambiente são objetivos do Ministério do Meio Ambiente brasileiro, criado em 1992. Este órgão divulga que os resíduos oriundos de equipamentos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes, com tensão nominal não superior a 220 volts, devem ser destinados para o processo de logística reversa – LR da cadeia produtiva do setor (Brasil, 2013).

A LR é uma ação que busca aperfeiçoar o manejo dos resíduos no Brasil, já que considerada como uma ferramenta apropriada para preservação ambiental. Vale ressaltar que a LR se encontra entre os princípios e instrumentos introduzidos pela PNRS e se encontra diretamente ligada a outro princípio da Lei, o da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Em 2013, o Edital nº 01/2013, do Ministério do Meio Ambiente, iniciou o chamamento para as discussões e avaliação dos entraves para a realização do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos entre o poder público, fabricantes, fornecedores, atacadistas e varejistas da cadeia de eletroeletrônicos (Brasil, 2013). A PNRS considera acordo setorial como “ato de natureza contratual firmado entre o poder público e

fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto” (Brasil, 2010a).

Porém, somente em 12 de fevereiro de 2020, o Acordo Setorial para a Logística Reversa de Eletroeletrônicos foi assinado pelo Poder Público e representantes do setor (Brasil, 2020).

Em janeiro de 2022, o Decreto Federal nº 10.936, regulamentou alguns itens que não estavam nas regras anteriores, tais como a instituição do Programa Nacional de Logística Reversa (PNLR), que discorre sobre a adoção de procedimentos de compra de produtos usados como parte de pagamento de um equipamento novo, dentre outros procedimentos para a implementação e a operacionalização do sistema de Logística Reversa; outra novidade junto aos sistemas de Logística Reversa coletivos ou individuais é a obrigatoriedade de emitir documentos ambientais e Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) no Sistema Nacional de Informações de Resíduos (SINIR); a harmonização das legislações em âmbito estadual e municipal com o regulamento federal vigente e a participação de cooperativas de catadores, desde que sejam legalmente constituídas, em Programas de LR; importadores e fabricantes têm que sinalizar nas Declarações de Importação (DI) o responsável pelo sistema de Logística Reversa (coletivo ou individual), assim como as empresas que comercializam componentes não se encontram mais isentas de praticar a LR. Por fim, vale ressaltar que além das obrigações anteriores referentes às responsabilidades sobre os resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) o novo decreto impõe às empresas (exceto aquelas que não atuem diretamente no tratamento de resíduos e/ou gerem menos de 200 litros de resíduos por dia) a obrigatoriedade de elaborar Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), de maneira individual ou coletiva.

Diante do Decreto nº 10.936, espera-se que o reaproveitamento de REEE seja ampliado, já que o reuso deste tipo de esses resíduos no Brasil ainda se encontra em etapa embrionária. O estudo de Bernardo et al. (2020) revela que não existem sistemas prontos de LR para REEE nas organizações brasileiras e que algumas tiveram que adaptar ou criar seu próprio sistema. Os autores informam que apesar dos sistemas de informação e das tecnologias de rastreamento para a LR de cadeias de REEE se encontrarem presentes em todos os pontos da cadeia de suprimentos, a interligação na totalidade do sistema não é efetiva.

Dentro do contexto apresentado, o presente artigo propõe uma revisão da literatura sobre as possibilidades de manejo apropriado para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, com ênfase em resíduos de computadores.

Para que haja um manejo adequado deste tipo de resíduos é necessário identificar os impactos socioambientais trazidos pelos REEE; diagnosticar como se encontra o estado da arte do manejo dos REEE, no mundo e no Brasil; apontar para a importância da classificação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, assim como ressaltar os benefícios que a aplicação da logística reversa dos REEE trazem para a sociedade e para o meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A composição deste estudo é resultado da aplicação do método de revisão bibliográfica que permitiu identificar a relevância dos trabalhos pesquisados para com o objetivo proposto. Para dar prosseguimento ao método escolhido, foram investigadas as bases de dados preferencialmente que integram o portal

acadêmico Periódicos Capes e, de forma secundária as que integram sites governamentais, Elsevier Sciverse ScienceDirect, SciVerse Scopus, dentre outros.

Essa busca procedeu-se entre junho de 2018 até janeiro de 2021, utilizando os seguintes descritores: Resíduos Eletrônicos, Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, Logística Reversa, Acordo Setorial e Manejo de Resíduos Sólidos. Artigos de anos anteriores são citados ou encontram-se na bibliografia, na medida de sua importância para o tema em questão. Os dados resultantes da pesquisa bibliográfica constaram de 19 artigos na sua íntegra, 2 dissertações, 05 sites governamentais, 03 capítulos de livro, 02 livros e diversas normas reguladoras, devidamente fichados e analisados diante de possível reforço para o alcance de técnicas e normas para proteção ambiental do descarte incorreto de REEE.

Como técnica para análise de dados, optou-se pela análise de conteúdo, realizada em quatro fases. Na primeira fase foi selecionado e organizado o material bibliográfico, com resumos e fichamentos, visando conhecer o texto e sistematizar as ideias preliminares. No segundo momento, foram definidas as categorias com critérios de inclusão e exclusão dos resultados encontrados, conforme o objetivo proposto. Na terceira fase ocorreu a análise crítica dos dados acerca das informações e estudos dos autores selecionados visando a composição do artigo. Com o material organizado, na última fase foi elaborado um fluxograma, que busca apontar para um processo apropriado de manejo de REEE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa contemplou uma revisão da literatura sobre as possibilidades de manejo apropriado para REEE. A partir do levantamento dos resultados obtidos pela bibliografia pesquisada, destacam-se três relevantes temáticas: a) classificação de REEE e estado da arte do manejo; b) impactos de REEE ao meio ambiente e à saúde humana e, c) importância da implementação da logística reversa em REEE. A composição final do artigo apontou para a necessidade de exemplificar como ocorre um apropriado manejo de REEE. Atendendo à esta premência, foi desenvolvida e apresentada uma proposição, em forma de fluxograma, para ser adotado em organizações.

Classificação e Cenário do Manejo de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil e no Mundo

Uma das classificações para os equipamentos eletroeletrônicos é dada pela Diretiva 2012/19/UE, de 2012, da União Europeia, que os divide em dez categorias: grandes eletrodomésticos; pequenos eletrodomésticos; equipamentos de informática e de telecomunicações; equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos; equipamentos de iluminação; ferramentas eletroeletrônicas; brinquedos e equipamentos de esporte e lazer; aparelhos médicos, exceto os equipamentos implantados e infectados; instrumentos de controle e monitoração e distribuidores automáticos (UE, 2012).

Os equipamentos eletroeletrônicos são dispositivos que dependem do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2013) desmembra estes equipamentos em quatro categorias distintas (Fig. 1): linha branca, linha marrom, linha azul e linha verde (ABDI, 2013).



Figura 1. Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos (adaptado de ABDI, 2013).

A Linha Marrom inclui equipamentos de consumo comum, como aparelhos de som, câmaras, filmadoras, rádios, aparelhos de televisão, gravadores de vídeo, gravadores de alta-fidelidade, amplificadores de áudio, instrumentos musicais, incluindo sinais ou outras tecnologias de distribuição de som e da imagem por outra via que não a telecomunicação e painéis fotovoltaicos. Este último são dispositivos utilizados para converter a energia da luz do Sol em energia elétrica (ABDI, 2013).

A Linha Verde, grupo que compreende o presente estudo, se encontram os equipamentos de informática e telecomunicação: macro computadores, equipamentos informáticos pessoais: computadores pessoais, impressoras, máquinas de escrever, calculadoras, equipamentos para armazenar ou comunicar informações por via eletrônica, telefones, telefones sem fios e outros produtos ou equipamentos para transmitir som, imagens ou outras informações por telecomunicação (ABDI, 2013).

A Linha Branca inclui os aparelhos de grandes volumes que compreende aparelhos de arrefecimento, refrigeradores, congeladores, outros grandes dispositivos utilizados na refrigeração, limpeza, conservação e armazenamento, outros equipamentos de grandes dimensões para aquecimento de casas, camas, mobiliário para sentar, ventiladores elétricos, aparelhos de ar condicionado, outros equipamentos de ventilação e exaustores (ABDI, 2013).

Quanto à Linha Azul, categoria dos pequenos eletrodomésticos, se enquadram liquidificadores, batedeiras, ferros elétricos, secadores, espremedores, aspiradores, cafeteiras e outros aparelhos de limpeza, aparelhos utilizados na costura, e outras formas de transformar têxteis e tratar o vestuário, dentre outros (ABDI, 2013).

Importante categorizar e compreender a importância da geração deste tipo de resíduos pelo grande volume descartado em todo o mundo. A UNEP declara que em 2019 foi gerado 53,6 milhões de toneladas (t) de lixo eletrônico em todo o mundo. Apenas 17,4 por cento deste volume foi coletado e reciclado. O relatório do órgão, intitulado Global E-waste Monitor 2020, aponta para um aumento de 21% de lixo eletrônico em cinco anos e projeta um volume a ser gerado de 74 milhões de t até o ano de 2030. O relatório assinala que este é o fluxo de resíduo doméstico de maior crescimento do mundo, sendo alimentado por altas taxas de consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos, ciclos de vida curtos e poucas possibilidades de reparo (UNEP, 2020).

Em 2014, a ONU apontou para os países da América Latina como responsáveis por 9% de todos os REEE produzidos no mundo. Segundo o Relatório “E Waste en América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública” da Universidad de las Naciones Unidas – UNU (UNU, 2015).

Em 2015, segundo informações da UNU, a geração de resíduos eletroeletrônicos no continente americano foi de 11,7 milhões de toneladas. Os Estados Unidos foi o país que mais gerou este tipo de resíduo (7,1 milhões de toneladas), seguido pelo Brasil (1,4 milhões de toneladas), México (1 milhão de toneladas), Argentina e Colômbia (300 toneladas e 250 toneladas respectivamente) (UNU, 2015).

Em 2017, uma projeção realizada pela UNEP para anos vindouros estimava que os REEE descartados mundialmente alcançariam aproximadamente 50 milhões de toneladas. Esta projeção mostra o crescimento acelerado da produção desses resíduos. O que pode ser observado na figura 2, referente à geração em milhões de toneladas no mundo desde o ano de 2010 até 2018.

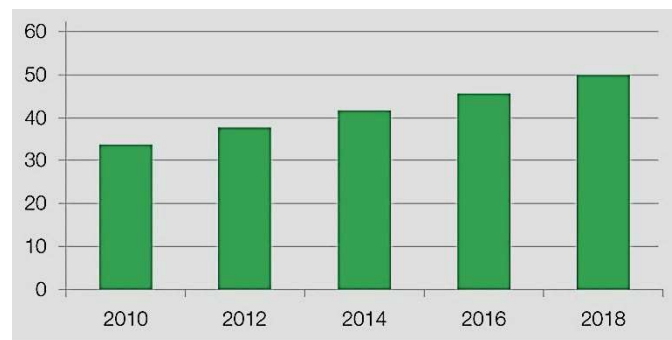


Figura 2. Geração de REEE no Mundo (UNEP, 2017).

Na figura 2, pode ser percebido o aumento constante de geração de REEE. Em 2010, possuía volume menor do que 35 milhões de toneladas, em 2018 atingiu a marca de 50 milhões. A falta de gestão sustentável para a destinação adequada revelou-se como o principal motivo para a crescente quantidade de resíduos produzidos em cadeia global (UNEP, 2017).

Em 2019, de acordo com a UNEP (2020) a Ásia possuía o maior volume de resíduo eletroeletrônico, 24,9 milhões t, seguido pelas Américas (13.1 t) e Europa (12 t). A África e a Oceania geraram 2.9 t e 0.7 t respectivamente. Para Herat e Aramuthu (2012), os dois países que se destacam no cenário global de produção de resíduos eletrônicos são a Índia, com a maior taxa mundial de crescimento da indústria eletrônica e os Estados Unidos, considerado como o maior gerador do mundo.

A China é classificada como o país com o maior potencial em produzir REEE nos próximos anos. O motivo do aumento da industrialização de equipamentos eletroeletrônico neste país tem sua origem no fato da China sediar a maior célula internacional de resíduos eletrônicos (UNEP, 2020).

No que se refere à gestão de resíduo eletrônico e pioneirismo em legislar sobre o assunto, a Suíça é apontada como país modelo (Herat e Aramuthu, 2012). Em 22 de março de 1989, ocorreu na Suíça a Convenção de Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos. Foi um importante marco na história da destinação adequada dos resíduos. O Brasil aderiu à Convenção já que

este instrumento estabelecia mecanismos internacionais de controle e fiscalização, coibindo o tráfico ilegal de resíduos tóxicos, intensificando a cooperação internacional para gestão de resíduos e seus derivados contaminantes (CETESB [20--?]).

O movimento em prol do meio ambiente e normatização de resíduos sólidos vem ocorrendo no cenário jurídico de outras nações. Na Europa, por exemplo, as normativas são expedidas pelo Parlamento e pelo Conselho da União Europeia, onde se estabelece leis e diretivas sobre resíduos sólidos (Hori, 2010). Neste rol, convém citar a Diretiva nº. 65 de 2011 da UE, a qual restringiu o uso de algumas substâncias tóxicas como exemplo: mercúrio, chumbo, selênio, dentre outros na produção de equipamentos eletroeletrônicos (UE, 2011).

Em 2012, a UE instituiu a Diretiva nº 19, a qual estabelece a minimização da geração de resíduos sólidos, principalmente os resíduos resultantes de equipamentos da indústria de eletroeletrônicos, bem como estabeleceu normativas para o seu tratamento e descarte adequados (UE, 2012).

A preocupação com o tema não é recente, foi reforçada em 2015, por meio do lançamento de uma Agenda com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS pela ONU, quando foram estabelecidas 169 metas com previsão de alcance até 2030. Todos os 17 ODS são de grande importância para esta e as futuras gerações. A temática relacionada aos resíduos sólidos remete aos diversos objetivos de desenvolvimento sustentável, principalmente à questão da produção e consumo responsáveis com destaque para a meta 5, que pretende “reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2015).

Muitas discussões são travadas sobre o adequado manejo de REEE no Brasil e no mundo, pois é assunto que envolve todos os atores da cadeia produtiva e geradores. A UNU (2015) faz recomendações de políticas públicas voltadas para a regulação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na América Latina. Cita a iniciativa coordenada pela UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial), intitulada RELAC – Plataforma de lixo eletrônico regional na América Latina e Caribe, que envolve a maioria dos países da região. O relatório assinala que este projeto pode ser financiado pelo Fundo para o Ambiente Mundial (FMAM), por organismos nacionais e pelo setor privado para proporcionar assessoramento técnico sobre políticas, operações, normas, tecnologia e conhecimento sobre resíduos eletrônicos, o que fortalecerá as políticas públicas e a formação de conhecimento técnico. A UNU também aponta o Brasil como detentor de uma política pública que estabelece um marco regulatório para a gestão de REEE (UNU, 2015).

A política brasileira citada é a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída em 2 de agosto de 2010, Lei nº12.305, que estabelece as normas para o manuseio de resíduos sólidos em todo território nacional. No Brasil, a PNRS traz no seu art. 33, a obrigatoriedade de implantação do sistema de logística reversa para os resíduos provenientes de quaisquer equipamentos eletroeletrônicos e seus componentes, que deve ser cumprida pelos geradores de resíduos, ou seja, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores em geral (Brasil, 2010a).

Ainda em 2010, o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro, que regulamentou a PNRS, criou dois comitês: o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a

Implantação dos Sistemas de Logística Reversa (Brasil, 2010b). Estes comitês são de grande importância, já que o Brasil gera toneladas de resíduos que não são devidamente tratados e destinados de forma ambientalmente correta, como os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: televisores, painéis solares, celulares, aparelhos telefônicos, computadores, impressoras, baterias, plugues, dentre outros.

Impactos dos REEE e os Danos à Saúde Humana

É importante se conhecer os impactos que os resíduos eletroeletrônicos provocam e as formas de reparação que buscam preservar o meio ambiente e resguardar a qualidade de vida dos seres vivos.

Os impactos provocados ao meio ambiente em decorrência do descarte inadequado dos REEE trazem diversas implicações que justificam sua inserção no rol das discussões mundiais, dentre as quais, vale ressaltar duas: 1) o volume crescente de vendas de equipamentos eletroeletrônicos, especialmente em países não desenvolvidos ou em desenvolvimento, incluindo o Brasil; 2) a presença de algumas substâncias tóxicas contaminantes (Afonso, 2018).

A UNEP estima que em 2015 o mundo teria cerca de 90% do REEE descartado de forma ilegal (UNEP, 2017), o que pode resultar em graves impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Os estudos estão sendo confirmados, pois há uma grande perspectiva da manutenção do crescimento do resíduo eletrônico, isto gera uma demanda cada dia mais urgente por soluções sustentáveis para o manejo, principalmente para uma adequada destinação.

Pesquisas apresentadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2019) informam que existem 22 substâncias altamente tóxicas nos equipamentos eletrônicos e que causam patologias agudas e crônicas ao ser humano, dentre as quais o câncer. A presença de substâncias químicas e de outros componentes tornam-se imprescindível que geradores sejam informados sobre os danos causados, bem como desenvolvam ações proativas e eficazes para o manejo adequado destes resíduos. Vale ressaltar neste contexto, a importância da sensibilização da população quanto aos problemas que este tipo de resíduo provoca na saúde da coletividade e dos avanços que gradativamente estão sendo conquistados pela celebração do acordo setorial para logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos.

Dados sobre descarte de REEE depois de celebrado este acordo setorial no Brasil vêm sendo divulgados com mais frequência. Em 2019, 384,5 toneladas de eletroeletrônicos foram recolhidos e 258 pontos de coleta foram instalados no Brasil (MMA, 2020).

A Importância da Logística Reversa Aplicada aos REEE

Logística é uma palavra originária do grego e significa contabilidade e organização, hoje é considerada ferramenta importante para empresas contemporâneas. A logística é uma técnica empresarial, responsável por apresentar soluções, recursos e informações para executar com eficiência atividades que envolvem diversas competências, como engenharia, economia, contabilidade, estatística, marketing, tecnologia, transporte, dentre outras, para melhor atender as demandas de mercado.

A logística reversa - LR consiste no processo de retorno dos equipamentos, de seus resíduos, ou sucatas do consumidor para o fornecedor, para a reciclagem ou para o reuso. A organização de procedimentos empregados na logística reversa pode ser fragmentada em produtos e embalagens. A LR é definida pela Lei 12.305/10 como: “Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento” (Brasil, 2010a).

Gouveia (2012), afirma que no decorrer do tempo houve uma exemplificação no reconhecimento da prática de logística reversa como oportunidade para novos negócios, inclusive com a utilização de canais diversos diferenciados dos originais. A contribuição da logística reversa integra o exercício adequado de deposição do material e/ou equipamentos depois de utilizados, para quando descartados não provoquem consequências danosas à natureza. Estes processos inserem diversos mecanismos como a redução de resíduos na fonte, a reciclagem, a substituição, a reutilização de materiais, a reforma e a remanufatura.

Para minimizar a escassez de matéria-prima no desenvolvimento e produção de bens, o ciclo de consumo não pode finalizar no descarte em aterros ou lixões, deve-se observar o ciclo de vida do produto. Para Marchi (2018), o ciclo de equipamentos não se encerra quando são descartados, considerando as substituições de tecnologias ambientais corretivas para medidas proativas, em contexto de processos como reciclagem e reaproveitamento de materiais, aliados à melhor utilização de matérias-primas.

Castro (2014) defende a utilização da logística reversa em processos de reciclagem de produtos e embalagens. Para o autor, a LR é realizada pelo retorno dos equipamentos ao ciclo produtivo, retornando aos consumidores de forma a serem reaproveitados, garantindo atribuições econômicas a todos os integrantes da cadeia produtiva. A necessidade de gerenciar os resíduos sólidos proporcionou a formulação de políticas que consideram a política dos 3 R's: “reduzir, reutilizar e reciclar, um slogan de grande eficácia pedagógica desse tipo de logística”, conforme o autor.

A LR voltada para REEE deve ter como primeiro passo a disponibilização de infraestrutura pública ou privada apropriada para o descarte seguro. Esta infraestrutura pode ser providenciada pelo poder público ou pelas empresas do setor de eletroeletrônicos. Pontos de Entrega Voluntária – PEV devem ser utilizados para assegurar a participação do consumidor no processo. Os responsáveis por receberem o material são comerciantes e distribuidores, que devem encaminhá-lo aos recicladores, fabricantes e importadores, responsáveis por promover a destinação final ambientalmente adequada. Equipamentos eletroeletrônicos de pequeno porte como computadores, laptops e componentes são facilmente descartados em PEV.

A última década demonstrou a popularidade no uso de computadores. Segundo a UNEP (2017), no ano de 2007, 23% de pessoas no mundo possuíam um computador. Em 2017, este percentual subiu para 53,6%. Este dado é preocupante quando se considera o conseqüente incremento de resíduos dos equipamentos, que possuem na sua composição metais ferrosos e não ferrosos, plásticos vidros e placas eletrônicas. Além deste fato, a LR de resíduos oriundos de computadores é providencial para conter a utilização de novas matérias primas finitas, como minérios e petróleo.

O tema sobre LR para computadores vem sendo discutido e examinado por pesquisadores internacionais e nacionais. A tabela 1 apresenta um resumo sobre os tópicos que vêm sendo tratados relativos à LR de computadores na pesquisa realizada pelo presente estudo.

Na análise da tabela 1, se pode ressaltar alguns tópicos que são salientados pela literatura adotada, como: desperdício, reciclagem, fim da vida útil, tomada de decisão, viabilidade da LR de computadores, inovação, riscos à saúde e metais pesados. Neste contexto, desperdício e reciclagem são elementos importantes para alertar o papel fundamental do gerador no processo da logística reversa de computadores, possibilitando a devolução de seus equipamentos à origem. Acredita-se que maior desafio para aplicação da logística reversa está no custo associado à operacionalização do sistema no Brasil, país cuja extensão territorial é extensa. Aos geradores de REEE compete efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos equipamentos, assim dando prosseguimento ao processo de Acordo Setorial para a Logística Reversa de Eletroeletrônicos que possui competências partilhadas pelo ciclo de vida do produto e que foi previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Uma questão relevante relativa à PNRS é o estabelecimento de diretrizes que, nos acordos setoriais, em seus diversos níveis e tópicos, considerem discussões e diálogos com todos os envolvidos, em métodos democráticos, transparentes e participativos. Inclusive levando em conta as questões de inclusão social, como a inserção dos catadores de materiais recicláveis no processo.

Conforme ABINEE (2014), acordos setoriais, além de atenderem as exigências legais, trazem segurança jurídica para as empresas. O objetivo do Acordo é o de regulamentar a implantação e operacionalização de um sistema de logística reversa. Certificando o comprometimento do setor privado, com os cidadãos, na proposta de oferecer uma maneira eficiente e prática para descartar os produtos utilizados (resíduo eletrônico), na forma ambientalmente adequada (ABINEE, 2019).

Tabela 1. Principais questões associadas à Logística Reversa de Computadores tratadas na revisão de literatura realizada.

Títulos	Tópicos tratados Sobre LR de Computadores	Autores	Ano
Reverse Logistics in the Computer Industry	A indústria de computadores tenta minimizar o desperdício e projeta seus equipamentos para o desmonte? As respostas são negativas. Computadores não são projetados para facilitar a reciclagem nem o desmonte dos componentes.	Dhanda, K. K.; Hill, R. P.	2005
Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers	O modelo de decisão baseado em processo de rede analítica (ANP) apresentado neste artigo estrutura o problema relacionado às opções em logística reversa para computadores EOL de forma hierárquica e vincula os determinantes, dimensões e facilitadores da logística reversa com alternativas disponíveis para o tomador de decisão.	V. Ravi; Ravi Shankar; M.K. Tiwari	2005
A decision-making model for reverse logistics in the computer industry	Apresenta um modelo de tomada de decisão para os fabricantes de computadores maximizarem seus lucros em operações de LR. Os resultados do modelo indicam que substituições de peças novas são mais lucrativas do que peças reconcondicionadas e que atrasos no transporte e demora no fornecimento para reposição de peças causam impacto significativo na viabilidade da LR	Albert Wee Kwan Tan; Arun Kumar	2006
Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: Mapeamento da Logística Reversa de Computadores componentes	A LR tem sido uma ferramenta de gestão ambiental bem-sucedida em diferentes áreas de manejo de resíduos em vários países. No Brasil, a PNRS, define e reforça a prática da LR. Os metais pesados presentes nos REEE representam um risco ambiental, que compromete a saúde humana.	Lúcia Xavier; Lêda Lucena; Magdalena Costa; Victor Xavier; Raquel Cardoso.	2010
A logística reversa dos computadores no Brasil	Caracteriza a cadeia reversa dos computadores, um dos equipamentos de maior destaque dentre os EEE da linha verde. Identifica as organizações que fazem parte dos canais reversos dos REEE. Descreve as atividades das organizações.	Ana G. Caetano; Monica M. Luna.	2015
Logística reversa de REEE em países em desenvolvimento: desafios e perspectivas para o modelo brasileiro	Discute os principais desafios e oportunidades para a implementação de modelos de logística reversa de computadores e aparelhos celulares. Discute iniciativas de programas de LR de resíduos eletroeletrônicos em países como Índia, China e Brasil.	Demajorovic, J.; Augusto E.; Souza, M. T.	2016
Inovação na cadeia reversa de resíduos eletroeletrônicos: um estudo sobre os sistemas de informação e as tecnologias de rastreamento	Analisa a contribuição de sistemas de informação e as tecnologias de rastreamento para a logística reversa de cadeias de resíduos de eletroeletrônicos. Conclui que representantes do setor de eletroeletrônicos têm resistido em aderir ao acordo setorial, assinado em 2019 e que este fato vem contribuindo para o adiamento de investimentos em sistemas de informação e tecnologias de rastreamento no Brasil.	Bernardo, O.; Souza, M. T. S.; Demajorovic, J.	2020

Fluxograma para o Manejo Adequado dos REEE

Após análise dos resultados obtidos pelo levantamento bibliográfico, um fluxo ambientalmente adequado foi concebido para recomendar passos necessários para o descarte de REEE de grandes geradores

(Figura 3), como organizações públicas, empresas de informática, indústrias, construtoras, casas de serviços e comércio de pequeno, médio e grande portes, dentre outros.

O Fluxograma apresentado na figura 3 oferece uma possibilidade de manejo adequado para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em organizações públicas e privadas, uma vez que estas organizações possuem frequentemente um maior volume de REEE descartado. Importante destacar o papel fiscalizador do poder público junto às instituições. Salienta-se que a PNRS exige do poder público, nas três esferas, o papel de fiscalizar as obrigações dos órgãos para garantir a preservação ambiental, por meio do cumprimento da legislação.

Como resultado das práticas adequadas para descarte de REEE nos estudos pesquisados, o processo de gestão e formalização da LR destes resíduos é cíclico. Um ponto fundamental é a existência na empresa de um setor que possua a função de gerenciar resíduos sólidos. As organizações devem possuir programas para evitar desperdício, normas para a execução do descarte e projetos de reciclagem para REEE, que beneficiem à própria organização, à sociedade e ao meio ambiente. A instituição deve constantemente se atualizar sobre novas tecnologias e acompanhar as inovações ocorridas no processo de acordo setorial para LR de REEE. A existência de pontos de armazenamento interno para o descarte adequado do material, como sucata de computador e periféricos, é indispensável. Salienta-se que uma organização que busca praticar atividades pró-ambientais, deve ter no seu cotidiano atitudes que requeiram dos parceiros posições adequadas de manejo e que apoiem organizações sociais, como associações e cooperativas de catadores.

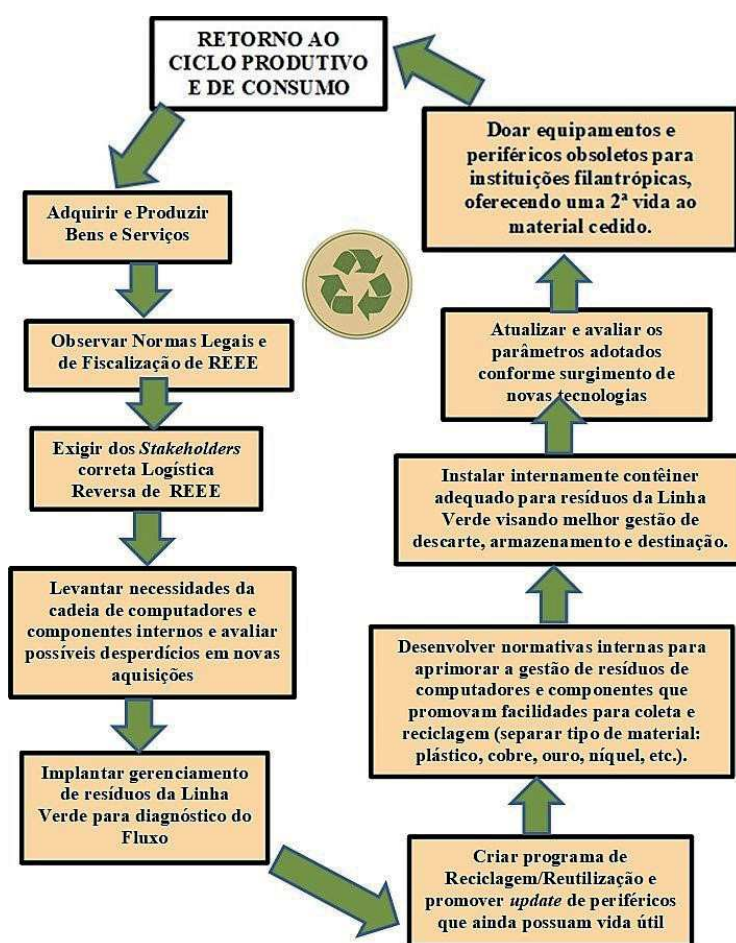


Figura 3. Proposição de Fluxograma para Manejo Adequado de REEE em organizações.

A finalização do processo ocorre, geralmente, com o material separado e acondicionado corretamente com destino à filantropia ou às indústrias, para ser reutilizado ou servir como matéria-prima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura recente sobre a produção de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos mostra condições tecnológicas e legais para afastar o manejo inaceitável ainda praticado por usuários de computadores. As normas legais e os regulamentos técnicos nacionais e internacionais são bem claros quanto aos prejuízos que o descarte inadequado deste tipo de resíduo provoca na natureza.

Foi confirmado que no Brasil inúmeras leis abonam o manejo de forma eficiente, como exemplo a Lei Federal nº 12.305/2010 e o Decreto nº 10.936/2022, que assessora e respalda a ação de gestão e de logística reversa destes equipamentos.

Entretanto, para que procedimentos legais e inovações técnicas deem certo, torna-se imprescindível o controle dos processos, como ilustrado no fluxograma proposto, que possibilitam gerenciamento que privilegia uma reflexão cada vez maior sobre a necessidade de relacionar gestão dos resíduos, Economia e prevenção ambiental.

Por fim, é importante apontar que a obsolescência programada causa acúmulo de resíduos eletroeletrônicos. Necessário que o cidadão e as organizações não se posicionem, diante de certas obrigações coletivas, com a alegação de que concerne ao Estado melhorar esse ou aquele serviço público de gestão de resíduos sólidos. O fato é que a separação e o despejo adequados cabem ao gerador, seja coletivo ou privado. Estas ações requerem educação e cidadania.

REFERÊNCIAS

- ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. 2013. Logística Reversa de equipamentos eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica. Disponível em: <www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reversa%20de%20residuos_.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2019.
- ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. 2014. Propostas para o desenvolvimento da indústria brasileira e do setor elétrico e eletrônico. Brasília. Disponível em: <www.abinee.org.br/programas/imagens/prepro.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2020.
- _____. 2019. Acordo setorial do setor elétrico e eletrônico. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/LOGISTICA_REVERSA/EVTE_ELETROELETRONICO>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- AFONSO, J. C. 2018. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: O Antropoceno bate à nossa porta. **Rev. Virtual Quim.**, 10(6).
- BERNARDO, O.; SOUZA, M. T. S.; DEMAJOROVIC, J. 2020. Inovação na Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos: um estudo sobre os sistemas de informação e as tecnologias de rastreamento. **Rev. adm. empres.**, 60(4):248-261.
- BRASIL. 2010a. Lei n. 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 15 mar. 2019.

- _____. 2010b. Decreto n.º 7.404/2010b. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, PNRS. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/0/Decreto/D7404.html>. Acesso em: 24 set. 2019.
- _____. 2013. Edital nº 01/2013, de 06 de fevereiro de 2013. Implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Disponível em: <www.mma.gov.br/images/editais_e_chamadas/SRHU/fevereiro_2013/edital_r_ee_srh_18122012.pdf>. Acesso em: 8 set. 2019.
- _____. 2020. Decreto n.º 10.240, de 12 de fevereiro de 2020, sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.240-de-12-de-fevereiro-de-2020-243058096>>. Acesso em: 4 jul. 2020.
- CAETANO, A. C. G.; LUNA, M. M. 2015. A logística reversa dos computadores no Brasil. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/181.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- CAMPOS, H K T. 2012. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental** [online], 17(2):171-180.
- CASTRO, M. D. G.. 2012. Logística reversa de embalagens de óleo lubrificante: um estudo exploratório nos postos de combustíveis da 7ª região administrativa do estado de São Paulo. Disponível em: https://www.inovarse.org/artigos-por-edicoes/VIII-CNEG-2012/T12_0515_2373.pdf. Acesso em: 22 abr. de 2022.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. {20??}. Convenção de Basiléia. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/convencao-de-basileia/>>. Acesso em: 5 jan. 2021.
- DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; SOUZA, M. T. S. 2016. Reverse logistics of e-waste in developing countries: challenges and prospects for the Brazilian model. **Ambiente & Sociedade**, 19(2):117-136.
- DHANDA, K. K.; HILL, R. P. 2005. The role of information technology and systems in reverse logistics: a case study. **International Journal of Technology Management**, 31(1-2):140-151.
- GOUVEIA, N. 2012. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciênc. saúde coletiva**, 17(6):1503-1510.
- HERAT, S.; AGAMUTHU, P. 2012. E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries. **Waste Management & Research**, 30(11):1113-1129.
- HORI, M. 2010. Custos da logística reversa de pós-consumo: um estudo de caso dos aparelhos e das baterias de telefonia celular descartados pelos consumidores. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-13102010-194905/publico/MitsueHori.pdf>. Acesso em: 25 abr de 2022.
- MARCHI, C. M. D. F. 2018. **Gestão dos resíduos sólidos: conceitos e perspectivas de atuação**. Curitiba: Appris, 221p.
- MELO, R. et al. 2016. Caracterização de placas de circuito impresso de computadores desktop obsoletos. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/caracterizacao-de-placas-de-circuito-impresso-de-computadores-desktop-obsoletos>. Acesso em: 25 abr. de 2022.
- ONU, Organização das Nações Unidas. 2015. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agen_da2030/>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI M.K. 2005. Productivity improvement of a computer hardware supply chain. **International Journal of Productivity and Performance Management**. 54(4):239-255.
- UNEP, United Nations Environment Programme. 2017. E-Waste Challenge. Disponível em: <<http://ewastemonitor.info/home-new-with-more-news/>>. Acesso em: 8 dez. 2020.
- EU, União Europeia. 2011. Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de junho de 2011, relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=LV>>. Acesso em: 11 abr. 2020.
- _____. 2012. Diretiva 2012/19/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE). Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=en>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

- _____. 2020. Global e-waste monitor 2020. Disponível em: <<http://ewastemonitor.info/>>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- UNU, Universidad de las Naciones Unidas. 2015. Relatório “E Waste en América Latina: análisis estadístico y recomendaciones de política pública”. Disponível em: <<https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- TAN, A. W. K.; KUMAR, A. 2006. A decision-making model for reverse logistics in the computer industry. **The International Journal of Logistics Management**, 17(3):331-354.
- XAVIER, L. H. et al. 2010. Gestão de resíduos eletroeletrônicos: mapeamento da logística reversa de computadores e componentes no Brasil. Disponível em: http://www.redisa.net/doc/artSim2010/Gestao/Gest%C3%A3o%20de%20residuos%20electroelectr%C3%B4nicos_mapeamento%20da%20log%C3%ADstica%20reversa%20de%20computadores%20e%20componentes%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 25 abr. de 2022.

Submetido em: 30.01.2021

Aceito em: 04.04.2022