



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
Curso de Ciência da Computação

Igor Tálisson Carreira Furtado

**Resíduos Eletroeletrônicos: uma análise do
problema e a busca por soluções**

São Luís - MA
2019

Igor Tálisson Carreira Furtado

Resíduos Eletroeletrônicos: uma análise do problema e a busca por soluções

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Ivo José da Cunha Serra

São Luís - MA

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Furtado, Igor Tálisson Carreira.

Resíduos Eletroeletrônicos: uma análise do problema e a busca por soluções / Igor Tálisson Carreira Furtado. - 2019.

43 f.

Orientador(a): Ivo José da Cunha Serra.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2019.

1. Descarte Correto. 2. Destinação Ambientalmente Adequada. 3. Gestão e Gerenciamento. 4. Resíduo Eletroeletrônico. I. Serra, Ivo José da Cunha. II. Título.

Igor Tálisson Carreira Furtado

Resíduos Eletroeletrônicos: uma análise do problema e a busca por soluções

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado. São Luís - MA, 15 de Julho de 2019

Prof. Dr. Ivo José da Cunha Serra
(Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Luis Jorge Enrique Rivero Cabrejos
Universidade Federal do Maranhão

Profa. Dra. Simara Vieira da Rocha
Universidade Federal do Maranhão

São Luís - MA
2019

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, Irene, por ter se dedicado incondicionalmente para que tanto eu como minha irmã, Jéssica, tivéssemos a oportunidade de estudar, de ter uma moradia, saúde e comida; por ter nos ensinado a importância do estudo, do respeito, da simplicidade e da humildade; por ser o meu exemplo de força diante das dificuldades; por ter esse coração gigante que tanto ajuda quem precisa.

Aos amigos, quase irmãos, Gabryhel, Isabella, Jéssica, Silvio, Tamires, Teresa, Victor e Yago, por estarem comigo desde o começo compartilhando histórias, conquistas, fracassos, descobertas e ensinamentos.

À Alynne Moreira, uma grande amiga com quem tive a honra de compartilhar esses longos anos de Universidade, pela imensa ajuda (mútua) no decorrer do curso; pelos momentos de desesperos, surtos e reclamações que só se tornaram divertidos graças à sua presença; por sempre acreditar em mim e apoiar as minhas “loucuras” (que prefiro chamar de ideias criativas); por ter me oferecido conforto nos meus piores dias; por ser “a minha pessoa”.

À Valeria Coelho e Lucas Emanuel, dois seres de luz na Terra, pelas longas conversas, risadas, desabafos, motivações e aprendizados que fizeram toda diferença durante minha trajetória no curso e fora dele, ambos no seu tempo e à sua maneira. Aos demais amigos que conquistei durante minha trajetória, André, Marvin, Matheus, Rafael, Richard, Rodrigo, Thallison e Vinícius.

À todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender e me desenvolver profissionalmente, em especial, João Dallyson, pela confiança em me oferecer uma participação no LabMint; Simara, pela prestação na resolução de problemas; Ivo José, por me orientar com sabedoria e paciência.

Faço um agradecimento especial à Dona Ivone, uma segunda mãe que a vida me deu, por não ter deixado eu desistir do curso; à minha psicóloga, Sâmia, pelo direcionamento e autoconhecimento; e à Thiago, por ter permitido que eu participasse da sua vida, da sua casa e da sua família, por ter feito a ponte para que eu pudesse encontrar Ivone e, principalmente, “me encontrar”, por todas as boas memórias que servem e servirão como motivadoras do meu crescimento e evolução.

Por fim, agradeço à todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta com minha formação, e à todos aqueles que contribuíram para a bagagem de vida que levo comigo e que deixo em troca.

Resumo

Resíduo Eletroeletrônico (REEE) é todo e qualquer equipamento elétrico ou eletrônico descartado pelo proprietário por ser considerado excesso, inútil, desperdício, obsoleto ou sem funcionamento. Os REEE são um dos tipos de resíduos que mais crescem no mundo, só em 2016 foram descartados 44,7 milhões de toneladas de REEE, sendo que apenas 20% desse total foi devidamente coletado e tratado. Esta monografia visa explicar sobre os REEE, sua definição, classificação, características, como e porque são descartados e as consequências e impactos do descarte incorreto. Em suma, visa compreender todos os aspectos problemáticos envolvendo os REEE para que se possa identificar soluções que viabilizem o descarte correto e gerenciamento dos REEE. Foi feito um levantamento bibliográfico acerca das propostas de gerenciamento dentro do cenário brasileiro, identificando a Logística Reversa (LR) como principal sistema de gestão e gerenciamento dos REEE tanto no Brasil como no mundo. Foi identificado que os REEE recolhidos dentro do sistema oficial de LR ou fora dele, de maneira informal, têm como principais destinações ambientalmente adequadas, a reutilização (reparo, reforma ou revenda), a reciclagem e a disposição dos rejeitos de forma ambientalmente adequada.

Palavras-chaves: Resíduo Eletroeletrônico, Descarte Correto, Gestão e Gerenciamento, Destinação Ambientalmente Adequada.

Abstract

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is any and all electrical or electronic equipment discarded by the owner for being considered excessive, useless, wasteful, obsolete or not functioning. WEEE are one of the fastest growing types of waste in the world, only 44.7 million tonnes of WEEE were discarded in 2016, with only 20% of this total being properly collected and treated. This monograph aims to explain about WEEE, its definition, classification, characteristics, how and why they are discarded and the consequences and impacts of the incorrect disposal. Summarily, it aims to understand all problematic aspects involving WEEE in order to identify solutions that enable the correct disposal and management of WEEE. A bibliographic survey was made on management proposals within the Brazilian scenario, identifying Reverse Logistics (RL) as the main management system for WEEE in Brazil and worldwide. It has been identified that WEEE collected within the official RL system or outside it, informally, have as its main environmentally appropriate destinations, reuse (repair, reform or resale), recycling and disposal of wastes in an environmentally appropriate manner.

Keywords: Waste Electrical and Electronic Equipment, Correct Disposal, Management, Environmentally Appropriate Destination.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Composição simplificada de um aparelho celular de acordo com o peso dos materiais.	17
Figura 2 – Crescimento e estimativa da geração total de REEE no mundo.	21
Figura 3 – Relação de REEE gerado e coletado por continente.	23
Figura 4 – Esquema da Logística Rerversa de acordo com a PNRS.	27
Figura 5 – Nível de prioridade no gerenciamento dos resíduos sólidos de acordo com a PNRS.	28
Figura 6 – Cenários típicos de descarte, coleta e destinação dos REEE ao redor do mundo.	29
Figura 7 – Etapas do processo de reciclagem dos REEE.	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Substâncias potencialmente perigosas presentes nos REEE.	19
Tabela 2 – REEE gerado e coletado por continente.	21
Tabela 3 – Características dos domicílios particulares segundo existência de EEE.	22
Tabela 4 – Dados globais de venda de EEE.	23

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo geral	11
1.1.1	Objetivos específicos	11
1.2	Organização do Trabalho	11
2	RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	13
2.1	Definição	13
2.2	Classificações e características gerais	14
2.2.1	Composição material	16
2.3	Impactos ambientais, sociais e econômicos	18
2.4	Contexto atual da geração de REEE	20
2.5	Considerações finais	24
3	GESTÃO E GERENCIAMENTO AMBIENTALMENTE ADEQUADO DOS REEE NO BRASIL	25
3.1	Princípios	25
3.1.1	Logística Reversa	26
3.1.2	Não geração e redução	28
3.1.3	Coleta e Destinação	29
3.1.4	Reutilização	30
3.1.5	Reciclagem	32
3.1.6	Disposição final ambientalmente adequada	34
3.2	Boas Práticas	34
3.2.1	Reciclus	34
3.2.2	CEDIR	35
3.2.3	Tech Trash	36
3.3	Discussão	37
4	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	42

1 Introdução

O exponencial avanço tecnológico das últimas décadas, aliado à estratégias econômicas, vêm proporcionando aos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) maior destaque na nossa sociedade. Aparelhos celulares, computadores, televisores, refrigeradores e demais produtos tecnológicos têm atraído a atenção dos consumidores por oferecerem, dentre outros benefícios, praticidade na execução das tarefas do dia a dia. Porém, todo EEE possui um tempo de vida e, facilmente, torna-se ultrapassado, sendo descartado como resíduo pelo proprietário e dando início a um dos maiores problemas ambientais atuais: a geração e acúmulo de resíduos eletroeletrônicos.

Como mostrado no documentário “A Conspiração da Lâmpada” (DANNORITZER, 2010), a sociedade atual se baseia em um modelo econômico cujo objetivo é obtenção de lucro por meio da troca constante de aparelhos. Isto é, existe uma estratégia econômica denominada Obsolescência Programada (ou planejada) na qual os fabricantes produzem aparelhos, principalmente os EEE, com uma durabilidade propositadamente menor, a fim de aumentar a frequência com que os consumidores os substituem. Tais aparelhos são constantemente atualizados de tal forma que desperta no consumidor um desejo por possuir algo um “pouco mais novo, um pouco melhor e um pouco antes do necessário” (DANNORITZER, 2010)

A produção constante de equipamentos eletroeletrônicos com base na obsolescência programada, de fato, movimentava a economia já que cria um consumo desenfreado e sem limites. Contudo, a longo prazo, tal prática pode gerar consequências graves para o planeta (sobretudo, consequências ambientais) pelo fato de todo EEE produzido é rapidamente descartado como resíduo altamente poluidor que, quando despejado de forma inadequada, é capaz de causar grandes danos ao meio ambiente e ao homem.

Os resíduos eletroeletrônicos (REEE) não se tratam de resíduos comuns, são considerados perigosos devido à sua composição, em parte, por materiais tóxicos e substâncias químicas nocivas (como será analisado no decorrer deste trabalho). Portanto, não devem receber o mesmo destino que os demais resíduos domésticos ou, em hipótese alguma, serem descartados em lixões¹, mas na prática, o que observa-se é a geração de uma enorme quantidade de REEE sendo descartado de forma inadequada.

Os REEE são um dos tipos de resíduos que mais crescem no mundo (ROMÁN, 2015). Para se ter uma ideia, de acordo com relatório divulgado pela ONU (Organizações das Nações Unidas) (BALDE et al., 2017), constata-se um total de aproximadamente

¹ “Lixão é um local onde ocorre a disposição indiscriminada de resíduos sólidos, com nenhuma ou, no máximo, algumas medidas bem limitadas de controle das operações e de proteção ao meio ambiente” (MMA, 2019)

44,7 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos gerados em todos os países do mundo em 2016, com uma taxa de crescimento girando em torno de 3% ao ano. Do total gerado, somente 20% foi formalmente recolhido e reciclado, o restante possui um destino desconhecido.

Por ser um resíduo diferente, muitas vezes, o proprietário final não sabe ao certo qual destino dar a esse equipamento quando chega ao fim da vida útil, ou armazenam em gavetas, armários, porões e sótãos, ou os descarta através das caixas domésticas normais, terminando finalmente em incineração ou aterro (BALDE et al., 2017).

O não tratamento e a crescente geração global de resíduos eletrônicos são duas das situações que motivaram a formação da seguinte pergunta norteadora desta pesquisa: **Como descartar corretamente os resíduos eletroeletrônicos e quais estratégias de gerenciamento, no pós-descarte, são capazes de tratar esses resíduos?** Tendo-a como base, delineou-se os objetivos a seguir.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral identificar, descrever e analisar de que forma os resíduos eletroeletrônicos podem ser descartados e gerenciados corretamente, a fim de que se diminua os impactos causados pelo descarte incorreto.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) Definir resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, bem como especificar suas características em termos de composição material e aspectos problemáticos.
- b) Identificar e descrever as consequências do descarte incorreto de REEE, com foco nos impactos ambientais, sociais e econômicos.
- c) Descrever a situação atual dos resíduos eletroeletrônicos na sociedade e identificar problemas de gerenciamento.
- d) Identificar e analisar soluções que viabilizem o descarte correto e o gerenciamento dos REEE, minimizando os problemas encontrados.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em quatro capítulos, de forma a tornar claro o entendimento de toda temática, buscando seguir a estrutura de causas, consequências e soluções, conforme os parágrafos a seguir.

O Capítulo 1, Introdução, apresenta o contexto geral do tema, no qual são descritas as causas que levam à geração de resíduos eletroeletrônicos e os motivos iniciais pelos quais esses resíduos vêm se tornando cada vez mais um problema. Em seguida, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

O Capítulo 2, Resíduos Eletroeletrônicos, aprofunda o conteúdo acerca dos resíduos eletroeletrônicos, no qual são identificados e descritos as definições, classificações e características dos REEE e as consequências e problemas relacionados, respectivamente, ao descarte incorreto e ao resíduo em si.

O Capítulo 3, Gestão e Gerenciamento Ambientalmente Adequado dos REEE no Brasil, identifica e analisa as principais propostas que solucionam, ou visam solucionar, os problemas de descarte e gerenciamento incorreto dos resíduos eletroeletrônicos.

O Capítulo 4, Conclusão, finaliza o trabalho fazendo um levantamento geral das definições, causas, consequências e soluções argumentadas no decorrer da pesquisa, analisando se as metas estabelecidas pelos objetivos foram alcançadas e, por fim, apresentando propostas de trabalhos futuros.

2 Resíduos Eletroeletrônicos

A temática deste capítulo gira em torno dos problemas e consequências relativos aos resíduos eletroeletrônicos (REEE). Dessa forma, será definido o conceito de resíduo eletroeletrônico, suas principais características em termos de composição material e aspectos problemáticos, quais equipamentos estão inclusos dentro da definição e em que momento esses equipamentos se tornam resíduos. Posteriormente são discutidas as consequências do descarte incorreto, levando em consideração os danos provocados ao meio ambiente, na saúde do homem e os impactos na economia.

Por último, descreve-se a situação atual dos resíduos eletroeletrônicos na sociedade, com foco na quantidade de REEE gerados no mundo.

2.1 Definição

Primeiramente, é preciso esclarecer a diferença de significado entre os termos “lixo”, “resíduo” e “rejeito”, geralmente usados como sinônimos referente à tudo aquilo que é jogado fora por não ter mais serventia, sendo que, esse conceito está diretamente ligado apenas à definição de “lixo”.

De acordo com o Dicionário da Língua Portuguesa, lixo é “qualquer matéria ou coisa que repugna por estar suja ou que se deita fora por não ter utilidade” (LIXO, 2018). É uma expressão comum, bastante usada no dia a dia, mas que não especifica o objeto descartado, podendo ser literalmente "qualquer coisa". Por ser genérico e popular, esse vocábulo não é utilizado no âmbito técnico.

Resíduo é um termo que se refere a todo e qualquer material, substância, objeto ou bem, descartado a partir de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede de forma ambientalmente adequada¹ (BRASIL, 2010). Diferentemente de lixo, a definição de resíduo leva em consideração que o material descartado ainda possa ser útil para uma pessoa que queira reutilizá-lo, ou para um processo, por meio da recuperação e transformação do material em matéria-prima. Por isso, são considerados resíduos quaisquer materiais com características recicláveis ou propícias para receberem uma destinação diferente que não seja o simples despejo.

Os materiais não recicláveis e aqueles que não puderam ser recuperados, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento, são chamados de rejeitos, cuja única

¹ A destinação final ambientalmente adequada dos resíduos é qualquer alternativa que busca evitar o despejo direto dos materiais à céu aberto, em vez disso, dá-lhes tratamento por meio de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, como por exemplo a reutilização e a reciclagem (BRASIL, 2010).

destinação final ambientalmente adequada é a disposição em aterros sanitários controlados (BRASIL, 2010).

Dentre as várias subclassificações de resíduos, como os resíduos domésticos, hospitalares, industriais e entre outros, este trabalho abordará exclusivamente os resíduos e rejeitos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos.

Os equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) são todos aqueles qualificados com a presença de circuitos ou componentes eletrônicos, com alimentação de energia ou bateria, incluindo as partes desses equipamentos que também são de natureza elétrica ou eletrônica e que foram removidas por desmontagem (KUEHR, 2014).

Quando são descartados pelo proprietário, sem a intenção de reuso (KUEHR, 2014), os equipamentos eletroeletrônicos tornam-se resíduos. É importante enfatizar que mesmo ainda funcional, ou com possibilidade de reparo e atualização, se o aparelho for descartado pelo dono por ser considerado excesso, inútil, desperdício ou obsoleto, estará dentro da classificação de REEE.

2.2 Classificações e características gerais

Os REEEs são compostos por uma vasta gama de produtos com diferentes características de uso, dimensão, peso ou materiais utilizados em sua fabricação. Por vezes, alguns desses equipamentos apresentam uma ou mais características semelhantes, podendo ser agrupados em categorias. Basicamente, existem seis categorias definidas pela diretiva da União Européia² (EUROPEIA, 2012), a saber:

1. **Equipamentos de troca de temperatura:** São típicos dessa categoria os refrigeradores, *freezers*, frigoríficos, congeladores, condicionadores de ar, desumidificadores, bombas de calor e os demais equipamentos semelhantes.
2. **Telas e monitores:** São típicos dessa categoria os televisores, monitores, *laptops*, *notebooks*, *tablets* e equipamentos com telas superiores a 100 cm^2 .
3. **Lâmpadas:** São representativos dessa categoria as lâmpadas fluorescentes clássicas, lâmpadas fluorescentes compactas, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga de alta intensidade e lâmpadas LED.
4. **Equipamentos de grande dimensões:** São próprios dessa categoria os equipamentos superiores a 50 cm, incluem-se máquinas de lavar roupa, secadores de roupa, máquinas de lavar louça, fogões e fornos elétricos, aparelhos de iluminação, equipamentos para reproduzir sons ou imagens, equipamento musical, macrocomputadores

² Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (EUROPEIA, 2012)

(*mainframes*), impressoras e copiadoras de grandes dimensões, caça-níqueis, dispositivos médicos, instrumentos de monitorização e controle, painéis fotovoltaicos. Não se incluem nesta categoria os equipamentos abrangidos pelas categorias 1, 2 e 3.

5. **Equipamentos de pequenas dimensões:** São próprios dessa categoria os equipamentos inferiores e igual a 50 cm. Incluem-se os aspiradores de pó, aparelhos utilizados na costura, aparelhos de iluminação, micro-ondas, ferros de engomar, equipamentos de ventilação, torradeiras, chaleiras e cafeteiras elétricas, facas elétricas, barbeadores elétricos, balanças, calculadoras, relógios, equipamentos para reproduzir sons ou imagens, câmeras de vídeo, instrumentos musicais, brinquedos elétricos e eletrônicos, pequenas ferramentas elétricas e eletrônicas, pequenos dispositivos médicos, pequenos instrumentos de monitoramento e controle, detectores de fumo, reguladores de aquecimento, termóstatos. Não se incluem nesta categoria os equipamentos abrangidos pelas categorias 1, 2, 3 e 6.
6. **Equipamentos de TI e telecomunicações de pequenas dimensões:** São próprios dessa categoria, desde que sejam inferiores a 50 cm, os telefones celulares, GPS, calculadoras de bolso, roteadores, computadores pessoais, impressoras, telefones.

Cada categoria engloba uma grande quantidade de equipamentos de diferentes modelos e funções, sendo que, as de número 4 e 5 (Equipamentos de grande dimensões e Equipamentos de pequenas dimensões) abrangem um número maior se comparadas com categoria de número 3 que é mais específica para as lâmpadas. Como o intuito é tornar a listagem menos exautiva, não foram citados todos os equipamentos típicos de cada categoria.

Conforme dados apresentados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2012), os equipamentos eletroeletrônicos possuem um tempo de vida que pode variar entre 2 e 15 anos, dependendo do tipo de equipamento, como mostrado a seguir:

- Vida útil **curta** (~2-5 anos): *Desktops, notebooks*, impressoras e aparelhos celulares.
- Vida útil **média** (~5-13 anos): Televisor tubo/monitor, televisor plasma/lcd/monitor, DVD/VHS e produtos de áudio.
- Vida útil **longa** (~10-12 anos): Batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos e furadeiras.
- Vida útil **longa** (~10-15 anos): Geladeiras, refrigeradores e congeladores, fogões, lava-roupas e ar-condicionado.

Os motivos pelos quais os consumidores descartam seus equipamentos podem estar relacionados com o fim da vida útil dos produtos e também com a quebra ou com o mal

funcionamento do aparelho, por não atender às suas necessidades, por não serem mais utilizados ou por substituição por produtos mais novos, econômicos e/ou eficientes (ABDI, 2012). De qualquer forma, todos esses motivos estão ligados direta ou indiretamente com a obsolescência programada.

O destino dado ao equipamento pós-descarte pode representar um enorme risco, principalmente ambiental, caso seja feito de maneira inadequada, porém pode representar também uma oportunidade, principalmente econômica, caso seja feito da maneira correta. Essa divergência está associada aos diferentes materiais que compõem os eletroeletrônicos, podendo variar de substâncias tóxicas à metais preciosos.

2.2.1 Composição material

Os dispositivos eletrônicos são uma mistura complexa de centenas de materiais, que variam desde metais nobres, à metais pesados com características tóxicas, além de substâncias químicas perigosas e demais materiais com potencial reciclável.

De acordo com Kunrath (2015), os materiais mais comuns são os plásticos, os vidros e os metais ferrosos (ferro e alumínio), presentes em grande proporção para compor a estrutura e fornecer design ao equipamento. Já outros, aparecem em proporções reduzidas, como ouro, prata, cobre e demais metais nobres, estes apresentam grande valor comercial.

A prata e o ouro possuem natureza maleável e oferecem boa condutividade elétrica, por isso tornaram-se amplamente utilizados na indústria eletrônica (ROMÁN, 2015). Esses materiais, juntamente com o cobre, a platina, o paládio e demais metais preciosos são usados na composição das placas de circuito impresso (BALDE et al., 2017), mas não restritos à elas.

Apesar de ser considerada uma das partes mais valiosas da sucata eletrônica, as placas de circuito impresso também são compostas por metais pesados com características tóxicas como chumbo, cádmio e níquel (BIZZO et al., 2014). As placas de circuito impresso existem em quase todos os dispositivos eletrônicos, sendo parte essencial deles, e por isso, qualquer equipamento com esse componente eletrônico pode ser considerado perigoso. (SZALATKIEWICZ et al., 2014).

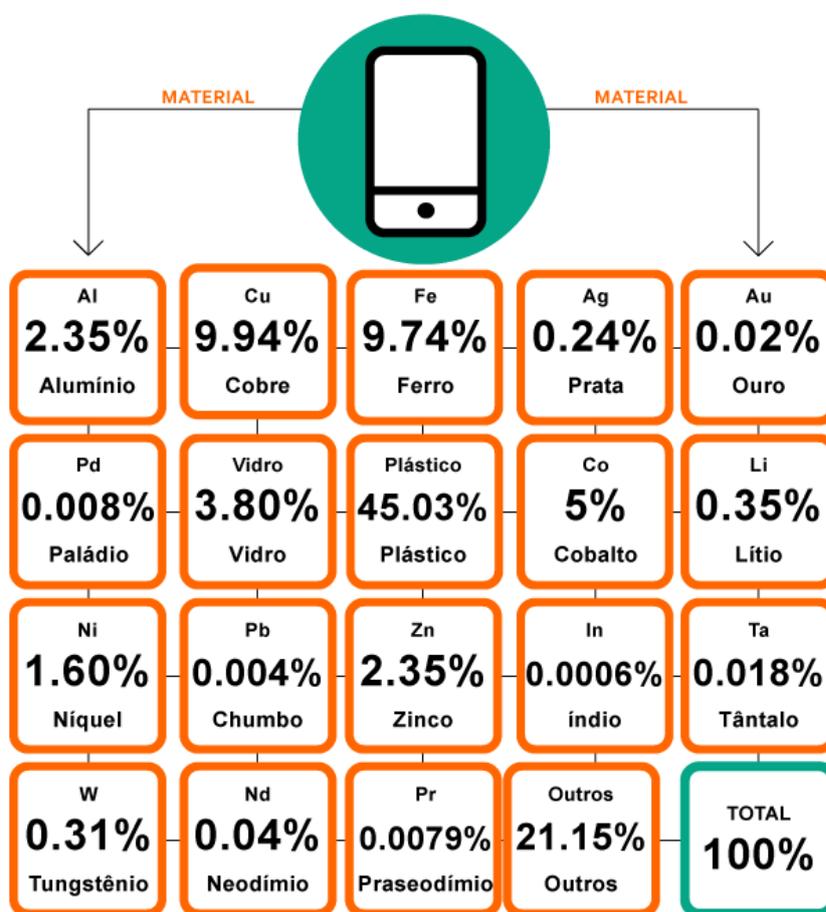
Os resíduos eletroeletrônicos estão inclusos dentro da classificação de resíduos perigosos por apresentarem níveis de toxicidade com significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, como por exemplo, altas concentrações de cádmio e chumbo (BIZZO et al., 2014)

Especificamente nas placas de circuito impresso e nos revestimentos de cabos, também existem substâncias químicas perigosas específicas para “proteção contra corrosão ou retardamento de chamas” (KUNRATH, 2015), os chamados retardadores de chama bro-

mados (BFR)³ e outras substâncias químicas como os plásticos clorados (PVC) (VICAIRE, 2008)

A proporção com que cada material está presente no aparelho eletroeletrônico pode variar de acordo com o tipo de equipamento, o ano de fabricação (dependendo das tecnologias envolvidas na época), o modelo e até mesmo o fabricante. A título de exemplificação, a Figura 1 apresenta a composição material de um aparelho celular de acordo com o peso, que pode variar de celular pra celular, mas em geral, tanto as substâncias mais problemáticas (chumbo e níquel) como os metais preciosos (ouro, prata e paládio) são encontradas em menor porcentagem.

Figura 1 – Composição simplificada de um aparelho celular de acordo com o peso dos materiais.



Fonte: Román (2015)

A heterogeneidade e complexidade da sucata eletrônica em termos de composição material, tamanho, peso e dimensão dos equipamentos, são encaradas como um problema,

³ Os BFRs são um grupo de substâncias usadas para impedir a combustão e/ou retardar a propagação das chamas. Os mais comuns encontrados nos eletrônicos são os Difenil Éteres Polibromados (PBDEs), o pentabromofol e o tetrabromobisfenol-A (TBBPA) (GREENPEACE, 2014)

visto que um provável processo de tratamento, como a reciclagem, tem melhor efeito quando os materiais do mesmo tipo são postos juntos para recuperação, mas pelo fato da sucata eletrônica apresentar diversos tipos de materiais em proporções diferentes, o processo de separação dos materiais pode se tornar custoso.

2.3 Impactos ambientais, sociais e econômicos

Como mencionando na subseção anterior sobre Composição Material, o descarte incorreto dos REEE representa um risco altamente danoso para o meio ambiente. Essa prática prejudicial acontece quando os consumidores domésticos e comerciais jogam fora seus resíduos eletrônicos diretamente em lixeiras, junto com outros tipos de resíduos comuns que, dependendo da região, podem ser recolhidos pelo serviço regular de coleta urbana e posteriormente despejados em lixões e aterros de resíduos sólidos ou incinerados (BALDE et al., 2015).

Geralmente são jogados nas lixeiras os pequenos equipamentos como lâmpadas, pendrives, telefones e escovas de dentes eletrônicas (BALDE et al., 2015). O maior problema desses e outros aparelhos eletrônicos é, sem dúvida, a presença de componentes perigosos em sua composição, mesmo que em menor porcentagem se comparados com os demais materiais. A Tabela 1 apresenta um compilado dos componentes perigosos e produtos químicos presentes na sucata eletrônica, com seus respectivos impactos e ocorrência nos equipamentos.

Os metais pesados como mercúrio, cádmio e chumbo são altamente tóxicos para plantas, animais e seres humanos, não exercem nenhuma função bioquímica ou nutricional dentro dos organismos e tendem a se bioacumular (GREENPEACE, 2014). Uma preocupação a mais acontece quando produtos contendo substâncias químicas, como BFRs ou PVC, são incinerados, pois liberam dioxinas e furanos igualmente tóxicos (STUFF, 2012). As dioxinas são conhecidas por serem muito persistentes no ambiente e são capazes de se bioacumular na cadeia alimentar (GREENPEACE, 2014).

Quando despejados em lixões ou aterros sanitários sem o devido tratamento, os metais pesados e substâncias tóxicas podem causar danos diretos ao meio ambiente e ao ser humano. Os danos diretos estão relacionados com a contaminação que, segundo ABDI (2012) podem acontecer das seguintes maneiras:

- Contaminação do meio ambiente: Quando depositados diretamente na natureza ou junto a rejeitos orgânicos, os metais pesados podem vazar dos equipamentos (pela ação do tempo e fatores climáticos), contaminar o chorume que, ao penetrar no solo, podem contaminar os lençóis subterrâneos, o solo, os demais corpos d'água da região, ou acumular-se nos seres vivos, gerando consequências negativas para o

Tabela 1 – Substâncias potencialmente perigosas presentes nos REEE.

Substância	Impactos	Onde pode ser encontrada
Chumbo (Pb)	Danos potenciais ao sistema nervoso central e periférico, sistemas sanguíneos, sistema renal e reprodutivo. Efeito negativo sobre o desenvolvimento neurológico das crianças.	TVs e monitores (especialmente monitores CRT); Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (placas de circuito).
Cádmio (Cd)	Tóxico, com um possível risco de efeitos irreversíveis no corpo humano.	TVs e monitores (monitores CRT); pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (placas de circuito).
Mercúrio (Hg)	Danos a vários órgãos, incluindo o cérebro e os rins, bem como o feto.	Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (placas de circuito, telefones celulares, etc.), lâmpadas fluorescentes, incluindo retroiluminação de LCD.
Cromo Hexavalente (CrVI)	Danos ao DNA e extremamente tóxicos no meio ambiente.	Grandes eletrodomésticos (aço).
Plásticos PVC	Dioxinas podem ser formadas quando o PVC é queimado dentro de uma certa faixa de temperatura.	Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (computadores, celulares, eletroeletrônicos, etc.); TVs e monitores (monitores CRT), cabos.
Retardadores de chama bromados (BFR)	Impactos no desenvolvimento neurocomportamental.	Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (placas de circuito); TVs e monitores (monitores CRT), caixas plásticas.
Bário (Ba)	A exposição a curto prazo ao bário pode causar edema cerebral, fraqueza muscular, dano ao coração, fígado e baço.	Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (computadores); TVs e monitores (monitores CRT).
Berílio (Be)	Classificado como carcinogênico humano, pois pode causar câncer de pulmão.	Pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática (computadores)
Toner	Podem ser cancerígenos (especialmente o tonalizador preto).	Pequenos eletrodomésticos (periféricos de computadores).
Fósforo e aditivos	Tóxico para os humanos no contato.	TVs e monitores (monitores CRT).

Fonte: Gupta (2014)

ambiente. O mercúrio, por exemplo, uma vez em contato com um corpo d'água, pode transforma-se em sua forma orgânica MeHg e se bioacumular na população de peixes e conseqüentemente intoxicando os demais seres ao longo da cadeia alimentar (GREENPEACE, 2014; STUFF, 2012).

- Contaminação das pessoas que manipulam os REEE: Quando o consumidor, que mantém o aparelho obsoleto em casa, ou “aquelas pessoas envolvidas com a coleta, triagem, descaracterização e reciclagem dos equipamentos” (ABDI, 2012) tentam manipular os aparelhos obsoletos sem o devido cuidado, acabam se expondo ao risco de contaminação pelos metais pesados. A queima desses equipamentos, por exemplo, pode expor os trabalhadores ao inalarem a fumaça, vapor ou poeira tóxica gerada (GREENPEACE, 2014).

Descartando corretamente, há como transformar o problema do resíduo eletrônico em oportunidade, pois muitos materiais são tecnicamente recuperáveis, embora existam limites econômicos (BALDE et al., 2017). Os metais nobres e demais recursos valiosos, como ferro e alumínio, com significativo valor comercial e de difícil obtenção ou extração na natureza poderiam ser recuperados e reaproveitados como matéria-prima na remanufatura, diminuindo o desperdício desses recursos escassos.

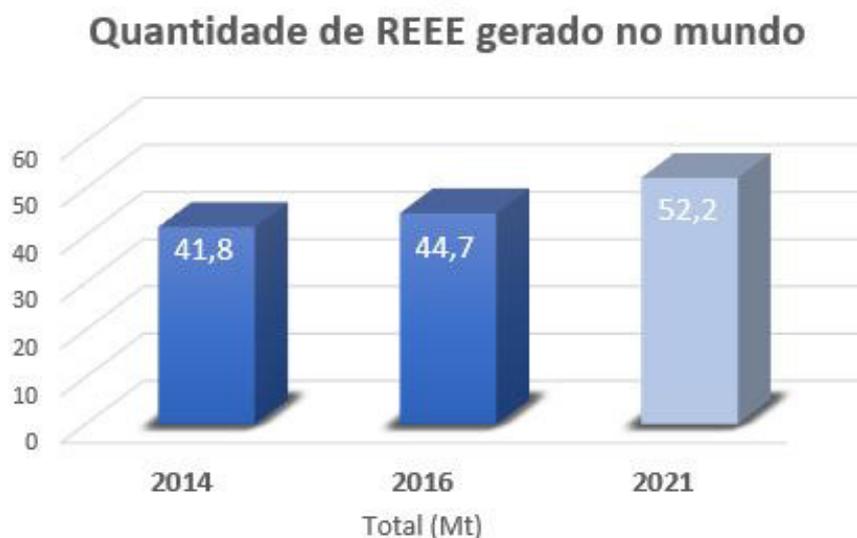
De acordo com uma estimativa fornecida por Balde et al. (2017), os valores potenciais dos materiais presentes na sucata eletrônica, chegam aos 55 bilhões de euros. O não reaproveitamento da matéria prima representa um grande desperdício de recursos naturais não renováveis.

2.4 Contexto atual da geração de REEE

Toneladas e mais toneladas de sucata eletrônica têm sido geradas aos montes em quase todos os países do mundo (BALDE et al., 2017), sendo que os desenvolvidos tendem a gerar uma parcela maior desse montante. Em compensação, estes mesmos países apresentam maior suporte para gerenciamento, recolha e tratamento dos resíduos eletroeletrônicos, diferentemente, das regiões em desenvolvimento, onde os regulamentos são menos rigorosos e não possuem preparo suficiente para lidar com o problema.

Alguns números da ONU ajudam a comprovar como o problema de geração de REEE cresce a cada ano que passa. Em seu relatório mais recente, proposto por Balde et al. (2017), destaca que todos os países do mundo, juntos, produziram um total de aproximadamente 44,7 milhões de toneladas (Mt) de resíduos eletroeletrônicos em 2016 e as estimativas são que, em 2021, a quantidade de sucata eletrônica gerada no planeta gire em torno de 52,2 milhões de toneladas (Figura 2), com uma taxa de crescimento de 3% a 4% ao ano.

Figura 2 – Crescimento e estimativa da geração total de REEE no mundo.



Fonte: Balde et al. (2017)

Cada continente teve uma contribuição diferente para a geração total de REEE em 2016, conforme dados mostrados na Tabela 2.

Com relação à quantidade total, em 2016, a Ásia se destaca como a região que gerou o maior montante de REEE (18,2 milhões de toneladas), seguida da Europa (12,3 milhões de toneladas), as Américas (11,3 milhões de toneladas), África (2,2 milhões de toneladas) e Oceania (0,7 milhões de toneladas). Grande parte da poluição eletrônica produzida na Ásia tiveram origem na China, acarretando na maior quantidade de REEE gerado no continente e no mundo (7,2 Mt).

Tabela 2 – REEE gerado e coletado por continente.

Indicador	África	Américas	Ásia	Europa	Oceania
REEE total (Mt)	2,2	11,3	18,2	12,3	0,7
REEE por habitante (kg/hab.)	1,9	11,6	4,2	16,6	17,3

Fonte: Balde et al. (2017)

Apesar de ter gerado a menor quantidade no total, a Oceania produziu a maior quantidade de REEE para cada habitante, cerca de 17,3 kg/hab, valor comparável à quantidade gerada pelo continente Europeu, incluindo a Rússia, com aproximadamente 16,6 kg/hab. De modo oposto, a Ásia, apesar de estar no topo em quantidade total gerada, apresentou baixa quantidade para cada habitante (4,2 kg/hab). As Américas geraram 11,6 kg/hab. A menor quantidade de sucata eletrônica, tanto por habitante como no total, foi gerada na África. Dentro das Américas, o Brasil aparece como o segundo maior poluidor eletrônico do continente americano, só perde para os Estados Unidos, com 1,5 Mt.

Os dados confirmam o fato de que a poluição eletrônica é uma preocupação global, porém está concentrada nas regiões onde o desenvolvimento econômico é maior, pois enquanto os EUA, país mais rico do mundo, gerou uma média de 19,6 kg/hab, em 2016 os países mais pobres geraram apenas 0,6 kg/hab (BALDE et al., 2017).

As causas para toda essa geração de resíduo eletrônico no mundo está ligada ao desenvolvimento tecnológico da sociedade, ao aumento da criação e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos em larga escala e, principalmente, às estratégias econômicas utilizadas para aumentar a frequência com que os consumidores adquirem novos aparelhos (obsolescência programada).

Só existe geração (descarte) de resíduo eletroeletrônico, se houver, no mínimo, o consumo (compra) de um aparelho eletroeletrônico. Por isso, observa-se que as maiores gerações de REEE vêm de países desenvolvidos. Com uma economia mais desenvolvida, há maior poder de compra pela população, que passa a adquirir bens elétricos e eletrônicos cada vez mais tecnológicos e inovadores.

O Brasil, apesar de não ser um país desenvolvido, tem testemunhado um crescimento no consumo dos EEE graças ao aumento do poder de compra das classes C e D, que passaram a adquirir produtos que anteriormente não tinham condições de comprar (ABDI, 2012). Conforme mostra a Tabela 3, entre 2014 e 2015, cresceu a presença de EEE nos domicílios particulares brasileiros. Pode-se observar que aparelhos como telefones, fogões, geladeiras e televisores estão presentes em quase todas as residências brasileiras.

Tabela 3 – Características dos domicílios particulares segundo existência de EEE.

Domicílios particulares com existência de EEE	2014		2015	
	Unidades (milhões)	%	Unidades (milhões).	%
Telefone	62 652	93,5	63 507	93,3
Computador	32 539	48,5	31 420	46,2
Fogão	66 240	98,8	67 249	98,8
Geladeira	65 401	97,6	66 563	97,8
Freezer	11 047	16,5	11 485	16,9
Máquina de lavar roupa	39 339	58,7	41 601	61,1
Rádio	48 321	72,1	47 103	61,1
Televisão	65 122	97,1	66 091	97,1
DVD	45 570	68,0	42 303	62,2

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2014-2015.

Kumar et al. (2017) também apresenta uma tabela com o número de EEE vendidos, como apresentados na Tabela 4. Observa-se uma enorme quantidade de telefones celulares e impressoras vendidas, ou seja, são bilhões de aparelhos com vida útil entre 2 à 5 anos, que logo se tornarão obsoletos e descartados.

Apesar da enorme taxa de resíduos eletrônicos gerados no mundo, uma parcela

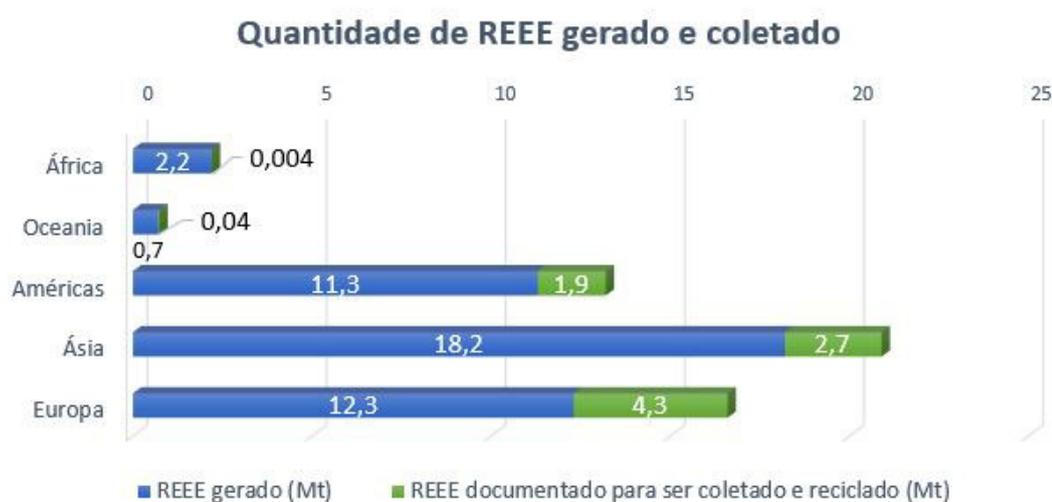
Tabela 4 – Dados globais de venda de EEE.

Itens	Unidades (milhões)	Ano
Telefones Android	1675.45	2015
iPhone 6	19.75	2015
Total de smartphones	12,444.89	2015
Laptop & desktop	238.5	2016
TV LCD	5.79	2015
TV de plasma	0.63	2015
TV TRC	0.55	2015
Total de TVs	7.08	2015
Impressoras	106,000	2014
Leitor de e-book	20.2	2015
Eletrodomésticos	583	2013
Fornos elétricos	0.733 (USA)	2015
Refrigerador	11.13 (USA)	2013
Lavadoras automáticas	9.68 (USA)	2013

Fonte: Kumar et al. (2017)

desse total foi coletado formalmente para receber o devido tratamento, o que já ajuda a diminuir o montante. De todo o REEE gerado, apenas 20% foi documentado para ser coletado e reciclado (BALDE et al., 2017). Como mostra a Figura 3, cerca de 4,3 milhões de toneladas de sucata eletrônica foram coletadas na Europa, mostrando a taxa de coleta mais alta (35%) dentre os continentes. Na África, com dados atuais, apenas 4 toneladas foram documentadas como coletadas e recicladas; isso é menos que 1%.

Figura 3 – Relação de REEE gerado e coletado por continente.



Fonte: Balde et al. (2017)

O destino do restante é desconhecido, mas provavelmente descartado, negociado, aterrado, manuseado, gerenciado ou reciclado em condições inferiores e informais (BALDE

et al., 2017). Muitos resíduos também permanecem nos galpões, sótãos e depósitos de seus proprietários ou são descartado com o “lixo” doméstico (BALDE et al., 2017).

2.5 Considerações finais

Neste capítulo, foram descritas as partes mais relevantes acerca dos resíduos eletroeletrônicos, principalmente com relação às características e aspectos mais problemáticos dos EEE, que, quando descartados de maneira inadequada, tornam-se resíduos altamente poluidores e perigosos para a saúde do meio ambiente e humana. Também foi apresentado o quanto a geração de sucata eletrônica têm crescido no mundo todo e as consequências que esse descarte incorreto trazem.

Com base em todo esse conhecimento prévio, pôde-se sintetizar os aspectos mais problemáticos e que causam uma certa dificuldade de gerenciamento. Dentre eles, destacam-se:

- Padrões de produção e tendências de uso de EEE não sustentáveis, como a obsolescência programada, que influenciam na grande geração de REEE;
- A grande quantidade de REEE descartados sem receber o devido tratamento, e o desconhecimento, por parte do consumidor, de práticas de descarte adequado;
- A heterogeneidade e complexidade dos equipamentos eletroeletrônicos em termos de composição material, tamanho e montagem, além da constante criação de novos equipamentos;
- A presença de substâncias potencialmente perigosas nos aparelhos eletroeletrônicos que podem acarretar na contaminação do solo, corpos d’água, ar, cadeia alimentar e o homem;
- A presença de metais preciosos e demais recursos valiosos que podem acarretar em desperício e prejuízo econômico quando não recuperados.

Dessa forma, no capítulo seguinte, será realizada a busca por soluções que minimizem, ou se possível eliminem, boa parte dos problemas aqui identificados.

3 Gestão e Gerenciamento Ambientalmente Adequado dos REEE no Brasil

Por gestão integrada, entende-se como um conjunto de ações voltadas à busca de soluções para o problema dos resíduos sólidos, levando em consideração o contexto político, econômico, ambiental, cultural e social (BRASIL, 2010). Ademais, entende-se por gerenciamento ambientalmente adequado como as ações colocadas em prática nas etapas de manejo dos resíduos sólidos e dos rejeitos (BRASIL, 2010).

As ações apresentadas nesse capítulo estarão voltadas ao cenário brasileiro, por se tratar de um contexto cujo país é líder na geração de resíduos eletroeletrônicos na América Latina, mas que ainda encontra muitas dificuldades para gerenciamento da sucata eletrônica, sendo um bom cenário de estudo para aplicação de mudanças.

3.1 Princípios

O ponto de partida para a gestão e gerenciamento dos REEEs é, ou pelo menos deveria ser, a implementação de uma lei específica que regule o descarte e o tratamento adequado desse tipo de resíduo. Na prática, nem todos os países possuem regulamentações específicas, sendo que, dos que possuem, em sua maioria são países desenvolvidos (OLIVEIRA et al., 2012). Na Europa, existe a Diretiva do Parlamento Europeu relativa aos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EUROPEIA, 2012) que serve como referência para gerenciamento de REEE às outras partes do mundo.

No Brasil, tem-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010, como principal marco regulatório relativo à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. A lei dispõe sobre princípios, instrumentos e diretrizes que devem ser adotados em cooperação com o Poder Público, indústria, comércio e consumidor de forma a abranger todos os resíduos nos estados sólido ou semissólido. Não se trata, portanto, de uma legislação específica para os resíduos eletroeletrônicos, porém os abrange dentro da categoria de resíduos perigosos, juntamente com outros tipos como, por exemplo, os agrotóxicos.

Um dos princípios estabelecidos e aplicados a todos os resíduos sólidos é o da Responsabilidade Compartilhada. Antes da PNRS, quando se descartava um produto de forma inadequada, não se sabia a quem responsabilizar. Porém, a partir de agosto de 2010, passaram a ser responsáveis todos aqueles envolvidos direta ou indiretamente com a geração de resíduos sólidos por meio de suas atividades, podendo ser qualquer pessoa

física ou jurídica, de direito público ou privado (BRASIL, 2010).

Aos geradores de resíduos sólidos foram atribuídas responsabilidades individualizadas e, ao mesmo tempo, compartilhadas uns com os outros com objetivo de minimizar o volume de resíduos e rejeitos gerados e encaminhados para lixões, bem como reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental. Dentre as atribuições de cada gerador estabelecidas pela PNRS:

- Cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes implementarem e operacionalizarem o sistema de Logística Reversa (LR) para os resíduos perigosos, por meio do recolhimento do produto após o uso pelo consumidor, destinando-o de forma ambientalmente adequada. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, ainda que para tratamento.
- Cabe aos titulares dos serviços públicos de limpeza e manejo de resíduos sólidos urbanos a implantação do sistema de coleta seletiva. Todas as entidades estão proibidas de criar ou manter lixões, e nas áreas onde não existirem, elas deverão construir aterros sanitários ambientalmente adequados que servirão de disposição final para os rejeitos.
- Os consumidores ficam responsáveis por acondicionar adequadamente os resíduos sólidos para coleta ou devolução, inclusive fazer a separação quando houver coleta seletiva. São proibidos de descartar os resíduos ou rejeitos em praias, mar, rio, lago, ou *in natura* a céu aberto.

Observa-se que a Logística Reversa (LR) é o principal instrumento estabelecido por lei para coletar e destinar de forma ambientalmente adequada os resíduos eletroeletrônicos, portanto o funcionamento desse sistema é descrito com mais detalhes na subseção seguinte.

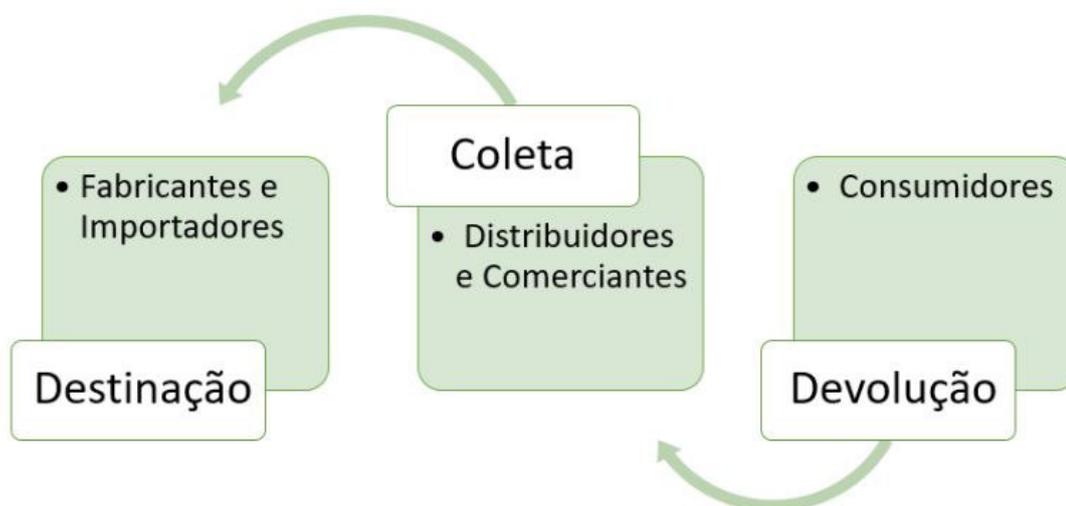
3.1.1 Logística Reversa

Conforme definida no Art. 3º da PNRS, a LR é um 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 em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada, como por exemplo, a reutilização, a reciclagem e inclusive a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A Logística Reversa, como o próprio nome indica, funciona de forma contrária à logística comumente conhecida pela produção e distribuição dos produtos aos consumidores. Conforme esquematizado na Figura 4, o consumidor deve devolver seus produtos eletroeletrônicos obsoletos aos distribuidores e comerciantes onde fizera a compra. Estes

por sua vez deverão retornar os produtos recolhidos do consumidor ao setor produtivo onde fora produzido - fabricantes e importadores - que, por fim, se encarregarão de providenciar a destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Figura 4 – Esquema da Logística Reversa de acordo com a PNRS.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a correta implementação do sistema LR é possível reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos descartados de forma inadequada, desde que todos os atores envolvidos participem de forma ativa. Os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes podem, preferencialmente, firmar acordos setoriais (atos de natureza contratual (BRASIL, 2010)) com o Poder Público a fim de tornar possível a implementação e operacionalização do sistema de Logística Reversa. De acordo com a PNRS, os geradores de REEE podem, dentre outras medidas:

- Implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;
- Disponibilizar e manter Pontos de Entrega Voluntária (PEV);
- Atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

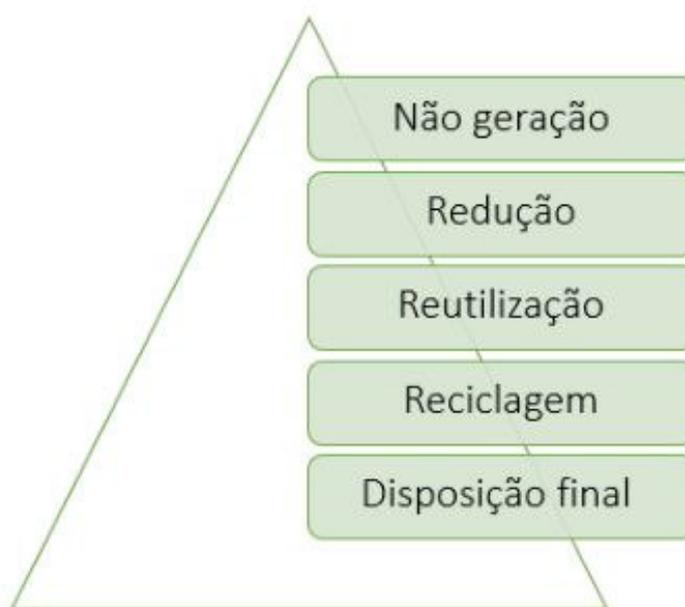
Especificamente dentro da linha dos eletroeletrônicos, somente alguns segmentos já possuem acordos setoriais estabelecidos e sistemas de logística reversa implantados (MMA, 2018), é o caso das Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista.

A grande dificuldade para implementação da LR no Brasil reside no custo associado à operacionalização do sistema em um país de extensão continental, no qual a viabilidade do tratamento tem relação direta com as distâncias entre os pontos onde se encontram os resíduos eletroeletrônicos e os pontos onde os mesmos serão reciclados (ABDI, 2012).

Apesar da burocracia e dificuldade para implantação da LR, a legislação brasileira (PNRS) é extremamente útil para direcionar e traçar caminhos pelos quais os REEE devem seguir a fim de se chegar ao destino correto de tratamento. Nesse contexto, e com base nos conceitos da LR, pode-se dizer que o REEE percorre um ciclo com várias etapas, desde o descarte pelo consumidor até o retorno do material (já reciclado) ao setor produtivo.

Basicamente, o fluxo de gerenciamento começa quando o consumidor decide descartar o equipamento eletroeletrônico em pontos de coleta, nos quais são recolhidos e encaminhados para destinação final de acordo com o que melhor se encaixa, podendo ser, por exemplo, a reutilização ou reciclagem. A legislação brasileira define um nível de prioridade entre as etapas de gerenciamento, assim sendo: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A Figura 5 evidencia esse nível de prioridade, tornando mais claro o entendimento.

Figura 5 – Nível de prioridade no gerenciamento dos resíduos sólidos de acordo com a PNRS.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 Não geração e redução

Maus hábitos e tendências de uso de EEE como, por exemplo, a constante troca de aparelhos por sua versão mais recente, apenas para se manter atualizado, mesmo que o equipamento antigo ainda esteja em perfeito estado de uso, pode ocasionar em um grande acúmulo de REEE, além de desperdício de recursos usados na fabricação dos equipamentos.

O consumidor deve adquirir consciência na hora de consumir, comprando somente aquilo que é realmente necessário, e repensando a escolha do produto, dando preferência para aqueles produzidos com viés socioambientais e sustentáveis, cujo fabricante ou importador participe do sistema de logística reversa.

Evitar padrões comportamentais de consumo não sustentável é evitar, também, a geração de resíduos eletroeletrônicos. Dessa forma, tem-se aqui a primeira estratégia de gestão a ser levado em consideração quando se busca soluções para frear a quantidade absurda de REEE gerados no mundo todo.

3.1.3 Coleta e Destinação

Uma vez consumido e descartado, é necessário a implantação de um bom sistema de coleta para que o resíduo siga um caminho adequado. A etapa de coleta consiste em receber, armazenar temporariamente e encaminhar os equipamentos eletroeletrônicos descartados pelo proprietário para o destino correto (ABDI, 2012). Essa etapa é fundamental para o funcionamento das cadeias subsequentes, pois quando não recolhidos, não há material a ser encaminhado para reciclagem ou reuso.

Baseado no trabalho de Balde et al. (2015), a seguir são destacados três cenários diferentes de descarte, coleta e destino dos resíduos eletroeletrônicos que comumente ocorrem nos diferentes países ao redor do mundo. Os três cenários foram estruturados e são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Cenários típicos de descarte, coleta e destinação dos REEE ao redor do mundo.



Fonte: Elaborada pelo autor baseado em Balde et al. (2017)

O primeiro cenário já foi exhaustivamente mencionado neste trabalho, e descreve

justamente o descarte incorreto dos resíduos diretamente em lixeiras comuns, com a recolha pelo serviço regular de coleta urbana e posterior encaminhamento para disposição final, sem passar por tratamento. Esse cenário, existente tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, deve ser evitado ou até mesmo extinguido devido aos problemas ambientais que pode causar.

O segundo cenário, mais comum em países desenvolvidos, é referente ao sistema oficial de devolução. Esse é o que poderia ser chamado de ideal, pois geralmente há uma legislação nacional que faz o regulamento tanto da coleta quanto da destinação ambientalmente adequada dos REEE. Nesse contexto, o REEE segue o sistema de logística reversa instituído e são, portanto, coletados pelos municípios (coleta seletiva, pontos de coleta municipais), varejistas, ou serviços de coleta comercial. Em seguida, o destino dado é o estado da arte das instalações de tratamento, que recuperam os materiais valiosos de maneira ambientalmente correta e reduzem os impactos negativos.

No terceiro e último cenário, a coleta ocorre de maneira informal fora dos sistemas oficiais de devolução, na qual revendedores individuais ou empresas privadas recolhem os resíduos por meio de pontos de coleta e em seguida os recondicionam para revenda ou separação dos materiais, com posterior encaminhamento para usinas de reciclagem. Nesse cenário, um número enorme de pessoas autônomas costumam trabalhar de porta em porta para comprar sucata eletrônica dos consumidores residenciais e depois os revender para reformadores e recicladoras, ou quando os resíduos não tem nenhum valor de reutilização, são principalmente reciclados por meio de “reciclagem de quintal” ou métodos abaixo do padrão.

A implantação de uma estrutura adequada de coleta de resíduos de EEE depende da cooperação e participação ativa entre todos os responsáveis diretos e indiretos com a geração de resíduos. Estudos apontam (RODRIGUES *et al.*, 2017) a comodidade por parte dos consumidores como fator desfavorável à efetivação do descarte correto, ou seja, “os locais próprios para descarte de resíduos perigosos e destinação para reciclagem só são de fato utilizados se próximo do local de residência ou acesso do cliente e se não lhes impliquem em custo algum”.

Há necessidade, portanto, de se ter uma legislação nacional que regulamente tanto a coleta quanto a destinação ambientalmente adequada dos REEE, exigindo do consumidor práticas ativas de descarte consciente e das empresas públicas ou privadas práticas que possibilitem a recolha do material.

3.1.4 Reutilização

A reutilização é o processo que visa reaproveitar o resíduo sem que para isso precise passar por um processo de transformação biológica, física ou físico-química (BRASIL,

2010), por exemplo, o ato de consertar o equipamento danificado ou o reaproveitamento de peças ainda em bom estado para montagem de um novo equipamento.

A reutilização é o melhor destino ambientalmente adequado para aqueles equipamentos que são coletados ainda em ótimo estado, com um defeito ou outro que possa ser resolvido com um simples conserto, dando-lhes um tempo de vida a mais, para assim evitar gastos desnecessários com processos que exigem um tratamento tecnológico mais avançado, a exemplo da reciclagem.

A reforma dos EEE é normalmente realizada em cooperativas ou demais locais próprios para coleta, onde há mão de obra especializada para manipular de forma segura os resíduos eletrônicos considerados perigosos. Nesses locais, os técnicos podem avaliar se os eletroeletrônicos, ainda em bom funcionamento, estão aptos para reutilização (ALVES, 2015).

De acordo com ABDI (2012), três práticas comuns de reuso de EEE podem ser identificadas no Brasil:

- Reuso privado: os EEE são reaproveitados a partir do reparo (quando deixou de funcionar) ou da realocação (é dado um novo uso, por exemplo, reutilização de um celular antigo por outros membros da família).
- Reuso com valor comercial: os EEE são comercializados por um valor razoável de revenda em estabelecimentos dedicados ao comércio de equipamentos usados, ou por meio de sites e aplicativos como Mercado Livre¹ e OLX².
- Reuso de natureza social: os EEE são consertados por iniciativas que recebem doações ou realizam a coleta de equipamentos eletroeletrônicos e posteriormente os encaminham a projetos sociais, escolas, bibliotecas e centros comunitários, ou então são vendidos à preço acessível, cuja receita decorrente é reinvestida em projetos específicos.

Por ser um processo de tratamento que não necessita de tecnologias avançadas, a reutilização, assim com a “não geração e redução”, está no topo das propostas prioritárias de gerenciamento de REEE (BRASIL, 2010). Porém, sabe-se que nem sempre é possível aplicar a reutilização em todo equipamento EEE já que, por vezes, são descartados em estado de conservação precário ou por possuírem determinadas partes tóxicas em sua composição impróprias para reuso. Para esses casos, o melhor destino é a reciclagem.

¹ <https://www.mercadolivre.com.br>

² <https://www.olx.com.br/>

3.1.5 Reciclagem

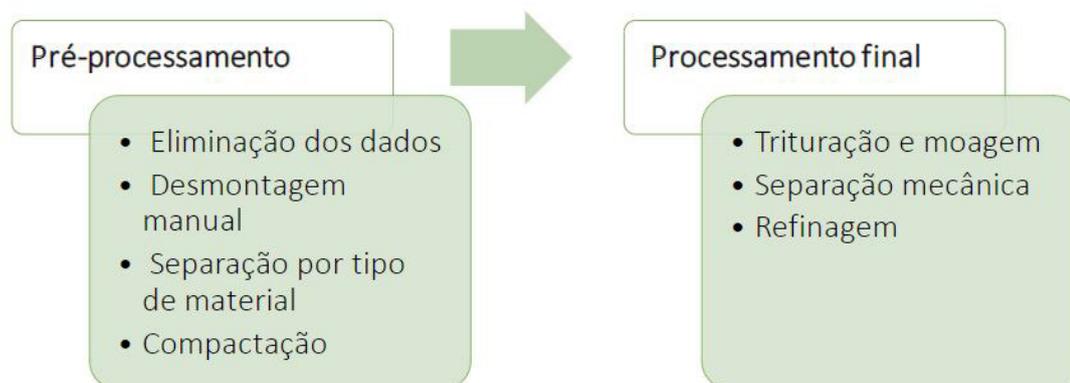
Reciclagem advém do termo correspondente em Inglês “*recycle*” que se traduz como “repetir o ciclo”, isto é, significa colocar um material em um novo ciclo de produção, transformando-o novamente em matéria-prima ou novos produtos, usando para isso processos que envolvam a alteração das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas do material (BRASIL, 2010).

Idealmente, os resíduos eletroeletrônicos só devem ser encaminhados para reciclagem quando não puderem mais ser reutilizados, visto que os processos de separação dos materiais, com posterior recuperação, fazem uso de tecnologias mais avançadas e que, de certa forma, gera um gasto maior com recursos (água, energia etc) se comparados com a reutilização.

Quando corretamente utilizada, a reciclagem é capaz de gerar inúmeros benefícios para as diferentes esferas ambientais, econômicas e sociais. Ambientalmente, evita-se a extração de recursos naturais (escassos e esgotáveis) para fabricação de um novo produto, além é claro, de reduzir a poluição ambiental que seria gerada caso os REEE fossem despejados a céu aberto. Economicamente e socialmente, a reciclagem é um atividade que movimenta o setor industrial através da criação de usinas de reciclagem, geração de emprego e renda, além da valorização dos recursos preciosos presentes nos equipamentos, sendo capaz de gerar um retorno financeiro.

O processo de reciclagem dos eletroeletrônicos foi modernizado com o passar dos anos. Hoje, o estado da arte da reciclagem consiste em duas etapas principais, pré-processamento e processamento final, divididas em outras subetapas, conforme estruturado na Figura 7. Para cada uma delas, geralmente existem fábricas/usinas especializadas que tratam de um material em específico (SCHLUEP; PROGRAMME, 2009).

Figura 7 – Etapas do processo de reciclagem dos REEE.



Fonte: Elaborada pelo autor com base em Kumar et al. (2017), ABDI (2012)

Inicialmente todos os resíduos passam por uma triagem inicial na qual são separados de acordo com suas propriedades físicas. As substâncias perigosas são removidas

manualmente e cuidadosamente armazenadas em tanques preparados para esse tipo de material e, posteriormente, destinados à empresas especializadas (ECYCLE, 2014). As baterias, por exemplo, são separadas e destinadas à empresas específicas que farão a recuperação de cobalto, níquel e cobre (SCHLUEP; PROGRAMME, 2009). Os monitores LCD constituídos por mercúrio precisam ser cuidadosamente removidos antes do tratamento adicional. (SCHLUEP; PROGRAMME, 2009).

A “carcaça” que compõe a estrutura dos dispositivos são desmontadas, também de forma manual, e separadas em frações de acordo com o tipo: ferro, alumínio, plástico, vidro e componentes eletrônicos, como as placas de circuito impresso (ECYCLE, 2014). Em seguida, essas frações deverão ser compactadas e encaminhadas para a empresa de reciclagem específica daquele material.

No Brasil, parte considerável dos insumos nobres dos REEE, principalmente as placas de circuito impresso, precisam ser exportadas para o devido tratamento pois não existe no país tecnologia que trate desse material (ABDI, 2012).

Quando chegam nas usinas de reciclagem, as frações dos materiais são trituradas - utilizando-se trituradores de metais, moinhos de martelos e moinhos de facas (KUMAR et al., 2017) - com o objetivo de reduzir o tamanho da partícula para que sejam usadas tecnologias que as separam com base nas propriedades magnéticas, de densidade ou de condutividade. Os materiais ferromagnéticos, como ferro, aço e terras raras (metais), são segmentados por meio de separação magnética. Cobre, ouro e prata são recuperados por meio de separadores de densidade e gravidade. Além disso, sensores infravermelhos podem ser usados para separar diferentes plásticos, enquanto sensores ópticos podem ser usados para vidro.

É importante que cada material esteja corretamente associado à respectiva fração, caso contrário não serão recuperados nos processos subsequentes de fundição. Por exemplo, metais preciosos no fluxo de plástico, ferro ou alumínio são perdidos, mas podem ser recuperados quando encontrados nas placas de circuito. (SCHLUEP; PROGRAMME, 2009)

Por fim, o concentrado de cada material é de fato transformado em matéria-prima utilizando processos (KUMAR et al., 2017): pirometalúrgicos, como o derretimento do concentrado/material em altas temperaturas; hidrometalúrgicos, como lixiviação do concentrado com vários produtos químicos para dissolver os metais valiosos em solução; e biometalúrgicos, como a utilização de micróbios para lixiviar os metais do concentrado.

No Brasil, a principal dificuldade de implantação da reciclagem de REEE está associada à informalidade do sistema de coleta e logística, pois sua eficiência depende do fornecimento de material e este depende da cooperação entre os geradores de resíduos (consumidores, indústrias, distribuidores e governo) (ABDI, 2012; OLIVEIRA et al., 2012).

Também é vista como dificuldade, a capacitação da mão-de-obra para a correta manipulação dos resíduos perigosos a fim de evitar riscos de contaminação.

Em decorrência da escala ainda relativamente reduzida, faltam também ao setor as condições de investir em tecnologia de ponta. Isso se deve à proporcionalidade do custo da reciclagem em relação a sua eficiência, quanto mais se busca uma alta taxa de reciclagem (gerando uma menor quantidade de rejeitos), mais caro fica (ABDI, 2012). Outro ponto a ser levado em consideração é que a reciclagem não é adequada para pequenos negócios, tendo em vista maior investimento de capital para obtenção das tecnologias (KUMAR et al., 2017)

3.1.6 Disposição final ambientalmente adequada

Os materiais após passarem por processos de reaproveitamento ou reciclagem, mas que mesmo assim não puderam ser recuperados, ou cujo reaproveitamento é inviável, precisam ser dispostos de forma ambientalmente adequada.

Como são compostos muitas vezes por elementos potencialmente perigosos, não é recomendada a incineração dos REEE, com subsequente transformação de calor em energia elétrica (ABDI, 2012). A opção que resta é a distribuição ordenada dos rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e minimizar impactos ambientais adversos.

3.2 Boas Práticas

Após identificação e descrição das etapas de gerenciamento nas subseções anteriores, nesta seção, apresentam-se experiências bem-sucedidas no Brasil que fazem uso das soluções até então discutidas. Não se trata de eleger uma única experiência como sendo a ideal, mas descrever seu funcionamento e identificar aspectos positivos e negativos, a fim de discutir a viabilidade para implementação da coleta e destinação ambientalmente adequada dos resíduos eletroeletrônicos.

3.2.1 Reciclus

Entidade sem fins lucrativos atuante efetivamente desde abril de 2016, a Reciclus³ é a gestora da Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes no Brasil (RECICLUS, 2017). Essa Associação organiza e desenvolve a coleta, transporte e reciclagem de lâmpadas fluorescentes por meio da destruição gratuita de caixas coletoras nas lojas e redes de supermercados do Brasil (RECICLUS, 2016)

³ <https://reciclus.org.br/>

Qualquer varejista e comércio que comercialize lâmpadas pode se tornar um ponto de coleta. A Reciclus oferece todo o suporte e logística necessários para instalação e manutenção dos coletores bem como a retirada contínua das lâmpadas depositadas. Dessa forma, o estabelecimento comercial não terá nenhum custo, ficando encarregado apenas por manter as caixas coletoras em local coberto, cimentado, visível e de fácil acesso, notificando a Reciclus sempre que a caixa estiver cheia e precisar ser retirada.

Quando cheias, as caixas coletoras são recolhidas por transportadoras especializadas e encaminhadas para as recicladoras onde serão separados e recuperados os vidros, os componentes metálicos, o pó fosfórico e, principalmente, o mercúrio (RECICLUS, 2016).

Grandes redes varejistas atuam em parceria com a Reciclus, a exemplo da Carrefour⁴, Makro⁵, Walmart⁶, GPA⁷ e outros (RECICLUS, 2017). Até metade de 2018, o programa Reciclus totalizou 543 pontos de coleta instalados nos parceiros varejistas de 80 cidades de 21 estados (RECICLUS, 2018)

Para manter a atuação em todo o Brasil, a Reciclus conta com a parceria de empresas fabricantes, importadores de lâmpadas e equipamentos de iluminação e seus *stakeholders*. Os fabricantes e importadores de lâmpadas têm o compromisso de gerir todo o sistema de logística reversa por meio da Reciclus, sendo estes os responsáveis pelos custos gerados por essa atividade (RECICLUS, 2017)

3.2.2 CEDIR

O CEDIR - Centro de Descarte e Reúso de Resíduos de Informática - é um projeto desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP) desde 2009, sendo um dos pioneiros em órgão público e em instituição de nível superior (DIAS, 2011) a executar ações de coleta, reuso e reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos obsoletos.

O Centro está instalado no campus da Cidade Universitária onde recebe equipamentos de informática e telefonia descartados pela comunidade da USP ou pela sociedade no entorno. O material recolhido passa por uma pré triagem, na qual os técnicos avaliam o estado de conservação do produto e os direcionam para reuso, reciclagem ou logística reversa.

Os equipamentos que ainda estão em boas condições de uso ou parcialmente danificados são consertados, reformados e remontados, retornando para uso dentro da própria Universidade ou em demais órgãos públicos, entidades sem fins lucrativos (projetos sociais) e escolas técnicas. O equipamento reformado é oferecido em caráter de empréstimo, mediante um termo de responsabilidade de devolução (ALVES, 2015) para que, dessa

⁴ <https://www.carrefour.com.br>

⁵ <https://www.makro.com.br/>

⁶ <https://www.walmartbrasil.com.br/>

⁷ <https://www.gpabr.com/>

forma, seja aplicada responsabilidade compartilhada estabelecida na PNRS. Ou seja, se o equipamento remanufaturado pela CEDIR for descartado de maneira incorreta pela instituição que o recebera, a CEDIR será responsabilizada. Portanto, a assinatura do termo de devolução garante os meios legais de que o equipamento retornará à CEDIR quando não funcionar mais.

Os equipamentos e suas partes, cuja reutilização é inviável, são desmontados e separados em grupos de metais, plásticos, vidros e placas de circuito impresso. Cada fração de componentes é compactada, condicionada e pesada para serem enviadas a empresas recicladoras específicas de cada material. Algumas empresas só efetuam a retirada caso exista uma quantidade mínima que pode variar de 50 a 500 kg dependendo do receptor e tipo de material (ALVES, 2015).

A logística reversa entra como alternativa àqueles equipamentos que não puderam ser reutilizados ou encaminhados para reciclagem, como por exemplo os cartuchos, baterias e toners. Estes são acondicionados em caixas e entregues ao fabricante.

Com relação aos gastos, o CEDIR não possui parceria com outras entidades públicas ou privadas, seus recursos são oriundos da própria USP que recebe repasses financeiros do Governo nas áreas internas (ALVES, 2015).

3.2.3 Tech Trash

A Tech Trash é uma startup com sede e funcionamento no Rio de Janeiro especializada na captação de REEE por meio de coletores espalhados pela cidade, destinando corretamente.

A empresa disponibiliza coletores próprios, denominados *COlets*, em determinados pontos do Rio de Janeiro, como pontos turísticos ou em empresas parceiras. Neles, qualquer consumidor pode descartar seu eletrônico obsoleto de forma gratuita. Até o momento da pesquisa, já haviam sido instalados 100 coletores que, devido à limitação de tamanho, só podem recolher apenas um volume pequeno de REEE e são exclusivos para pessoas físicas.

Há também o serviço de coleta domiciliar para os casos quando o volume de resíduos a ser descartado é grande. Nesse contexto, a coleta é feita por meio de frete compartilhado, no qual o cliente (pessoa física ou jurídica) agenda uma visita e será cobrado um valor que varia de acordo com o bairro do RJ a ser atendido.

De posse dos materiais coletados, a Tech Trash realiza o apagamento dos dados (nos casos de HDs, fitas de backup etc), triagem, reciclagem ou recondição em uma das formas previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos. A empresa opera dando prioridade à reutilização de EEE que ainda estão em ótimo estado, dentro das seguintes possibilidades:

- Doações: São doados para projetos de educação, tecnologia e ciências.
- Reinserção no mercado à preços populares, incentivando, desta forma, a inclusão digital.
- Ressignificação artística: componentes, peças e aparelhos antigos, vistos sob um olhar estético, podem ser utilizados como matéria-prima para trabalhos criativos.

Caso o material recebido não tenha potencial para reuso, é direcionado para a central de desmanufatura e reciclagem, onde são desmontados, selecionados e separados por tipos: perigosos (possuem custo para serem destinados corretamente) como pilhas, baterias, toner e cartuchos; e recicláveis (possuem valor de mercado). Dessa maneira, todo o material é encaminhado para parceiros certificados, responsáveis pela reciclagem industrial dos vários tipos de matéria-prima provenientes desse processo.

3.3 Discussão

Com base nos princípios e instrumentos estabelecidos pela PNRS, na logística reversa e nas etapas de gerenciamento identificados, descritos e analisados na seção 3.1, pôde-se compreender as diversas formas de tratamento dado aos resíduos eletroeletrônicos no Brasil, e como cada etapa de coleta, destinação e disposição final ambientalmente adequada tem papel importante para o gerenciamento total dos REEE.

Em síntese, são apresentadas a seguir as soluções discutidas nesse capítulo, correlacionando-as a um ou mais aspectos problemáticos dos REEE identificados na seção 2.5 (Considerações finais) do capítulo anterior. Sendo assim, tem-se:

- Aspecto problemático: **Padrões de produção e tendências de uso de EEE não sustentáveis, como a obsolescência programada, que influenciam na grande geração de REEE.**
 - Como solução, os consumidores devem adotar padrões de consumo consciente - levantados na subseção 3.1.2 (Não geração e redução) - a fim de ir de encontro às más práticas da obsolescência programada, especificamente, combater o desejo pela compra compulsória e sem necessidade. Nesse contexto, cabem campanhas de conscientização divulgadas nos meios de comunicação, em especial nas redes sociais. Entende-se que mesmo com a mudança de comportamento, a obsolescência programada é um padrão de produção que continuará existindo, mas que pode ter seus efeitos negativos minimizados através da prática da reutilização, ou seja, os aparelhos danificados são consertados e postos novamente em uso, prolongando seu tempo de vida útil.

- **Aspecto problemático: A grande quantidade de REEE descartados sem receber o devido tratamento, e o desconhecimento, por parte do consumidor, de práticas de descarte adequado.**
 - Como solução, tem-se a aplicação da responsabilidade compartilhada estabelecida na PNRS por meio da logística reversa, na qual o consumidor é responsável por acondicionar adequadamente os REEE para devolução, podendo ser penalizado com multa caso descarte equipamentos sujeitos à logística reversa no lixo comum. Ainda de acordo com a PNRS, os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes devem disponibilizar e divulgar meios de coleta dos REEE.

- **Aspecto problemático: A heterogeneidade e complexidade dos equipamentos eletroeletrônicos em termos de composição material, tamanho e montagem, além da constante criação de novos equipamentos**
 - Como solução, tem-se novamente a logística reversa e a aplicação da responsabilidade sobre o ciclo de vida do produto. Ou seja, os fabricantes precisa levar em consideração um novo modelo de design de produto, visando a construção de aparelhos com materiais recicláveis, de fácil recuperação, com menos complexidade e montados de tal forma cujo desmonte se torne natural. Dessa forma, o fabricante já ameniza os possíveis problemas que possam surgir durante o tratamento, visto que será a própria indústria, a responsável por tratar desse resíduo.

- **Aspecto problemático: A presença de substâncias potencialmente perigosas nos aparelhos eletroeletrônicos que podem acarretar na contaminação do solo, corpos d'água, ar, cadeia alimentar e o homem**
 - Como solução, tem-se a aplicação e fiscalização de leis que restringem a quantidade de substâncias tóxicas nos REEE, ou a substituição por materiais menos prejudiciais mas que proporcionam a mesma função e eficiência. Também é importante ressaltar que, com o avanço tecnológico, podem surgir novos tratamentos capazes de reciclar um material que atualmente não é recuperável. Para reduzir o risco de contaminação, toda a manipulação e processamento devem ser realizados com os devidos equipamentos de proteção pessoal.

- **Aspecto problemático: A presença de metais preciosos e demais recursos valiosos que podem acarretar em desperício e prejuízo econômico quando não recuperados.**
 - Como solução, tem-se a reciclagem que, como mencionado na subseção 3.1.5 (Reciclagem), é um tratamento completo que valoriza a recuperação dos recursos preciosos presentes nos equipamentos, sendo capaz de gerar um retorno financeiro.

Diante de tais discussões, confirmou-se que existem soluções e tratamentos para amenizar os problemas de descarte e destinação correta de REEE, mas, especificamente no Brasil, a implantação das propostas ainda não se faz presente da forma ideal. De um modo geral, o gerenciamento dos REEE podem apresentar dificuldades e mudar de região para região de acordo com as políticas locais de recolhimento, a implantação dessas leis, a participação de empresas privadas, a participação de cooperativas de catadores, a eficiência dos programas de tratamento e, também, do nível de conscientização do proprietário quanto ao descarte correto.

No que tange às boas práticas apresentadas seção 3.2, a Reciclus atende de forma inequívoca a legislação vigente, sendo portanto uma prática que deve ser replicada aos demais segmentos de eletroeletrônicos que necessitam da LR. Por meio da implementação de pontos de coleta no varejo, sem custo algum, a Reciclus oferece maior visibilidade ao estabelecimento comercial, uma vez que existe grande possibilidade dos clientes passarem a considerar a loja como primeira opção na hora da compra em função do descarte correto.

A distribuição de pontos de coleta junto aos varejistas facilita a devolução dos produtos pelo consumidor, por serem locais já conhecidos e frequentados pelos clientes, são parâmetros naturais em tudo que se refere à produtos vendidos. Essa característica pode transformar o varejo em um forte aliado no que se refere à divulgação de informações a respeito do descarte correto de REEE.

Por outro lado, a reutilização da forma como é feita pela CEDIR não é atraente para o varejo pois levanta questões complexas como termos de garantia para o produto remanufaturado, e assistência técnica, pois o material que até então era tratado como resíduo passa a ser responsabilidade da empresa que o reformou. Mesmo com a assinatura do termo de devolução, como realizado pela CEDIR, não há garantia de que o equipamento remanufaturado voltará ao responsável.

Em suma, projetos que possuem uma estrutura semelhante a da CEDIR e da Tech Trash funcionam como um canal entre o doador dos REEE e as empresas de reciclagem. Basicamente, seguem o mesmo conceito de logística reversa definido pela Reciclus, com a diferença que fazem da reutilização o tratamento prioritário para os REEE. Inclusive, a Tech Trash traz ideias inovadoras de reutilização como a ressignificação artística.

4 Conclusão

Este trabalho apresentou a temática dos resíduos eletroeletrônicos, buscando compreender de que forma os REEE podem ser descartados e gerenciados corretamente, visto que, nos últimos anos, tem-se constatado um aumento da quantidade de REEE despejados de maneira inadequada e sem receber o devido tratamento, ocasionando em graves danos ambientais, sociais e econômicos.

Para que se pudesse chegar às práticas de manejo correto, foram traçados objetivos gerais e específicos que levassem em consideração um estudo prévio dos aspectos problemáticos que dificultam o gerenciamento desse tipo de resíduo. Portanto, estruturou-se este trabalho em três capítulos principais: o primeiro, responsável por apresentar as causas; o segundo, as consequências e problemas; e o terceiro, as propostas de soluções e exemplos práticos de projetos bem-sucedidos no tratamento de REEE.

No primeiro capítulo foi feita uma introdução acerca das causas que levam à enorme geração global de resíduos eletroeletrônicos. Com base no conhecimento adquirido, entendeu-se que o tempo de vida relativamente curto dos aparelhos por meio da obsolescência programada, juntamente do consumo inconsciente, são os principais fatores por trás do aumento da quantidade de REEE gerado no mundo e um dos primeiros aspectos problemáticos desse resíduo.

Com aprofundamento a partir do segundo capítulo, pode-se compreender que a falta de informação de como descartar corretamente e a falta de locais apropriados para coleta dos resíduos, são os principais fatores ocasionadores do descarte incorreto. Posteriormente, pôde-se perceber que existem pontos de entrega voluntária onde o consumidor deposita seu aparelho obsoleto, além de programas de recolhimento junto às residências e estabelecimentos comerciais, que solucionam o problema de descarte incorreto quando bem implementados, mas que no geral, não estão presentes em todas as localidades.

Ainda no segundo capítulo, entendeu-se que os REEE precisam ser devidamente coletados e encaminhados para tratamento específico pois são compostos por materiais tóxicos, nocivos ao meio ambiente e ao homem, sendo este o aspecto mais problemático de toda sucata eletrônica. Como as substâncias tóxicas estão presentes, também, nas placas de circuito impresso, e estas por sua vez são parte essencial dos equipamentos eletrônicos, praticamente todo EEE é visto como potencialmente perigoso. Realizar possíveis mudanças na composição material dos equipamentos eletrônicos, substituindo os principais poluentes por outros materiais menos agressivos ao meio ambiente, pode ser encarado como um solução a este problema.

No capítulo 3, pôde-se compreender as diversas formas de tratamento dado aos

REEE visam reduzir a grande quantidade de REEE descartados de forma inadequada. Grande parte das soluções já foram analisadas na seção 3.3 (Discussão) do mesmo capítulo, porém cabem aqui algumas ressalvas.

No que tange às propostas de tratamento, a Logística Reversa (LR) é tida como principal sistema de gestão e gerenciamento dos REEE tanto no Brasil como no mundo. Apesar de bem definida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, a implementação da LR em conformidade com a lei torna-se um processo burocrático no sentido que depende da criação e aprovação de acordos setoriais e, principalmente, da participação das diversas empresas responsáveis pelos equipamentos eletrônicos, além é claro, do consumidor.

Os países sem desenvolvimento enfrentam mais problemas de gerenciamento do que os países desenvolvidos, isso pode ser explicado devido a falta de preparo no desenvolvimento econômico e tecnológico do país, visto que estruturar um sistema de logística reversa e implantar usinas de reciclagem são tarefas custosas. Com relação ao Brasil, espera-se que novas práticas surjam e ou se expandam para outras regiões, e não fiquem tão concentradas na região Sudeste. Nesse sentido, cabem estudos de viabilidade técnica para implantação da LR.

Com relação à destinação ambientalmente adequada, compreendeu-se que os REEE recolhidos dentro do sistema oficial de LR ou fora dele, de maneira informal, podem ter como destino a reutilização (reparo, reforma ou revenda), a reciclagem ou a disposição dos rejeitos de forma ambientalmente adequada.

Independente dos meios, entende-se que o mínimo a ser feito com a relação à coleta e destinação é impedir que os resíduos sejam despejados à céu aberto, evitando a contaminação do solo, lençol freático e seres vivos; e ao mesmo tempo, dá-lhes um tratamento visando tanto a separação e disposição ambientalmente adequada dos materiais tóxicos, como a recuperação dos recursos valiosos, evitando-se o desperdício.

Nesse sentido, cabe um estudo mais detalhado sobre os processos de reciclagem de REEE, analisando a viabilidade e perpetuação do negócio, os gastos e obtenção de lucro com a geração de matéria-prima secundária, comparando com os gastos para extração de matéria-prima virgem e fabricação do produto, a fim de se incentivar o uso da reciclagem como prática essencial.

Conclui-se, por fim, que não existe uma solução única, mas sim várias propostas que visam solucionar um ou mais problemas em específico, e que juntas são capazes de diminuir o problema global de geração e acúmulo de REEE, quando bem implementadas. Como última constatação, é necessário mudar a visão que se tem dos resíduos sólidos em geral, não só dos REEE, passando a reconhecê-lo como um bem reutilizável e reciclável, com potencial para geração de trabalho e renda e promotor de cidadania, como um recurso importante para o futuro, diante da oferta de recursos naturais cada vez mais escassos.

Referências

- ABDI, A. B. de D. I. *Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. Brasília: Inventta Consultoria Ltda, 2012.
- ALVES, D. S. *O descarte dos equipamentos de informática da Universidade de São Paulo: um estudo sobre o CEDIR-USP e as empresas receptoras dos resíduos eletrônicos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Municipal de São Caetano do Sul, São Caetano do Sul, 2015.
- BALDE, C. P. et al. *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows and Resources*. Bonn, Geneva, and Vienna: United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2017. 116 p.
- BALDE, C. P. et al. *The Global E-waste Monitor 2014: Quantities, flows and resources*. Tokyo & Bonn: United Nations University, 2015. 79 p.
- BIZZO, W.; FIGUEIREDO, R.; ANDRADE, V. de. Characterization of printed circuit boards for metal and energy recovery after milling and mechanical separation. *Materials*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 7, n. 6, p. 4555–4566, 2014.
- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 12 de agosto de 2010. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.
- DANNORITZER, C. *The Light Bulb Conspiracy*. Espanha: RTVE, 2010.
- DIAS, V. *Da geração de renda à inclusão digital: alternativas para o lixo eletrônico*. 2011. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=78610>>.
- ECYCLE, E. *Reciclagem: o que é e qual a importância*. 2014. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2046-reciclagem>>.
- EUROPEIA, U. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012. Relativa aos Resíduos de Equipamentos elétricos e eletrônicos. *Jornal Oficial da União Europeia*, 2012. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&qid=1562365399638&from=EN>>.
- GREENPEACE, I. The dangerous chemicals in electronic products. *Greenpeace Brief*, v. 7, p. 1–21, 2014.
- GUPTA, M. Management of hazardous electronic waste. *international Journal of computer applications*, Citeseer, v. 90, n. 1, 2014.
- KUEHR, R. (Ed.). *Solving the E-waste Problem (Step) White Paper: One Global Definition of E-waste*. Bonn: United Nations University, 2014. 13 p.
- KUMAR, A.; HOLUSZKO, M.; ESPINOSA, D. C. R. E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier BV, v. 122, p. 32–42, jul 2017.

- KUNRATH, J. L. *Resíduos eletroeletrônicos : um diagnóstico da cadeia de processamento*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- LIXO. In: DICIONÁRIO Priberam da Língua Portuguesa. [S.l.: s.n.], 2018.
- MMA, M. do M. A. *Sistemas Implantados*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/logistica-reversa/sistemas-implantados>>.
- MMA, M. do M. A. *Programa Lixão Zero*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2019.
- OLIVEIRA, C. R. de; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the brazilian situation. *Waste Management*, Elsevier BV, v. 32, n. 8, p. 1592–1610, 2012.
- RECICLUS. 2016. Disponível em: <<https://reciclus.org.br/>>.
- RECICLUS. *Relatório Anual de Atividades e Resultados*. [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente, 2017.
- RECICLUS. *Boletim Reciclus*. 2018. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1-N7ZS0Fgsa-TfXT638J7qXi7AMUfF5lW/view>>.
- RODRIGUES, S. M.; ROSINI, A. M.; PALMISANO, A. Percepção do consumidores sobre o descarte de aparelhos celulares: Um estudo na cidade de são paulo. *REPAAE - Revista de Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia*, v. 3, n. 1, p. 88–95, 2017.
- ROMÁN, I. ewaste in latin america: The contribution of mobile operators in reducing electronic waste. GSMA, 2015.
- SCHLUEP, M.; PROGRAMME, U. N. E. Recycling: from e-waste to resources. 01 2009.
- STUFF, H. *Mobile phone study*. 2012. Disponível em: <<https://www.ecocenter.org/healthy-stuff/reports/mobile-phone-study-2012>>.
- SZAŁATKIEWICZ, J. et al. Metals content in printed circuit board waste. *Pol. J. Environ. Stud*, v. 23, n. 6, p. 2365–2369, 2014.
- VICAIRE, Y. Toxic tech: Switching on to green electronics. Greenpeace International, 2008.