



**Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro**

**Departamento de Economia (ECO), Instituto de Química (IQ),
Instituto de Geociências (IG), Centro de Desenvolvimento
Sustentável (CDS) e Instituto de Biologia (IB)**

Graduação em Ciências Ambientais

ENRIQUE JAEGGER SOLLA

**A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E SUAS INTERFACES
COM A ECONOMIA E A SAÚDE AMBIENTAL**

MONOGRAFIA

BRASÍLIA

2018

ENRIQUE JAEGGER SOLLA

**A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E SUAS INTERFACES
COM A ECONOMIA E A SAÚDE AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada a Secretaria de Ciências
Ambientais da Universidade de Brasília
(UnB) como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Jorge Madeira Nogueira
Coorientador: Fernando Fabríz Sodré

BRASÍLIA

2018

SEN59g

Solla, Enrique Jaegger

A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E SUAS INTERFACES COM A ECONOMIA E A SAÚDE AMBIENTAL / Enrique Jaegger Solla; orientador Jorge Madeira Nogueira ; co-orientador Fernando Fabriz Sodré. -- Brasília, 2018.

120 p.

Monografia (Graduação - Ciências Ambientais) --
Universidade de Brasília, 2018.

1. Meio Ambiente . 2. Economia Ambiental. 3. Saúde Ambiental. 4. Resíduos Eletrônicos. I. Madeira Nogueira , Jorge, orient. II. Fabriz Sodré, Fernando , co-orient. III. Título.

ENRIQUE JAEGGER SOLLA

**A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E SUAS INTERFACES
COM A ECONOMIA E A SAÚDE AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito necessário à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais, por intermédio da Secretaria de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB). Banca examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira
Departamento de Economia - UnB
Orientador

Prof. Dr. Fernando Fabriz Sodré
Instituto de Química - UnB
Coorientador

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição
Departamento de Economia – UnB
Professor convidado

BRASÍLIA

2018

Ao meu Abuelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço eternamente à minha mãe, Carla, por ter me apoiado vigorosamente por todos esses anos em meus interesses e decisões, te amo muito.

Agradeço eternamente ao meu pai, José, por ter tido um papel forte em meu interesse pela área ambiental e ter me ajudado na revisão textual, te amo muito.

Agradeço muito ao meu irmão, Santiago, por ter me ajudado na elaboração de quadros e tabelas, te amo muito.

Muito obrigado ao meu orientador, Jorge Madeira Nogueira, pela autonomia de trabalho, ajuda na pesquisa de material e encorajamento na área profissional.

Muito obrigado ao meu coorientador, Fernando Fabríz Sodré, por me ajudar a moldar o tema e assuntos abordados nesta monografia.

Obrigado a todos os professores que tive por todos esses anos.

Obrigado ao contribuinte brasileiro que tornou esse aprendizado possível.

“Durante o reinado de Tibério (14–37 d.C.), a notícia da morte de Pan chegou a Thamus, um marinheiro a caminho da Itália pela ilha de Paxi. Uma voz divina saudou-o através da água salgada:

–Thamus, está aí? Quando chegar a Palodes, certifique-se de proclamar que o grande deus Pan está morto!

O que Thamus fez, e as notícias foram recebidas pela costa com gemidos e lamentos”

Plutarco

(Moralia - Do Defeito dos Oráculos)

RESUMO

Nas últimas décadas, os resíduos eletroeletrônicos sobressaíram como a categoria de resíduo sólido com crescimento mais acelerado, estimulado pelo aumento quase exponencial da sua produção, pelo tempo de vida útil curto, pela obsolescência veloz e pela busca por parte do consumidor de versões mais recentes de eletroeletrônicos. Com o impulso dado pelo movimento ambientalista, convenções multilaterais voltadas à saúde ambiental têm ganhado destaque no mundo e legislações mais duras em países desenvolvidos foram promulgadas, provocando uma causalidade. Regras mais rígidas e altos custos relativos à disposição final desses resíduos incentivaram agentes econômicos a exportar o problema para países em desenvolvimento com carência de leis específicas e seu cumprimento. Devido à enorme quantidade de exportações ilegais, não existem dados exatos sobre o fluxo de resíduos eletrônicos; logo estimativas são elaboradas por pesquisadores acadêmicos para determinar a sua escala aproximada. Foi observado também que os resíduos eletrônicos possuem interações com a saúde ambiental e a economia. A grande maioria desses resíduos contém poluentes danosos ao meio ambiente e, também, componentes com alto potencial econômico de reciclagem. Algumas alternativas sustentáveis para fins de mitigar esse problema foram sugeridas. Por fim, foi constatada a situação da legislação brasileira, que deve ser aperfeiçoada.

PALAVRAS-CHAVE: Economia Ambiental; Reciclagem; Resíduos eletrônicos; Saúde Ambiental; Sustentabilidade.

ABSTRACT

In recent decades, electronic waste stood out as the fastest growing solid waste category, stimulated by the almost exponential increase of its production, short shelf life, fast obsolescence and the search by the consumer for more recent products versions. With the impetus given by the environmental movement, multilateral conventions focused on environmental health have gained prominence in the world and tougher legislation in developed countries has been enacted, which provoked a causality. Tighter rules and high costs related to the final disposal of this e-waste encouraged economic agents to export the problem to developing countries lacking specific laws and their enforcement. Due to the huge amount of illegal exports, there is no exact data on the flow of electronic waste; ergo estimates are drawn up by academic researchers to determine their approximate scale. It was also observed that electronic waste has interactions with environmental health and the economy. The vast majority of these wastes contain pollutants that are harmful to the environment, however they also contain components with a high economic potential for recycling. Some sustainable alternatives to mitigate this problem have been suggested. Finally, the situation of the Brazilian legislation was verified, and it needs some improvements regarding this issue.

KEY-WORDS: Environmental Economics; Recycling; Electronic waste; Environmental health; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS, GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS

FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de eletroeletrônicos até e-resíduos e os cenários de gestão de e-resíduos mais comuns

Figura 2. Interfaces entre a saúde ambiental e a economia em relação aos e-resíduos representados pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Figura 3. Especificação do mercúrio em ambientes aquáticos

Figura 4. Opções de gestão favoráveis para resíduos sólidos.

Figura 5. O ciclo da logística reversa

Figura 6. Fluxo de custos e receita relacionados a instalação de recuperação de materiais para reciclagem de resíduos eletrônicos.

Figura 7. Sequência dos processos em uma instalação de recuperação de materiais para reciclagem de resíduos eletrônicos

Figura 8. Funcionamento do sistema de depósito-reembolso para a indústria de bebidas

Figura 9. Portal e-SINGRE

Figura 10. Interface de Relatórios do SINGRE enviados por cada posto de coleta registrado

Figura 11. Inventário Nacional de Eletroeletrônicos

Figura 12. Funcionamento do ciclo de vida de um produto, da compra ao descarte, com o Sistema Nacional de Resíduos Eletrônicos (SINGRE)

GRÁFICOS

Gráfico 1. Geração mundial anual de resíduos eletrônicos em milhões de toneladas (t)

Gráfico 2. Geração global de resíduos eletrônicos, *per capita*, em quilogramas (kg)

Gráfico 3. E-resíduos gerados, *per capita*, no Brasil e no mundo, em quilogramas (kg).

Gráfico 4. Quantidade (em milhões de toneladas) de e-resíduos importados pela China. (A) Declínio entre 2001 e 2014 em Guiyu e (B) estimativas de redução entre 2010 e 2030.

Gráfico 5. Reservas anuais de materiais valiosos em e-resíduos na China

Gráfico 6. Potencial econômico da reciclagem de e-resíduos na China

QUADROS

Quadro 1. Aspectos que caracterizam uma substância como perigosa e suas respectivas definições

Quadro 2. Componentes de e-resíduos e suas substâncias químicas respectivas

Quadro 3. Efeitos adversos de materiais presentes em e-resíduos, que podem sofrer especiação química ou bioacumulação.

TABELAS

Tabela 1. E-resíduos gerados no Brasil e no mundo, por ano, em milhões de toneladas (t)

Tabela 2. Preços de mercado de alguns materiais presentes em e-resíduos (em US\$/t e R\$/t)

Tabela 3. Estimativa do potencial econômico de e-resíduos no Brasil por equivalência a dados da China, de 2009 a 2018

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CH₃Hg⁺ – Metilmercúrio

Cr(VI) – Cromo hexavalente

Hg⁰ – Mercúrio metálico

Hg²⁺ – Íon mercúrico

°C – Graus Celsius

3Rs – *Reduce, Reuse, Recycle*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ag – Prata

Al – Alumínio

ANA – Agência Nacional das Águas

Art. – Artigo

As – Arsênio

atm – Medida de pressão atmosférica

Au – Ouro

Ba – Bário

BAN – *Basel Action Network*

BBC – *British Broadcasting Channel*

Be – Berílio

Cd – Cádmiio

Ce – Cério

CEP – Código de Endereçamento Postal

CF – Constituição Federal

CFC – Clorofluorcarbono

Co – Cobalto

CO₂ – Dióxido de Carbono

Código QR – Código *Quick Response*

COPANT – Conselho Diretivo da Comissão Panamericana de Normas Técnicas

CRT – *Cathode Ray Tube*

Cu – Cobre

DDT – Diclorodifeniltricloroetano

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

EAD – Entidade Administradora do Processo de Redistribuição e Digitalização de Canais de TV e RTV

EEA – *European Environment Agency*

EPA – *Environmental Protection Agency*

E-resíduo – Resíduo eletrônico ou eletroeletrônico

ETBC – *Electronics Takeback Coalition*

Eu – Európio

EUROSTAT – *European Statistical Office*

Fe – Ferro

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

Ga – Gálio

H⁺ – Íon Hidrogênio

H₂O – Água

HCl – Ácido Clorídrico

Hg – Mercúrio

HNO₃ – Ácido Nítrico

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

In – Índio

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

kg – Quilogramas

km² – Quilômetros por metro quadrado

La – Lantânio

LCD – *Liquid-crystal-display*

Li – Lítio

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

mm – Milímetro

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

Nd – Neodímio

Ni – Níquel

O₂ – Oxigênio

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONGs – Organizações Não-Governamentais

ONU – Organização das Nações Unidas

P2 – Mecanismos de Prevenção a Poluição

PAHs – Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

Pb – Chumbo

PBBs – Bifenilas Polibromadas

PBDEs – Éteres Difenílicos Polibromados

PCBs – Bifenilas policloradas

PCDFs – Dibenzofuranos policlorados

Pd – Paládio

pH – Potencial hidrogeniônico

PHAHs - Hidrocarbonetos Aromáticos Polialogenados

PIB – Produto Interno Bruto

PL – Projeto de Lei

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes

PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

ProIC – Programa de Iniciação Científica

R\$ – Real brasileiro

REP – Responsabilidade Estendida do Produtor

RIP – Responsabilidade Individual do Produtor

RNA – Ácido ribonucleico

RoSH – *Restriction of Use of Certain Hazardous Substances*

Sb – Antimônio

SDR – Sistema de Depósito-Reembolso

Se – Selênio

SINGRE – Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Eletrônicos

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

Sn – Estanho

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SO₄²⁻ – Íon Sulfato

StEP – *Solving the E-waste Problem*

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

SVTC – *Silicon Valley Toxics Coalition*

T – Temperatura

t – Tonelada

TBBPA – Tetrabromobisfenol-A

UE – União Europeia

UF – Unidade Federativa

UnB – Universidade de Brasília

UNU – Universidade das Nações Unidas

US\$ – Dólar americano

USGS – *United States Geological Survey*

VMPs – Valores Máximos Permitidos

WEEE – *Waste Electrical Electronic Equipment*

Y – Ítrio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	27
ASPECTOS METODOLÓGICOS	33
1. RESÍDUOS ELETRÔNICOS – UM RISCO INSUSTENTÁVEL	35
1.1. O ciclo de vida de eletroeletrônicos e o crescimento acelerado de e-resíduos ...	35
1.2. O Brasil e seus compromissos internacionais com resíduos perigosos e a sustentabilidade	42
2. A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E A SAÚDE AMBIENTAL	49
2.1. Resíduos eletrônicos – uma ameaça à saúde ambiental	49
2.2. O gerenciamento adequado de resíduos eletrônicos	56
3. SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS E-RESÍDUOS	63
3.1. Alternativas à extração da matéria virgem	63
3.2. O Sistema de Depósito-Reembolso e o rastreamento do fluxo de e-resíduos	79
4. A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E SUA INTERAÇÃO COM E-RESÍDUOS	89
4.1. Conceitos fundamentais relacionados a legislação ambiental – prever e prevenir	89
4.2. A Legislação brasileira e os resíduos eletroeletrônicos	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	111
Anexo I – Principais acordos multilaterais, iniciativas e leis relacionados aos e-resíduos	111
Anexo II – Contaminantes potenciais oriundos do descarte e reciclagem de e-resíduos	112
Anexo III – Potencial de exposição dos contaminantes em e-resíduos	114
Anexo IV – Porcentagem média de materiais encontrados em alguns e-resíduos na China	116
Anexo V – Projeto de Lei nº2.045 de 2011	118

INTRODUÇÃO

A era digital propiciou muitos benefícios tecnológicos para a sociedade, como o acesso à informação, a comunicação à distância e melhorias na qualidade de vida pela incorporação de aparelhos eletroeletrônicos ao cotidiano do consumidor¹. A esse propósito, “a demanda global por produtos eletrônicos cresceu exponencialmente, enquanto a vida útil de tais aparelhos tornou-se cada vez mais curta (DE OLIVEIRA, 2012, p.13). Assim, os *hardwares*² de eletroeletrônicos de versões anteriores tornam-se obsoletos e acabam sendo descartados sob a forma de resíduos eletrônicos, também chamados de e-resíduos³. Esse fenômeno integra o sistema econômico e, simultaneamente com a obsolescência programada⁴, contribui para acelerar o fluxo de e-resíduos no mundo.

Atualmente, não há uma uniformidade na definição de e-resíduos. A Diretiva 2002/96/EC, do Parlamento Europeu, refere-os como *Waste Electrical Electronic Equipment* (WEEE) e define-os como “equipamentos obsoletos que dependem de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos para funcionar adequadamente” (EUROPEAN PARLIAMENT, 2003; e JIRANG e CUI, 2011, *apud* TANSKANEN, 2013, p.1001, nossa tradução). Alternativamente, Widmer *et al.* (2005, p.438, nossa tradução) reconhece que o e-resíduo “é um termo genérico abrangendo várias formas de equipamentos elétricos e eletrônicos que deixaram de ter qualquer valor para seus proprietários”. No Brasil, a Lei do Estado de São Paulo nº. 13.576, de 6 de julho de 2009, declara que os e-resíduos são “os aparelhos eletrodomésticos e os equipamentos e componentes eletroeletrônicos de uso doméstico, industrial, comercial ou no setor de serviços que estejam em desuso e sujeitos à disposição final”, tais como computadores, televisores, entre outros (BRASIL, 2009).

A definição paulista deixa claro que os e-resíduos têm uma grande abrangência em sua atuação na sociedade. O Parlamento Europeu complementa essa afirmação por destacar a abrangência na origem dos e-resíduos, pois os eletroeletrônicos são “equipamentos cujo adequado funcionamento depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos. Assim

¹ Nesta monografia, a definição dada para “consumidor” será “uma pessoa física ou jurídica que adquire mercadorias ou serviços para uso próprio ou comercial”. Logo, por essa definição, os resíduos gerados pós-consumo não são apenas domésticos, mas podem ser originários de atividades empresariais e/ou industriais.

² Os *hardwares* são todos equipamentos em sua forma física que podem conter eletroeletrônicos, desde automóveis até computadores.

³ Existem várias denominações e siglas referentes aos resíduos eletroeletrônicos, nesta monografia será utilizado primariamente “e-resíduos”.

⁴ A obsolescência programada consiste na decisão, tomada pelo produtor, de limitar a vida útil de um produto, a fim de incentivar o consumidor a comprar a versão mais recente.

como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos” (EUROPEAN PARLIAMENT, 2003). Logo, os e-resíduos podem se originar não apenas de eletrodomésticos, mas também todo tipo de aparato equipado para receber uma corrente elétrica, como pilhas e baterias, veículos, computadores e periféricos, robôs industriais, televisões, equipamentos de uso médico, fiações, telefones fixos e celulares, equipamentos de academia, relógios, lâmpadas, ferramentas elétricas, etc.

Os e-resíduos são uma forma de poluição⁵. Logo, é necessário mitigar impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável, procurando, conforme preconizado pelo “Relatório Brundtland”, satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de gerações futuras de atingirem o mesmo bem-estar. Portanto, é necessário estimular o uso sustentável de recursos naturais, assim como preservar a biota e seu habitat (MUELLER, 2007). A dimensão econômica da sustentabilidade é um conceito que fixa restrições ao sistema econômico. O sistema econômico não é um sistema fechado, pois está inserido no meio ambiente, que lhe fornece recursos naturais (renováveis e não renováveis) e recebe seus resíduos. (MUELLER, 2007). A sustentabilidade econômica busca inserir a questão ambiental nas responsabilidades dos agentes econômicos, estimulando a otimização do uso de recursos naturais e da busca por alternativas sustentáveis. Já no que tange a dimensão social, um dos grandes papéis da sociedade está na sua conscientização ambiental e na sua exigência a agentes econômicos a adotarem meios de produção mais sustentáveis.

Muitos tratados multilaterais têm sido firmados nas últimas décadas por inúmeros países do mundo, incluindo o Brasil. Dentre esses acordos está a Convenção da Basileia sobre Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito⁶ que trata especificamente de resíduos perigosos, uma categoria de resíduos sólidos que inclui os e-resíduos. Desta forma, o endurecimento de legislações nacionais ocorreu principalmente em países desenvolvidos. Por consequência, devido aos altos custos de disposição final e tratamento, os e-resíduos são muitas vezes exportados ilegalmente, em quantidades imensas, para países em desenvolvimento, o denominado “fluxo oculto” (GREENPEACE, 2009). É de grande importância destacar que os e-resíduos estão intrinsecamente relacionados a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento

⁵ Para Mueller (2007, p.110-111), a poluição é a “denominação genérica dos fluxos de resíduos, de rejeitos materiais despejados pelos processos econômicos no meio ambiente”, e “envolve fenômenos complexos, muitos ainda não totalmente compreendidos até mesmo pela ciência”

⁶ A Convenção da Basileia (assinada em 1989, e com vigência em 1992), estabelece mecanismos de fiscalização e controle desses movimentos. Ela procura inibir o tráfico ilegal e prevê a intensificação da cooperação internacional para a gestão ambientalmente adequada desses resíduos (BRASIL, 1993).

Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), pois sua gestão adequada preserva a saúde ambiental⁷, e seus reuso e reciclagem ajudam a estimular o ciclo econômico.

Como mencionado, os e-resíduos são tidos como resíduos perigosos por conterem substâncias perigosas, como, por exemplo, o chumbo e o mercúrio. Por meio de reações químicas na natureza, podem mudar a sua forma e prejudicar a saúde ambiental. De acordo com Robinson (2009, p.184, nossa tradução), os “e-resíduos são química e fisicamente distintos de outras formas de resíduos municipais ou industriais” e “contêm materiais valiosos e perigosos que exigem métodos especiais de manuseio e de reciclagem para evitar contaminação ambiental e efeitos prejudiciais para a saúde humana”. Pelo alto risco à saúde ambiental, o tratamento e a disposição final adequada de componentes de e-resíduos deve seguir parâmetros comprovados cientificamente e determinados por normas regulatórias.

Os eletroeletrônicos necessitam de matéria prima para serem desenvolvidos. Esta geralmente é extraída de material virgem pela mineração, uma atividade muito prejudicial ao meio ambiente. Logo, deve-se considerar alternativas mais sustentáveis que aliviem a pressão sobre os recursos naturais, como a reciclagem⁸. Efetuada corretamente, a reciclagem de metais coletados em resíduos eletrônicos “contribuem para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, que é um bem público puro⁹” (SAPHORES, OGUNSEITAN e SHAPIRO, 2012, p.50, nossa tradução). A reciclagem desses metais atenua a pressão sobre a matéria virgem e evita poluição no meio ambiente. “Por exemplo, a reciclagem de 1 kg de alumínio evita a geração de 2 kg de CO₂, 11 g de SO₂ e 1,3 kg de resíduo de bauxita” (PNUMA, 2009 *apud* SAPHORES, OGUNSEITAN e SHAPIRO, 2012, p.50, nossa tradução). Já o *Basel Action Network* (2002, *apud* KANG e SCHOENUNG, 2006) afirma que 1 tonelada de resíduos eletrônicos pode conter mais ouro do que 17 toneladas de minério contendo ouro.

A reciclagem de e-resíduos pode ser rentável desde que seus custos sejam menores que a sua receita. Se comprovado, existirá uma oportunidade de desenvolvimento de uma indústria de reciclagem nacional. Visto isso, foram observados dois estudos empíricos, um teórico e um prático. O primeiro buscou realizar um fluxo de caixa teórico que uma usina de reciclagem de e-resíduos deveria considerar. Já o segundo, através de uma ferramenta de cálculo, estimou a

⁷ A saúde ambiental engloba não apenas a qualidade do meio ambiente, mas também a saúde pública.

⁸ A reciclagem é a “transformação dos resíduos em novos produtos ou em matéria-prima” (BRASIL, 2014).

⁹ Um bem público puro é um bem que não é excluível e não-rival já que todos consomem o mesmo valor.

receita, os custos principais e a lucratividade dessas instalações, levando em conta padrões e normas ambientais. Foi possível, assim, determinar a viabilidade dessas operações.

Por conterem materiais potencialmente poluentes e, ao mesmo tempo, valiosos, os e-resíduos estimulam a reciclagem informal em países em desenvolvimento, usualmente despreparados para a tarefa. Esse tipo de reciclagem é precária e deve ser evitada na formação de uma indústria de reciclagem dedicada a resíduos eletrônicos. Por exemplo, na China, a indústria de reciclagem formal enfrenta muitas dificuldades, pois recicladores informais adquirem esses resíduos com mais facilidade e desenvoltura. Conforme Sthiannopkao e Wong (2012, p.1149, nossa tradução), “reciclá-los exige mão de obra capacitada e tecnologia de ponta”. Porém, são recursos deficitários em diversas realidades nacionais, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Logo, a reciclagem desses resíduos tem deixado a desejar em muitos países do mundo (YANG, LU e XU, 2008).

Nesta monografia será proposta uma metodologia que integrará a criação de um Sistema de Depósito-Reembolso (SDR) agregado a um sistema nacional de coleta, registro e rastreamento que, com base nos dados recolhidos, poderá revelar o fluxo verdadeiro de e-resíduos. Assim, espera-se, com o passar do tempo, causar um decréscimo nesse fluxo. Para este sistema ser bem-sucedido, a participação do consumidor no processo é essencial, pois assegura um pilar importante na reciclagem. Se o agente econômico não tiver acesso ao resíduo, o processamento não ocorrerá. Saphores, Ogunseitan e Shapiro (2011, p.61, nossa tradução) frisam que “nenhuma característica socioeconômica clara define pessoas com experiência em reciclagem de resíduos eletrônicos” e declaram que “saber que os e-resíduos contêm materiais tóxicos importa, e também a conveniência de reciclar”.

Ao observar a experiência legislativa internacional, nomeadamente a da União Europeia (UE), constatou-se o princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor (REP). A REP atua de maneira semelhante ao conceito de Usuário-Pagador¹⁰. A REP estabelece o agente econômico como responsável pela produção de bens, devendo ele também ser responsável por sua disposição final após a vida útil de seu produto. Desta maneira, podemos concluir que é “uma abordagem de política ambiental na qual a responsabilidade de um produtor por um produto é estendida ao estágio pós-consumo do ciclo de vida de um produto” (OCDE, 2001 *apud* LIFSET, ATASU e TOJO, 2013, p.162, nossa tradução). A legislação ambiental brasileira trouxe alguns instrumentos chave e princípios para promover seu desempenho, como a

¹⁰ Nessa ideia, o agente econômico tem o dever, se for responsável, de reparar um dano ambiental.

logística reversa¹¹ e a responsabilidade compartilhada¹². Porém, deve-se ressaltar que a legislação ambiental atual é em muitos pontos incompleta, o que gera ineficiência e agrava sua eficácia.

¹¹ A logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que tem por objetivo “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” (BRASIL, 2010).

¹² A responsabilidade compartilhada é interpretada como “uma sucessão de obrigações encadeadas e individualizadas, impõe tanto ao setor empresarial quanto ao consumidor e também ao Poder Público uma série de atribuições necessárias para que possam proceder à destinação ambientalmente adequada do lixo” (SANTOS, 2015, p.250).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Diante de um problema com crescimento acelerado representado pelos resíduos eletrônicos, é imperativo expor os perigos e riscos para que tomadores de decisão atuem em favor da sociedade e sancionem Políticas Públicas de caráter mitigador. Para realizar a revisão bibliográfica foi feita uma extensa pesquisa baseada em artigos científicos e teses nacionais e internacionais encontrados nos bancos de dados disponíveis no Portal Capes e em banco de dados pertencentes às principais instituições acadêmicas brasileiras e estrangeiras. Livros referentes aos assuntos abordados também foram consultados, assim como todo o material relevante obtido no decorrer do curso de graduação em Ciências Ambientais na Universidade de Brasília (UnB).

Esta monografia expandiu a pesquisa entregue ao Programa de Iniciação Científica (ProIC) da Universidade de Brasília, produzida pelo autor, intitulada “Eficácia, Eficiência e Sustentabilidade no Gerenciamento de Resíduos Eletrônicos: acordos e experiências internacionais e seus reflexos na realidade do Brasil”. A monografia buscou expandir o tema abundante de resíduos eletrônicos com informações mais aprofundadas. Os objetivos desta monografia foram de: evidenciar a problemática do alto e constante crescimento de resíduos eletrônicos; destacar a relação entre os resíduos eletrônicos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas; acentuar os riscos e perigos oriundos do descarte e tratamento inadequado; exibir métodos de destino final apropriados; promover a rentabilidade da reciclagem como alternativa à mineração de material virgem; propor um sistema de gestão nacional integrado com centros de coletas, utilizando instrumentos econômicos, para rastrear o fluxo de e-resíduos; indicar aprimoramentos à legislação brasileira referente ao tema.

As informações empíricas sobre comércio, produção, gestão e fluxo dos resíduos eletrônicos foram obtidas também em fontes secundárias tais como artigos científicos, relatórios técnicos e teses de pós-graduação. Informações referentes à saúde ambiental, como toxicidade, contaminação do solo e da água, poluição e especiação química, e características desses resíduos foram expostas. Diversos governos, organizações não governamentais e instituições multilaterais têm divulgado dados estimados sobre o nível de produção e de importação e exportação de resíduos eletrônicos, assim como sobre experiências internacionais sobre seu gerenciamento. Nesses bancos de dados foram obtidos elementos para a parte quantitativa desta monografia.

Notadamente, foi realizada uma investigação bibliográfica sobre o tema de resíduos eletrônicos, relacionando-os com o desenvolvimento sustentável. Foi necessário identificar os principais impactos ambientais consequentes da gestão inadequada, que causam aflições socioeconômicas e ambientais. O valor de materiais e componentes que compõem os resíduos eletrônicos, perigos e riscos, Políticas Públicas, leis e projetos de lei relevantes também foram consultados. O conteúdo foi organizado com o intuito de introduzir conceitos econômicos, químicos e ambientais relevantes, para que estes possam ser utilizados em análise posterior. Por fim, buscou-se propor alternativas sustentáveis para o problema apresentado.

1. RESÍDUOS ELETRÔNICOS – UM RISCO INSUSTENTÁVEL

1.1. O ciclo de vida de eletroeletrônicos e o crescimento acelerado de e-resíduos

Os eletroeletrônicos surgiram na transição dos telégrafos para os aparelhos de rádio que, no início do século XX, revolucionaram as formas de comunicação. Eletroeletrônicos, como o radar, o computador e outros meios de comunicação, foram criados durante a Segunda Guerra Mundial, voltados para o uso militar, empresarial e governamental. Em meados da década de 70, a produção em larga escala de eletroeletrônicos iniciou-se e, gerou um grande fluxo de e-resíduos que agora também seria influenciada pelo consumo doméstico.

Os eletroeletrônicos possibilitaram uma séria mudança nos hábitos, produção e qualidade de vida de seus proprietários e, proporcionaram grandes benefícios ao dia-a-dia das pessoas. Entretanto, em anos mais recentes, a evolução tecnológica foi muito veloz e, conjuntamente com a “cultura do descarte”, causou um acúmulo de e-resíduos preocupante. De acordo com o relatório de 2017 da iniciativa *Solving the e-waste problem* (StEP), da Universidade das Nações Unidas (UNU), os efeitos da globalização, do crescimento econômico e do desenvolvimento social proporcionaram uma renda maior disponível, uma urbanização acelerada e a industrialização de países em desenvolvimento que culminaram no crescimento acelerado da aquisição de eletroeletrônicos por consumidores e, conseqüentemente, na geração de e-resíduos (BALDÉ *et al.*, 2017).

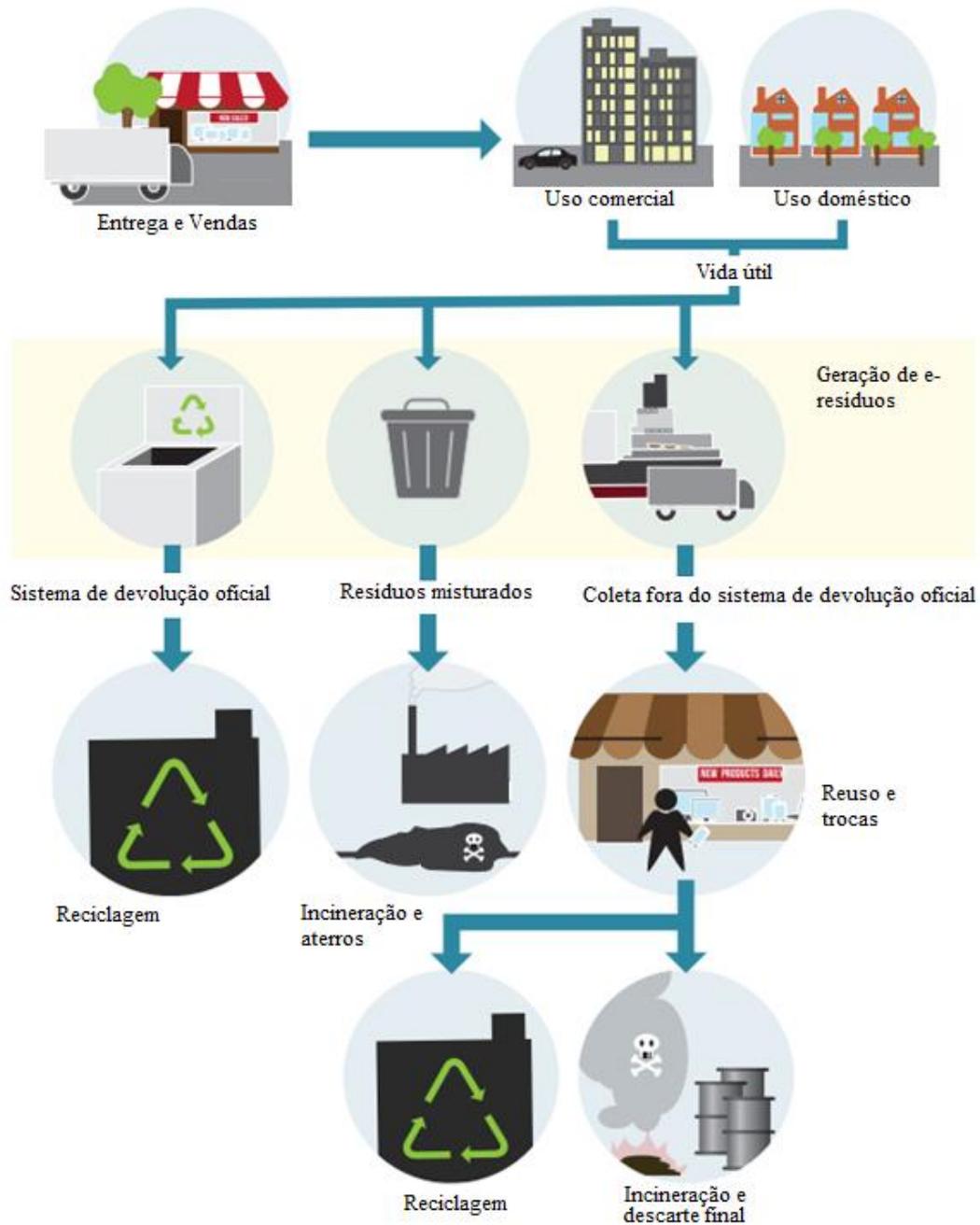
De acordo com Baldé *et al.* (2017), o consumo de eletroeletrônicos apresentou um crescimento anual acelerado no período de 2000 a 2016, com destaque para as economias de países emergentes, cujo crescimento anual do poder de compra de seus consumidores variou entre 13% a 23%. Zeng *et al.* (2016) atribuíram o crescimento do mercado de eletroeletrônicos à alta competitividade de todos seus agentes econômicos, alta acessibilidade pelo consumidor, assim como a queda constante dos custos de aquisição. Estes fatores indicam que mais consumidores têm acesso a esses equipamentos, que acabarão sendo descartados no fim de sua vida útil. Baldé *et al.* (2017) indicam que o crescimento da geração de resíduos eletroeletrônicos não deve ser apenas atribuído ao aumento do consumo desses equipamentos. Também contribuem para esse fenômeno a posse de múltiplos eletroeletrônicos, a tendência de eletrificar equipamentos não elétricos, o crescimento de servidores dedicados a serviços em nuvem e ciclos de consumo e substituição mais curtos.

De acordo com Mostafa e Sarhan (2018), os consumidores usualmente apresentaram um comportamento de estocagem. Na maioria dos casos, esta estocagem pode variar de um a dois anos dependendo do tipo de consumidor. O comportamento do consumidor referente ao descarte de e-resíduos varia dependendo do tipo. O consumidor doméstico prefere revender seus equipamentos obsoletos ou encaminhá-los à coleta seletiva. Os agentes econômicos privados têm comportamentos diferentes que dependem da escala de seu negócio. Empresas grandes efetuam leilões de equipamentos periodicamente, e geralmente contratam recicladores oficiais que possam fornecer certificados a serem apresentados a autoridades governamentais. Já empresas de pequeno e médio porte fazem o descarte pela coleta seletiva ou agregado a outros tipos de resíduos, além de também realizarem leilões. Já o setor público contrata recicladores oficiais e realiza leilões públicos.

Nas últimas décadas, os e-resíduos eram tidos como uma categoria irrisória dos resíduos sólidos, já que outros dilemas ambientais estavam em destaque. Os avanços tecnológicos rápidos e consecutivos implicam, na criação de novos aparelhos para substituir versões anteriores, mesmo não tendo estas atingido o fim de sua vida útil. Além disso, com a assistência da obsolescência programada, os avanços tecnológicos tornaram-se, mais recentemente, corresponsáveis por esse aumento exponencial dos e-resíduos, ao reduzirem o ciclo de vida dos eletroeletrônicos. Em vista do que precede, a vida útil vem diminuindo, resultando no aumento e na aceleração do fluxo de e-resíduos, levando a seu reconhecimento como categoria de resíduo sólido única e de grande importância (TOWNSEND, 2011).

A Figura 1 ilustra o ciclo de vida de eletroeletrônicos, de sua entrada no ciclo econômico até sua disposição final. Em primeira instância, temos a chegada do produto eletroeletrônico ao local de venda e subsequentemente sua compra pelo consumidor. Conforme sua utilização, o produto chega ao fim de sua vida útil (ou torna-se obsoleto) e é descartado pelo proprietário. A Figura 1 representa uma idealização desse ciclo que pode vir a ocorrer em países com legislações fortes o bastante para garantir o seu cumprimento, e determinar funções dos agentes econômicos envolvidos. Após o descarte, o produto torna-se oficialmente um e-resíduo e tem três destinos principais: 1) o envio a um sistema de logística reversa que pode promover a reciclagem e o reaproveitamento de seus componentes; 2) a sua inclusão a uma mistura de resíduos sólidos, que podem ser incinerados ou enviados a lixões e/ou aterros controlados ou sanitários; e 3) reutilização e reinserção no ciclo econômico como produtos usados, que, subsequentemente podem ser enviados para a reciclagem ou a seu descarte final.

Figura 1. Ciclo de vida de eletroeletrônicos até e-resíduos e os cenários de gestão de e-resíduos mais comuns



Fonte: adaptado de (BALDÉ *et al*, 2017).

Um exemplo ocorrido na última década, foi a mudança do sinal analógico para o digital. Esta mudança acarretou o descarte desnecessário de muitos televisores, pois muitos consumidores não optaram por adquirir conversores de sinal analógico-digital ou adaptadores e, sim, pela aquisição de aparelhos novos. O descarte de televisões de tubo (CRT) gerou uma grande quantidade de e-resíduos, com impactos ambientais notáveis. No caso do Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e o Programa “Seja

Digital” preveem completar o desligamento do sinal analógico até o dia 31 de dezembro de 2023 (BRASIL, 2017). Assim como no resto do mundo, apesar de estarem sendo disponibilizadas alternativas ao consumidor, este evento causará um grande fluxo de e-resíduos pela obsolescência de televisores e o estímulo ao consumidor a obter modelos mais recentes.

O Programa “Seja Digital” foi criado pela Entidade Administradora do Processo de Redistribuição e Digitalização de Canais de TV e RTV (EAD) e elaborado por empresas de telecomunicações. É, portanto, uma iniciativa privada estimulada pelo MCTIC. Esse programa proporciona uma interação amigável com o consumidor e o incentiva a participar ativamente do processo de logística reversa. Por exemplo, indica a localização de centros de coleta de e-resíduos próximos em seu município; responde a dúvidas comuns referentes à atuação do consumidor; e também demonstra o processo de reciclagem ou aproveitamento dos materiais assim obtidos (SEJA DIGITAL, 2016). Outra iniciativa, desta vez de empresas de telefonia móvel (como Claro, Nextel, TIM, Vivo e Oi), é o “Programa de Logística Reversa de Celulares”, coordenado pelo Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia e de Serviço Móvel Celular e Pessoal. Este programa tem o objetivo de “desenvolver procedimentos de disponibilização de postos de coleta, armazenamento, triagem e envio para reciclagem de aparelhos celulares” (SANTOS, 2015).

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2014 *apud* PERKINS *et al.* 2014), os e-resíduos são a fonte de resíduos sólidos com crescimento mais elevado. Ademais, segundo Perkins *et al.* (2014) “o relatório da Organização das Nações Unidas, de 2012, a previsão para 2017 para o descarte de e-resíduos aumentará em mais 33%, isto é, de quase 50 para 65,4 milhões de toneladas por ano” (PERKINS *et al.* 2014, p. 287, nossa tradução). Segundo Mostafa e Sarhan (2018), as empresas privadas representam a maior contribuição de e-resíduos ($\pm 58\%$), seguidas pelo consumidor doméstico ($\pm 23\%$) e, por fim, o setor público ($\pm 19\%$).

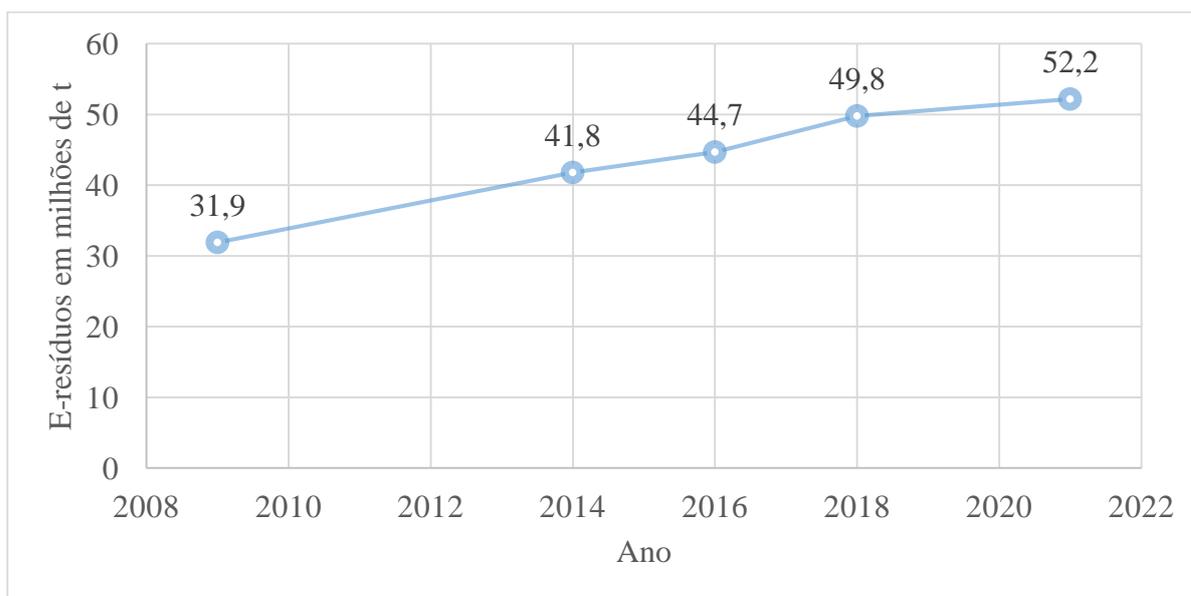
Não obstante, é desconhecida a quantidade real gerada de e-resíduos anualmente, já que inexistente uma única fonte oficial, indicadores específicos e, há um “fluxo oculto¹³” no mundo. Todos os dados existentes são oriundos de estimativas feitas por agências reguladoras, empresas do setor e organizações não governamentais (DE OLIVEIRA, 2012). De acordo com Baldé *et al.* (2017), em 2016, as parcelas percentuais aproximadas para as 44,7 milhões de toneladas de

¹³ O fluxo oculto de e-resíduos é o fluxo geralmente ilegal, que não é registrado por nenhum dado oficial, logo há apenas estimativas sobre ele.

e-resíduos gerados nesse ano para cada continente foram: Américas (25,3%), África (5%), Ásia (40,7%), Europa (27,5%) e Oceania (1,6%). Há de se destacar que, no caso dos países desenvolvidos, apesar de representarem uma parcela menor da população mundial, seu consumo *per capita* representa de 10 a mais de 25 kg de e-resíduos ao ano.

O Gráfico 1 mostra a geração mundial anual de resíduos eletrônicos em milhões de toneladas (t), e o Gráfico 2, a geração global de resíduos eletrônicos *per capita* em quilogramas (kg). Após visualizar esses gráficos, verifica-se a existência de uma tendência crescente à geração de e-resíduos em todo o mundo. Há uma previsão de aumento de cerca de 56%, de 2009 em relação à previsão de 2018, na quantidade de e-resíduos e um aumento de 1,9 kg *per capita*. Os dados estimados são preocupantes, já que não representam o valor real pela falta de dados concretos.

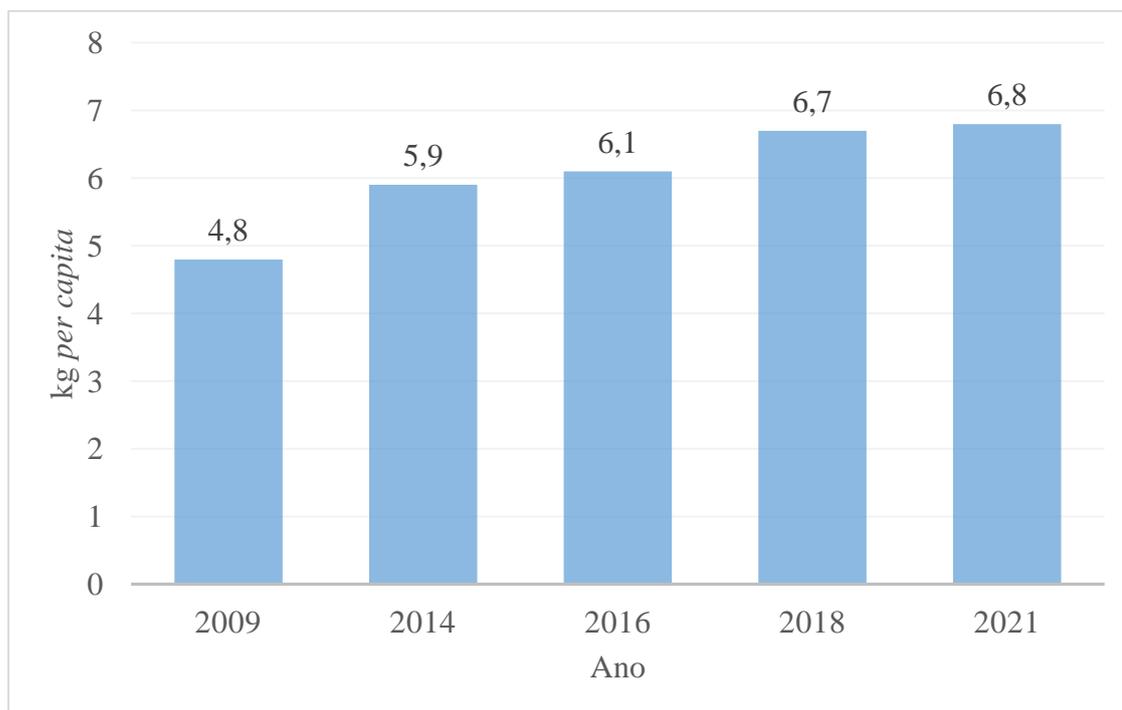
Gráfico 1. Geração mundial anual de resíduos eletrônicos¹⁴ em milhões de toneladas (t)



Fonte: adaptado de (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015; e BALDÉ *et al*, 2017).

¹⁴ Os dados de 2018 e 2021 são previsões.

Gráfico 2. Geração global de resíduos eletrônicos¹⁵, *per capita*, em quilogramas (kg)



Fonte: adaptado de (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015; e BALDÉ *et al*, 2017).

Ao observar a Tabela 1, percebe-se que foram geradas, no Brasil, em 2009, 1,03 milhão de toneladas; em 2014, 1,412 milhão de toneladas; e, na previsão para 2018, 1,711 milhão de toneladas de e-resíduos. Estes dados representam, respectivamente, 3,2%, 3,4% e 3,4% da estimativa total mundial. Vale notar que esse volume pode estar subestimado, já que dados sobre importações desses resíduos são obscuros. Apesar de a parcela brasileira não alterar muito no tempo, a tendência global é do crescimento acelerado em peso e quantidade de e-resíduos gerados (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015).

Tabela 1. E-resíduos gerados no Brasil e no mundo¹⁶, por ano, em milhões de toneladas (t)

Ano	Global	Brasil	
2009	31,9	1,03	3,2%
2014	41,8	1,412	3,4%
2018	49,8	1,711	3,4%

Fonte: adaptado de (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015).

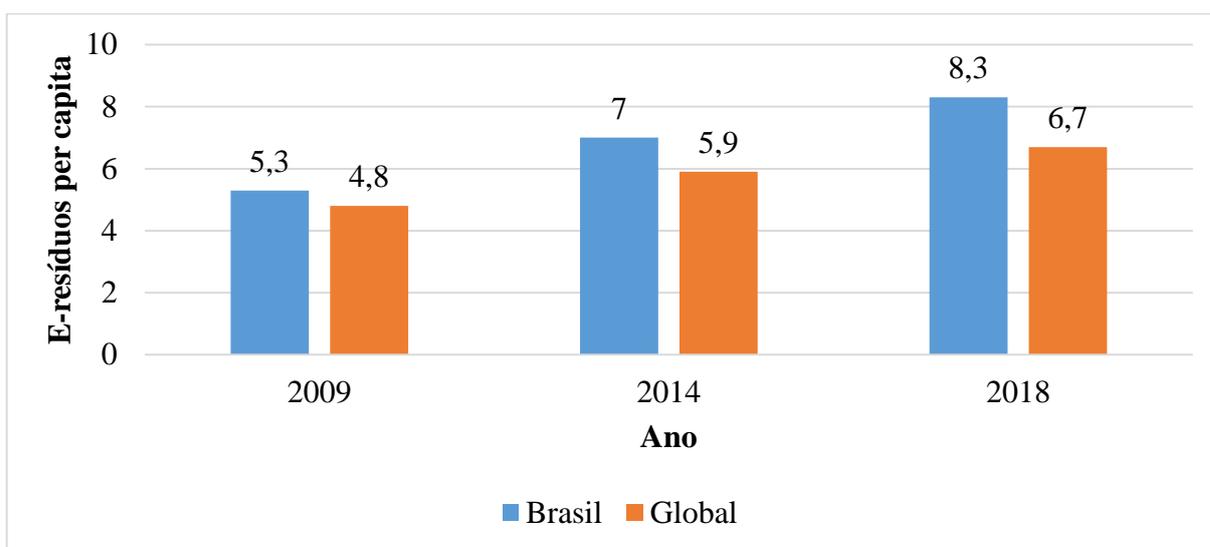
Em termos quantitativos, o Brasil é o segundo maior produtor de resíduos eletrônicos nas Américas, com um fluxo médio de 1,5 milhão de toneladas ao ano, perdendo apenas para os Estados Unidos, que produzem cerca de 6,3 milhões de toneladas ao ano. Apesar de não

¹⁵ Os dados de 2018 e 2021 são previsões.

¹⁶ Os valores para 2018 são previsões.

ser o maior gerador de e-resíduos *per capita* da América Latina (sendo os maiores geradores o Chile e o Uruguai), o Brasil apresenta níveis acima da média *per capita* global nos três anos indicados no Gráfico 3 (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015). A diferença entre o Brasil e o mundo indica que a fatia brasileira na problemática de resíduos eletrônicos está se desviando da média global¹⁷, fazendo-se então que o Brasil torne-se um contribuinte com maior influência no decorrer dos anos.

Gráfico 3. E-resíduos gerados, *per capita*, no Brasil e no mundo¹⁸, em quilogramas (kg).



Fonte: adaptado de (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015; e BALDÉ *et al*, 2017).

O maior desafio enfrentado pelo Brasil – e por outros países da América Latina – acerca de e-resíduos não é, porém, seu crescente fluxo de resíduos eletrônicos, mas sim a necessidade de se acelerar o processo de aprimoramento na legislação ambiental. Algumas sugestões para mitigar esse problema, assim como aperfeiçoamentos da legislação ambiental atual, serão descritas nos Capítulos 3 e 4 respectivamente. Outra necessidade muito importante na América Latina é a aplicação de mais pesquisas específicas sobre os e-resíduos, já que as últimas ocorreram há muitos anos (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015).

¹⁷ Nota-se que a média global deve ser analisada com cautela, já que envolve países com baixa e alta geração de e-resíduos *per capita*

¹⁸ Os valores para 2018 são previsões

1.2. O Brasil e seus compromissos internacionais com resíduos perigosos e a sustentabilidade

O Princípio 24 da Declaração de Estocolmo retrata a multilateralidade dos tratados ambientais internacionais e os compromissos assumidos pelos países que a eles aderem:

“Todos os países, grandes e pequenos, devem ocupar-se com espírito e cooperação e em pé de igualdade das questões internacionais relativas à proteção e melhoramento do meio ambiente. É indispensável cooperar para controlar, evitar, reduzir e eliminar eficazmente os efeitos prejudiciais que as atividades que se realizem em qualquer esfera, possam ter para o meio ambiente, mediante acordos multilaterais ou bilaterais, ou por outros meios apropriados, respeitados a soberania e os interesses de todos os estados”

(ONU, 1972)

Por coincidência, o movimento ambientalista nasceu durante o mesmo período em que os eletroeletrônicos se disseminaram. O livro escrito por Rachel Carson, Primavera Silenciosa, publicado em 1962, foi um momento marcante para a emergência desse movimento. Em sua obra, a autora relata os impactos de resíduos perigosos sobre o meio ambiente, e, especificamente, trata do impacto do DDT (*diclorodifeniltricloroetano*), o primeiro pesticida moderno, sobre a reprodução de pássaros, causando um declínio preocupante em suas populações.

Em sua obra, Carson expõe que o DDT pode também provocar sérias adversidades à saúde humana ao longo prazo, elevando o risco¹⁹ de doenças crônicas que variam entre cânceres a problemas neurológicos, assim como a contaminação por poluentes orgânicos persistentes (POPs). No meio ambiente, ocorre contaminação do solo, da atmosfera, de corpos hídricos, e da biota. Vale notar que o DDT é um poluente persistente²⁰ que pode sofrer bioacumulação²¹ e biomagnificação²² na cadeia trófica e prejudicar, ao longo prazo, a saúde ambiental. Esse livro contribuiu a trazer aos holofotes a questão ambiental e, *a posteriori*, banir a fabricação de DDT

¹⁹ O risco nada mais é senão a interação entre o perigo (a capacidade de um agente causar um efeito adverso) e a exposição (a probabilidade do efeito ocorrer).

²⁰ Substâncias persistentes são aquelas que bioacumulam-se e têm presença estável no meio ambiente.

²¹ A bioacumulação é a aglomeração de substâncias, com características tóxicas, na biota.

²² A biomagnificação é a acumulação sucessiva de substâncias tóxicas na cadeia trófica.

em inúmeros países e, por consequência, seu uso a ser controlado pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes²³ (SOLLA, 2011).

Independentemente de a questão ambiental ter sido propulsionada no cenário internacional, os países que se afiliaram aos acordos multilaterais sobre meio ambiente mostram-se tardios em incorporá-los em sua legislação nacional, mesmo quando buscam defender seus interesses nacionais. Tendo como exemplo, o Brasil ratificou o texto da Convenção de Estocolmo por meio do Decreto Legislativo nº. 204, de 7 de maio de 2004, promulgado pelo Decreto nº. 5.472, de 20 de junho de 2005 (BRASIL, 2004; e BRASIL, 2005). Sem mencionar que apenas proibiu a importação, a exportação, a fabricação, a comercialização, a manutenção em estoque, e o uso do DDT, assim como outros POPs, com a publicação da Lei nº. 11.936, de 14 de maio de 2009 (BRASIL, 2009). A mesma lei também faz uma exceção em seu Art. 4º.: “O Poder Executivo realizará, no prazo de 2 (dois) anos, a contar da data da publicação desta Lei, estudo de avaliação do impacto ambiental e sanitário causado pelo uso de DDT para controle de vetores de doenças humanas, na Amazônia" (BRASIL, 2009).

Assim como o DDT, os resíduos eletrônicos são considerados resíduos perigosos. Pela gestão e disposição final inapropriada, os componentes de e-resíduos podem ser submetidos às forças naturais, e ao se difundir no meio ambiente, podem causar exposição a seres vivos, e provocar efeitos crônicos e agudos²⁴ aos mesmos. Os métodos adequados de gestão e disposição final de e-resíduos, assim como seus efeitos na saúde ambiental serão abordados no Capítulo 2.

Outros tratados também promoveram o endurecimento da legislação ambiental (Anexo I), especialmente em países desenvolvidos e, conjuntamente com o aumento da geração de e-resíduos e uma rejeição elevada da criação de depósitos e de centros de reciclagem locais culminaram na elevação dos custos da gestão ambientalmente apropriada. Logo, a “solução” da indústria e de seus parceiros comerciais foi externalizar os custos para países com legislações ambientais lenientes. Essa externalização levou a alguns incidentes internacionais, sendo um

²³ A Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes foi um tratado assinado em 2001 e entrou em vigor em 2004. Esta convenção categoriza poluentes orgânicos persistentes e determina que as partes tomem providências para proibi-los em suas legislações, assim como evitar o surgimento de novos poluentes semelhantes (ONU, 1972).

²⁴ Existem dois graus de toxicidade, o efeito agudo que é causado por concentrações elevadas de substâncias, se manifesta em períodos curtos e pode levar à morte; e o efeito crônico que provoca sintomas mais discretos e apenas é detectado em longos períodos de exposição. (BAIRD e CANN, 2011).

dos mais notáveis o do cargueiro liberiano “*Khian Sea*”²⁵. Nesse contexto, foi criada a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito²⁶ como instrumento jurídico a orientar as Partes em situações dessa natureza (SOLLA, 2011). Muitos dos princípios adotados pela Convenção foram exigências de países em desenvolvimento, com finalidade de evitar que países desenvolvidos enviassem seus resíduos perigosos, muitos dos quais na forma de componentes de resíduos eletrônicos. (BRASIL, 1993).

No entanto, de acordo com Manomaivibool (2009, *apud* STHIANNOPKAO e WONG, 2012) e Cobbing, 2008 (*apud* ROBINSON, 2009), por meio de brechas no texto da Convenção e legislações aprovadas em países em desenvolvimento, várias vezes os e-resíduos são exportados ilegalmente, por agentes econômicos, sob o pretexto de serem “doações caridosas” ou por ainda terem vida útil, quando na maioria das vezes se tratam de resíduos com potencial de risco ambiental alto e sem utilidade. E ao fim são depositados em aterro, prejudicando assim, a qualidade ambiental. Desta maneira, segundo Sthiannopkao e Wong (2012), é prática bastante comum em países desenvolvidos exportar, de maneira indireta, seus e-resíduos para países em desenvolvimento, com destaque para Índia, Paquistão, Nigéria, Gana e China. É o apelidado “fluxo oculto”.

O “fluxo oculto” se origina principalmente em países desenvolvidos: “25% [...] dos resíduos originais produzidos na União Europeia são coletados e reciclados em fábricas de processamento formal, onde os trabalhadores estão protegidos por padrões modernos”, mas por outro lado, os restantes “75% são adicionados ao “fluxo oculto” de resíduos eletrônicos não registrados declarados” (GAGLIARDI e MIRABILE, *apud* PERKINS *et al.*, 2014, p.287, nossa tradução). De acordo com Ongondo, Williams e Cherrett (2011 *apud* PERKINS *et al.* 2014, p.287, nossa tradução), “o destino final de cerca de 70% de e-resíduos produzidos, ou, não é contabilizado, ou, não é conhecido”.

Na União Europeia, “as percentagens oficiais de reciclagem e reutilização são muito elevadas, variando de 60% a 90%, dependendo da categoria de produtos” (EUROSTAT, 2011,

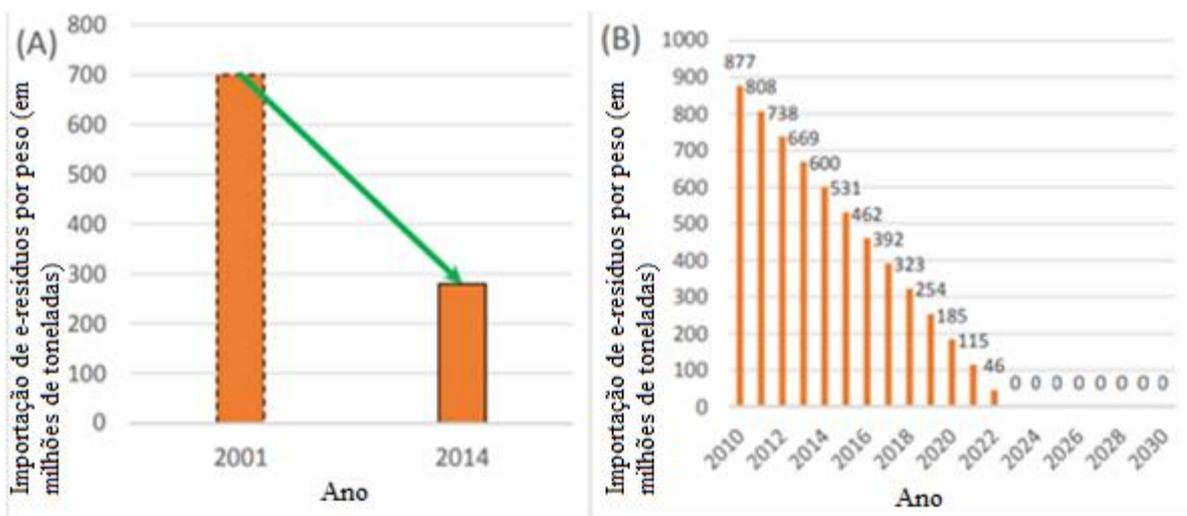
²⁵ O cargueiro “*Khian Sea*” transportou uma carga de cinzas tóxica rejeitada por vários países por 16 meses e, após não conseguir tirar sua carga, finalmente despejou-a no oceano.

²⁶ A Convenção da Basileia adota princípios importantes, como a Responsabilidade Estendida do Produtor, a obrigação das Partes de que os resíduos perigosos tenham uma gestão e eliminação sustentável, e o consentimento prévio e explícito para a importação, exportação e o trânsito de resíduos perigosos (SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION, 2007).

apud SAPHORES, OGUNSEITAN e SHAPIRO, 2012, p.50, nossa tradução). Apesar de grande parte desse volume ser enviada, pelo fluxo oculto, a países em desenvolvimento ao invés de ser destinada à reciclagem formal. No mesmo aspecto, Lundgren (2012, *apud* PERKINS *et al*, 2014, p.287, nossa tradução) cita os dados coletados pela agência ambiental europeia (EEA, do inglês *European Environment Agency*), cuja estimativa é “que até 1,3 milhão de toneladas de e-resíduos descartados são exportados, por ano, da União Europeia para a África e a Ásia”.

Tomando o exemplo da China, através de sua legislação, ela está conseguindo suprimir a importação ilegal de e-resíduos ao ano. Zeng *et al.* (2016) demonstram no Gráfico 4 que as Políticas Públicas adotadas estão proporcionando um papel importante no decréscimo do fluxo ilegal de e-resíduos. Estima-se que, até o ano de 2024, o fluxo oculto de e-resíduos direcionados à China seja neutralizado. Apesar de haver um declínio das importações, mais notavelmente na cidade de Guiyu, a China continua sendo o maior consumidor de eletroeletrônicos e o maior produtor de e-resíduos do planeta, estes que acabam circulando domesticamente (ZENG *et al*, 2016).

Gráfico 4. Quantidade (em milhões de toneladas) de e-resíduos importados pela China. (A) Declínio entre 2001 e 2014 em Guiyu e (B) estimativas de redução entre 2010 e 2030.



Fonte: adaptado de (ZENG *et al*, 2016).

As exportações ilegais de resíduos eletroeletrônicos por países desenvolvidos apresentam razões econômicas, e sua reciclagem e reaproveitamento em países em desenvolvimento incentiva atividades econômicas informais, poluidoras e de alto risco à saúde ambiental. Isso se dá, pois, os “altos custos de mão-de-obra e as regulações ambientais rígidas para disposição final de e-resíduos nos países desenvolvidos incentivam a exportação de

resíduos para países menos desenvolvidos e menos regulamentados” (CHI *et al*, 2011 *apud* PERKINS *et al*, 2014, p.288, nossa tradução).

Além da tangência dos e-resíduos pela Convenção da Basileia, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, que formam a Agenda 2030, também abrangem a questão da sustentabilidade no gerenciamento de e-resíduos. De acordo com a ONU (2015), os ODS constituem lista ambiciosa de objetivos e tarefas que devem ser cumpridos até 2030. Em termos de saúde ambiental e estímulo ao ciclo econômico, os principais ODS sobre a questão dos resíduos eletrônicos são:

- ODS-3 (Saúde e Bem-estar)
- ODS-6 (Água potável e Saneamento)
- ODS-8 (Trabalho decente e crescimento econômico)
- ODS-11 (Cidades e comunidades sustentáveis)
- ODS-12 (Consumo e produção responsáveis)
- ODS-14 (Vida na água)

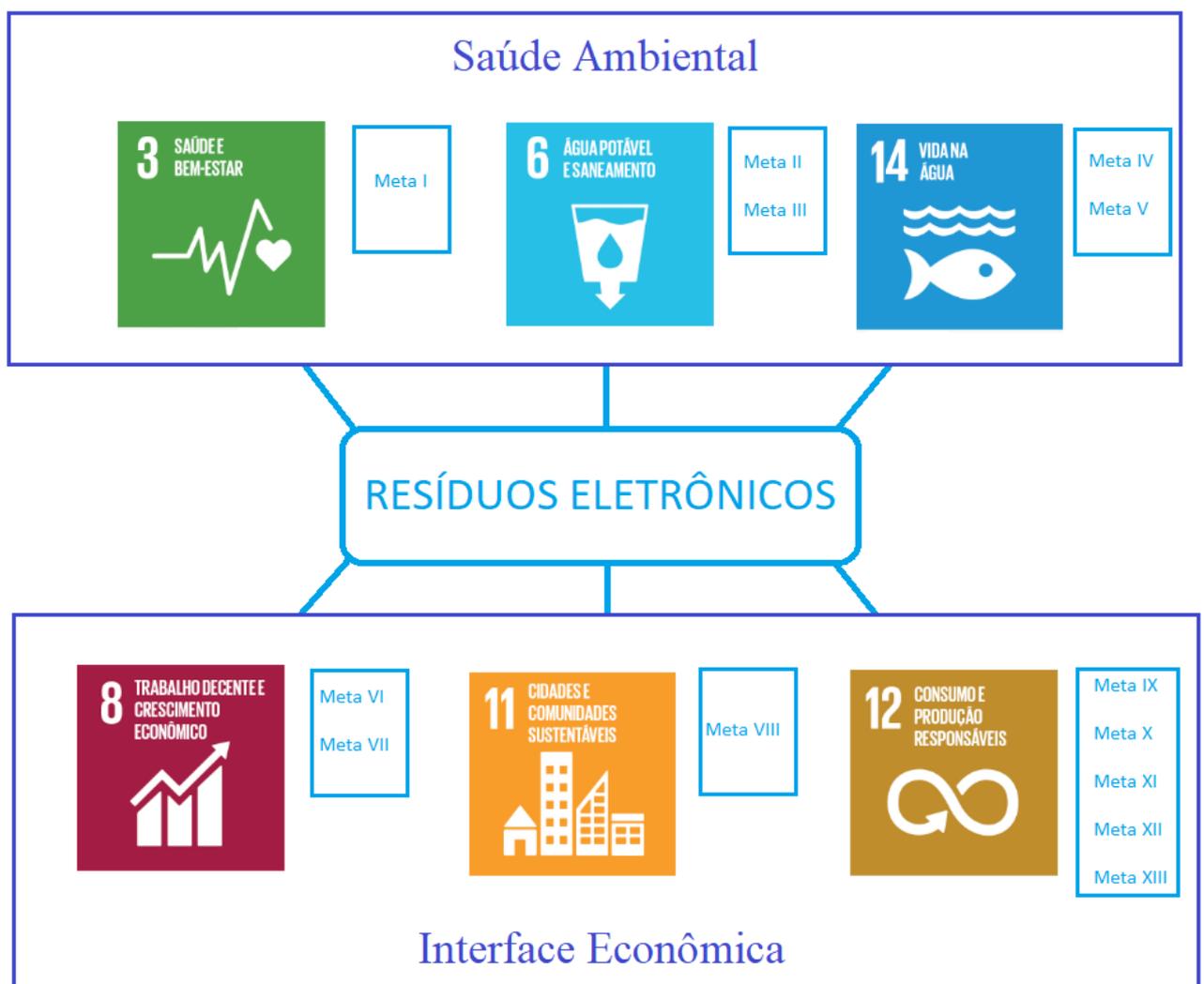
Em termos de saúde ambiental, os ODS 3, 6 e 14 abrangem os e-resíduos e seus impactos potenciais. A meta I (3.9) projeta reduzir até 2030, de maneira substancial, o número de doenças e mortes por substâncias químicas perigosas e a contaminação do meio ambiente por esses produtos químicos. A meta II (6.1) busca atingir, até 2030, acesso universal e equitativo à água potável e segura. A meta III (6.3) ambiciona reduzir a poluição, eliminar o despejo e minimizar a soltura de produtos químicos e outros materiais perigosos, assim como aumentar a reciclagem e reutilização segura. As metas IV (14.1) e V (14.2) visam à proteção do ambiente marinho e à redução da poluição nos rios e oceanos (ONU, 2015).

Na interface econômica, os ODS 8, 11 e 12 são importantes na gestão sustentável de e-resíduos. A meta VI (8.3) idealiza promover Políticas Públicas vinculadas ao desenvolvimento e que apoiem atividades produtivas de criação de emprego, inovação e de incentivo ao crescimento de micro, pequenas e médias empresas. A meta VII (8.8) frisa a promoção de ambientes de trabalho seguros e protegidos para todos os tipos de trabalhadores. A meta VIII (11.6) busca reduzir, até 2030, o impacto ambiental negativo per capita nas cidades, ressaltando a qualidade do ar e gestão de resíduos sólidos. A meta IX (12.2) idealiza consolidar, até 2030, o uso eficiente de recursos naturais e a gestão sustentável. A meta X (12.4) planeja atingir, até 2020, o manejo ambiental apropriado dos produtos químicos e resíduos e reduzir seu despejo no meio ambiente. A meta XI (12.5) objetiva reduzir, até 2030, a geração de resíduos sólidos.

A meta XII (12.6) determina o incentivo às empresas a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seus relatórios; e a meta XIII (12.8) planeja garantir, até 2030, o acesso da população à informação e à conscientização para o desenvolvimento sustentável à população (ONU, 2015).

Diante dessas metas, é possível associar os resíduos eletroeletrônicos a duas interações. Em saúde ambiental: assegurar o bem-estar; garantir acesso à água potável; e saneamento e prezar pela vida na água. No estímulo ao ciclo econômico: garantir o crescimento econômico; o trabalho decente; formular cidades sustentáveis; e incentivar o consumo sustentável. As interfaces de saúde ambiental e econômica em relação aos e-resíduos representados pelos ODS da ONU são ilustrados na Figura 2.

Figura 2. Interfaces entre a saúde ambiental e a economia em relação aos e-resíduos representados pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.



Fonte: (Figura elaborada pelo autor; e adaptado de ONU, 2015).

As metas VII e VIII possuem um papel de relevo na solução econômica do dilema dos resíduos eletroeletrônicos. De acordo com Baldé *et al.* (2017), a meta VII destaca melhores condições de trabalho, a gestão correta de e-resíduos pode proporcionar a criação de novos empregos e contribuir para o crescimento econômico do setor de reciclagem. Porém, é importante frisar que, em sua maioria, os e-resíduos são processados nos setores informais da economia. Logo, os países onde se dão tais atividades clandestinas necessitam formalizá-las, aproveitando a oportunidade econômica e prezando pela saúde ambiental.

No que concerne à meta VIII, que busca reduzir impactos ambientais em centros urbanos, Baldé *et al.* (2017) confirmam que a maioria dos resíduos eletrônicos são gerados em cidades, tornando-se particularmente importante executar gestão sustentável e melhorar o processo de coleta e reciclagem a fim de reduzir a quantidade de e-resíduos levados a aterros. É importante salientar que as metas colocadas pelos ODS provavelmente não serão cumpridas pela grande maioria dos países, pois tratam-se de projetos muito ambiciosos para um período de tempo relativamente curto. É importante destacar que, devido à natureza ambiciosa dos ODS (e a meta de atingi-los até o ano 2030), é muito improvável que as metas indicadas serão cumpridas pela maioria dos países do mundo.

2. A GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS E A SAÚDE AMBIENTAL

2.1. Resíduos eletrônicos – uma ameaça à saúde ambiental

Segundo a NBR 10.004, de 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade²⁷, ou uma das seguintes características: inflamabilidade²⁸, corrosividade²⁹, reatividade³⁰, toxicidade³¹ ou patogenicidade³², além de também poderem ser radioativos³³ e persistentes (ABNT, 2004; BAIRD e CANN, 2011).

Essas características são definidas no Quadro 1 conforme as normas da ABNT. A avaliação de risco depende tanto da periculosidade quanto da exposição ao contaminante, logo o gerenciamento adequado pretende lidar com aspectos que evitem a exposição. Em suma, os resíduos perigosos são substâncias com potencial de apresentar algum tipo de risco à saúde do meio ambiente e dos seres humanos. A partir dos dados apresentados até o momento, pode-se determinar que os e-resíduos se enquadram, portanto, nessa definição em caso de manuseio e disposição final inadequados. Ressalta-se que eles são compostos por componentes e materiais perigosos com potencial de contaminação do solo, do ambiente aquático, da biota e da atmosfera.

Quadro 1. Aspectos que caracterizam uma substância como perigosa e suas respectivas definições.

CARACTERÍSTICAS	DEFINIÇÃO
Inflamabilidade	Substância líquida com ponto de fulgor inferior a 60°C, conforme ABNT NBR 14598/2000, se não for líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 Mpa (1 atm), produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas se for oxidante definido como substância capaz de liberar oxigênio e estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material ou, por último, se for um gás comprimido inflamável.

²⁷ A periculosidade de um resíduo é quando esse pode apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, quando for gerenciado de forma inadequada.

²⁸ Uma substância é inflamável quando possui baixo ponto de ignição (T).

²⁹ A corrosividade de uma substância provém da sua acidez ou alcalinidade.

³⁰ Substâncias reativas são aquelas que podem causar reações químicas violentas.

³¹ A toxicidade de uma substância é sua capacidade de causar efeitos adversos à saúde ambiental.

³² Substâncias patogênicas são aquelas que possuem micro-organismos danosos à saúde.

³³ Substâncias radioativas são aquelas que emitem radiações ionizantes.

Corrosividade	Substância aquosa com pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5. Se for líquida e corroer o aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano a uma temperatura de 55°C.
Reatividade	Substância instável que reaja de forma violenta e imediata sem detonar, se reagir violentamente com a água, formar misturas potencialmente explosivas com a água, gerar gases e vapores tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde e ao meio ambiente, ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo ou ser capaz de produzir reação ou decomposição detonante ou explosiva.
Toxicidade	Substância comprovadamente letal ao homem, produzir efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou eco-tóxico associados a substâncias isoladamente ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo ou possuir uma ou mais substâncias constantes no anexo C da ABNT NBR 10004/2004 e apresentar toxicidade.
Patogenicidade	O resíduo é caracterizado como patogênico se contiver microrganismos patogênicos, proteínas virais, DNA ou RNA recombinantes, organismos geneticamente modificados e organelas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais.

Fonte: adaptado de (ABNT, 2004).

O Anexo II mostra uma lista de contaminantes potenciais oriundos do descarte e reciclagem de e-resíduos. Já o Anexo III apresenta o potencial de exposição de contaminantes em e-resíduos. O Quadro 2 mostra os principais componentes de e-resíduos assim como suas respectivas substâncias perigosas e não perigosas presentes, sendo o mercúrio e o cádmio os mais ocorrentes.

Quadro 2. Componentes de e-resíduos e suas substâncias químicas respectivas.

E-RESÍDUO	SUBSTANCIAS QUÍMICAS
Cabos, Cordões e Fios	Cádmio, Cobre, plástico, PVC (cloreto de polivinila), Retardantes de Chama
Comutadores e Disjuntores	Cádmio, Mercúrio
Conectores	Alumínio, Berílio, Cobre, Ouro, Paládio, Prata

Conjuntos/Placas de Circuitos Impressos	Alumínio, Antimônio, Berílio, Bismuto, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Estanho, Európio, Ferro, Gálio, Germânio, Índio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Ouro, Paládio, Prata, Rutênio, Silício, Tálho, Térbio, Zinco, Resina Epóxi, Retardantes de Chama, Fibra de Vidro
CRT – telas de tubos de raios catódicos	Vidro, Cerâmica, Pó Fosforescente, Metais Ferrosos Alumínio, Antimônio, Bário, Cádmio, Cobalto, Cobre, Chumbo, Estanho, Ferro, Manganês, Níquel, Térbio, Vanádio, Zinco
Dispositivos Luminosos	Cádmio, Mercúrio
Meios de Armazenamento de Dados (placa mãe, processador, HD)	Berílio
Pilhas e Baterias	Cádmio, Mercúrio, Lítio, Potássio, Níquel, Zinco
Plásticos Antichamas	Retardante de Chamas Bromados (PBDE, TBBPA, Etc.), Ésteres de Fetalatos
Relês (relays)	Berílio, Mercúrio
Resistências (springs)	Berílio, Rutênio
Sensores	Mercúrio

Fonte: adaptado de (RODRIGUES, 2007; VIRGENS, 2009; GREEPEACE, 2009 *apud* PORTO DIGITAL E ITGREEN, 2011)

No Quadro 3, podemos observar alguns contaminantes e seus efeitos adversos sobre a saúde ambiental, assim como os e-resíduos em que se encontram presentes. Para compreender melhor os dados apresentados nesse quadro, é interessante entender alguns conceitos químicos. Primeiramente é necessário entender os equilíbrios de partição. Uma partição pode ocorrer quando uma substância faz contato com duas fases diferentes (por exemplo, partição sólido-líquido), esta substância terá maior afinidade em uma das fases podendo ser absorvida ou dissolvida pelas fases, até atingir o equilíbrio. O equilíbrio de partição também influencia a fugacidade³⁴ de uma substância (BAIRD e CANN, 2011).

³⁴ A fugacidade de uma substância é a sua afinidade com materiais orgânicos e inorgânicos.

Em seguida, é indispensável conhecer o conceito de especiação que pode ser influenciado por vários fatores além do equilíbrio de partição. Estes incluem, também, os equilíbrios ácido-base, a solubilidade de substâncias, a equilíbrios de complexação e a oxidação-redução. A especiação de um elemento químico nada mais é que a forma em que se encontra no ambiente. Baird e Cann (2011, p.686) afirmam que metais pesados são “transportados de um lugar para outro via atmosfera, ou como gases ou como espécies adsorvidas ou absorvidas sobre material particulado em suspensão”. Esse comportamento é devido aos fatores mencionados previamente. Destarte, pelos processos químicos que ocorrem naturalmente no meio ambiente, um metal pesado, por exemplo, pode sair de sua especiação inerte e se transformar em sua especiação extremamente tóxica (BAIRD e CANN, 2011).

Quadro 3. Efeitos adversos de materiais presentes em e-resíduos, que podem sofrer especiação química ou bioacumulação

MATERIAL	EFEITOS ADVERSOS AO MEIO AMBIENTE	EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE HUMANA	RESÍDUO ELETROELETRÔNICO
MERCÚRIO METÁLICO	Altamente solúvel em materiais orgânicos e é bioacumulativo.	É muito tóxico em pequenas quantidades. Pode causar lesões renais, no cérebro e no sistema neurológico. Pode causar deformações fetais, dores abdominais,	Lâmpadas descartáveis, equipamentos médicos, baterias, telefones celulares e placas de circuito impresso.
CROMO METÁLICO	Altamente solúvel em materiais orgânicos.	É muito tóxico. Reações dérmicas, tem efeitos corrosivos e produz efeitos tóxicos sobre o material genético. A sua inalação também causa efeitos cancerígenos.	Fiação.
CÁDMIO METÁLICO	Efeitos tóxicos sobre a biota até em pequenas quantidades. É bioacumulativo.	É altamente tóxico. Pode provocar disfunção renal, lesões nos pulmões e nos ossos e doenças hepáticas.	Resistores, Fitas de dados e disquetes, TVs CRT.

CHUMBO METÁLICO	Efeitos tóxicos sobre a biota e bioacumulativo.	É muito tóxico em pequenas quantidades. Pode causar disfunção renal, anemia, lesões no sistema nervoso, no fígado, no cérebro, em órgãos reprodutivos assim como aumentar a pressão sanguínea.	Monitores e televisores CRTs, circuitos impressos e outros componentes.
POLUENTES PERSISTENTES (PCBs³⁵; PBDEs³⁶)	Solúveis em água, voláteis ³⁷ , bioacumulativo e persistentes. Podem gerar dioxinas e furanos na combustão.	São cancerígenos e neurotóxicos, assim como podem interferir na reprodução.	Computadores e televisores, Condensadores, transformadores; Retardadores de chama para equipamentos eletrônicos.
MICROPLÁSTICOS³⁸	Pela quebra e lixiviação podem formar microplásticos. Estes podem absorver metais pesados, pesticidas e poluentes persistentes que contaminam os oceanos. Podem causar bioacumulação.	Com a absorção de outros contaminantes, assim como a presença de poluentes próprios (como bisfenóis) podem gerar diversos problemas na saúde humana.	Presentes na maioria dos eletroeletrônicos.

Fonte: (Quadro elaborado pelo autor; adaptado de NATUME e SANT'ANNA, 2011; e PORTO DIGITAL E ITGREEN, 2011).

Com fim de exemplificar a especiação mencionada previamente, a Figura 3 apresenta a especiação do mercúrio em ambientes aquáticos. O mercúrio ganhou notoriedade internacional nos anos 50, quando ocorreu o Incidente na Baía de Minamata. No caso, agentes econômicos no Japão jogavam rejeitos que continham mercúrio em sua forma inerte na Baía de Minamata. Com o tempo e exposição aos processos naturais, o mercúrio nas formas de mercúrio metálico [Hg⁰] e íon mercúrico [Hg²⁺], através de reações químicas e de ligações com compostos orgânicos, se transformou em metilmercúrio [CH₃Hg⁺]. O metilmercúrio, é a “forma mais

³⁵ Bifenilas policloradas.

³⁶ Éteres difenílicos polibromados.

³⁷ Facilidade de uma substância de mudar de estado físico.

³⁸ Os microplásticos não são contaminantes, mas podem se tornar seus vetores.

apresentaram a China como o maior lixão de resíduos eletrônicos do planeta. Plantas de reciclagem informais com medidas de segurança precárias resultaram na grave contaminação por metais pesados no ar, solo, água, plantas e seres humanos.

A saúde da população do maior sítio de despejo de e-resíduos desse país, Guiyu, está comprometida, muitas pesquisas empíricas indicaram níveis muito elevados de PBDEs e metais pesados no sangue da população. O segmento da população às margens da sociedade é particularmente vulnerável às consequências da reciclagem precária. Crianças e mulheres grávidas são especialmente suscetíveis a contaminações. Visto isso, há uma correlação entre a contaminação substâncias contidas em e-resíduos e o nível de renda de um indivíduo (PERKINS *et al*, 2014). Ressalta-se que a contaminação é diferente da poluição. A contaminação é quando algo se encontra em nível acima do esperado, enquanto a poluição é quando níveis anormais de contaminação promovem efeitos adversos. Há de se notar que os efeitos crônicos e agudos dessas substâncias, muitas delas emergentes, não são conhecidos inteiramente (BAIRD e CANN, 2011).

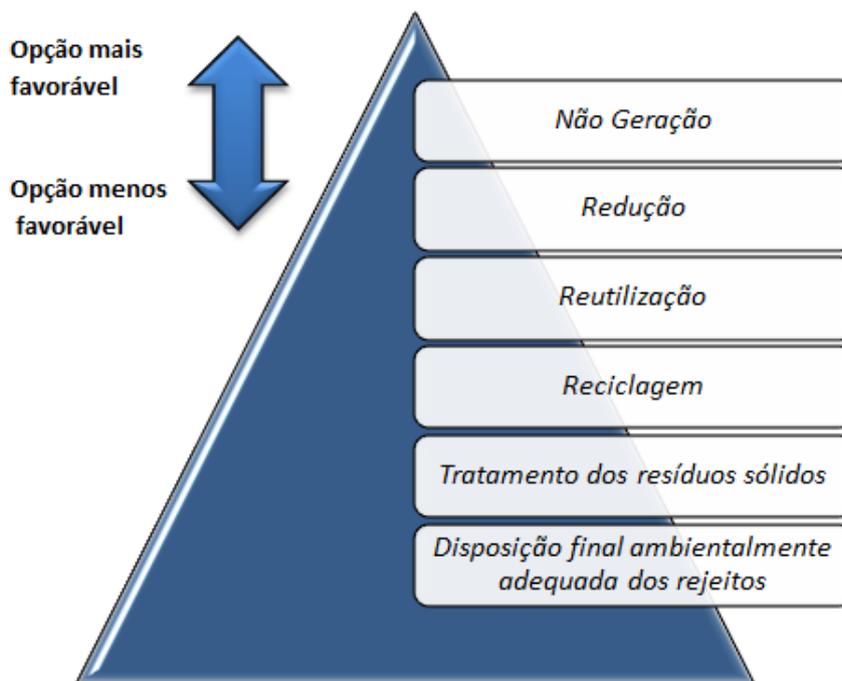
Para evitar contaminações semelhantes por substâncias conhecidas e desconhecidas, no nível legislativo, são recomendadas a derivação e o emprego de Valores Máximos Permitidos (VMPs) por órgãos reguladores. Os VMPs consideram aspectos relacionados a toxicidade de substâncias e elementos perigosos em modos de exposição (como o ar, água e alimentos) e são determinados por cálculos matemáticos, variáveis biológicas, e estudos toxicológicos que buscam indicar as concentrações máximas permitidas de substâncias tóxicas para diferentes condições de exposição. Assim, dependendo do tipo de uso e dos modos de exposição, pode-se derivar seus VMPs para diferentes usos. No que se tange à participação da sociedade, o acesso à informação pode provar-se como uma boa ferramenta para a disseminação de métodos de conscientização e de práticas sustentáveis referente aos resíduos perigosos.

No que se refere os ODS, no Capítulo 1 foram visualizados os ODS 3, 6 e 14 relacionados à redução substancial de doenças, universalização da água potável e saneamento e preservação da vida na água respectivamente. Visto isso, foram explicitadas as consequências à saúde ambiental oriundos de e-resíduos e a necessidade de atenuar os riscos envolvidos. Ao mitigar a atuação dos poluentes no meio ambiente (especialmente no ambiente aquático) por medidas concretas auxiliadas pela legislação, é possível atingir gradualmente esses ODS.

2.2. O gerenciamento adequado de resíduos eletrônicos

Diante da crescente geração de e-resíduos e compromissos multilaterais apresentados no Capítulo 1, pode-se afirmar que medidas de controle e/ou mitigadoras direcionadas aos impactos ambientais e socioeconômicos devem ser empregadas. Essa afirmação vale não apenas para o Brasil, mas para todos os países que enfrentam esse problema. A Figura 4 mostra as opções mais e menos favoráveis na gestão de resíduos sólidos.

Figura 4. Opções de gestão favoráveis para resíduos sólidos.



Fonte: (RESÍDUO ALL, 2017).

Do ponto de vista econômico, a não-geração é praticamente impossível, já que toda atividade do ciclo produtivo produz algum tipo de resíduo. O único meio para atingir a não-geração seria de frear o sistema econômico por completo. Em seguida, a redução e reutilização são meios pelos quais a sociedade como um todo pode contribuir para atenuar a geração de resíduos mediante escolhas e hábitos sustentáveis. Já a reciclagem é uma cooperação entre o consumidor e os agentes econômicos visando o reaproveitamento de material e, conseqüentemente um alívio na exploração de recursos naturais. Por fim, o tratamento e a disposição final de rejeitos compreendem uma série de atividades que visam acomodar rejeitos e, no caso de resíduos perigosos, neutralizar a sua atuação no meio ambiente.

Visto isso, deve-se considerar seriamente minimizar as fontes de resíduos perigosos e evitar a utilização de poluentes persistentes, metais pesados e outras substâncias tóxicas nos

produtos originais. Com o estabelecimento do *Pollution Prevention Act* dos Estados Unidos em 1990, a Química Verde foi criada. A partir dessa iniciativa, a Química Verde e os mecanismos de Prevenção a Poluição (P2) tornaram-se um foco formal. Baird e Cann (2011, p.26), afirmam que “a EPA trabalhou em parceria e encorajou empresas a encontrarem voluntariamente opções para reduzir as consequências ambientais de suas atividades”. Dito isso, a Química Verde busca reduzir resíduos, reduzir o consumo de recursos e usar fontes renováveis, assim como reduzir o consumo de energia. Já os mecanismos de P2 afirmam que é melhor prevenir a formação de um resíduo a remediar seus possíveis impactos (BAIRD e CANN, 2011).

Um resíduo sólido comum pode três destinos finais: o lixão, o aterro controlado e o aterro sanitário. Em um lixão comum – a forma mais inadequada de disposição final – os rejeitos são depositados sobre o solo sem alguma medida de proteção, levando a danos prejudiciais à qualidade ambiental. Em um aterro controlado, há algumas adaptações, como o recobrimento dos resíduos com material inerte, porém o solo não é protegido contra a decomposição e disseminação de contaminantes pelo lençol freático. Já os aterros sanitários são a principal forma de disposição adequada existente, visando mitigar impactos à natureza e à sociedade. O tratamento adequado de resíduos sólidos é relativamente simples. Uma vez acomodados em aterros sanitários, eles serão naturalmente afetados pelo processo de decomposição (se forem orgânicos), já contaminantes serão idealmente “sepultados” no interior do aterro. Alguns contaminantes podem ser eliminados via chorume (em aterros sanitários), mas no caso dos lixões ou aterros controlados ocorre sua dispersão no meio ambiente (BAIRD e CANN, 2011).

A logística reversa exerce influência não apenas na reciclagem, mas também na disposição final de resíduos. É necessário diferenciar dois conceitos semelhantes, a logística verde e a logística reversa. A logística verde possui como principal objetivo atingir os princípios de sustentabilidade ambiental como a produção limpa, onde o produtor já elabora *designs* sustentáveis e é responsável pelo destino final do resíduo de seu produto. Já a logística reversa possibilita o retorno dos resíduos e sua revalorização no ciclo econômico, logo pode-se afirmar que a ela é uma parte da logística verde. (GUARNIERI, 2011). A Figura 5 representa o ciclo da logística reversa.

Figura 5. O ciclo da logística reversa



Fonte: (GUARNIERI, 2011, p.51)

Ressalta-se que por meio da logística reversa, é possível “fechar o ciclo da cadeia de suprimentos, desta forma gerando lucratividade, através da redução de custos e a consolidação de uma imagem institucional positiva e ambientalmente responsável [...] além de oportunizar os novos nichos de negócios que geram novos empregos e renda” (GUARNIERI, 2011, p.50). Vale notar que a necessidade da logística reversa se origina principalmente por leis que proíbem o descarte inapropriado e incentivam a reciclagem de componentes, especialmente se estes possuírem substâncias que causem danos à saúde ambiental (GUARNIERI, 2011).

No âmbito dos resíduos perigosos, a destinação final é mais complexa, pois varia dependendo do tipo de rejeito³⁹. Vale notar que, com a ausência do tratamento adequado, esses resíduos podem, com o tempo, se lixiviar por águas superficiais e subterrâneas, se estabilizar na natureza e conseqüentemente prejudicar a saúde ambiental (BAIRD e CANN, 2011). Algumas técnicas envolvem a estabilização dos rejeitos através da fixação química (alteração a uma forma menos tóxica), encapsulamento em material impermeável, solidificação em matriz (concreto, vidro ou plásticos) e o uso de materiais adsorventes (que permitem a aderência de substâncias). Por necessitarem formas de disposição específicas, os resíduos perigosos são encaminhados aos “aterros industriais” onde são estocados de acordo com suas características

³⁹ Esta afirmação é muito relevante para o resíduo eletroeletrônico já que, dependendo de sua classificação, são adotadas técnicas diferentes para a disposição final.

químicas e, por fim, são aplicadas técnicas de tratamento avançadas para sua neutralização. Uma vez armazenado o material, é necessário monitorar a área, via amostras de água e solo, a fim de assegurar que não existe contaminação ou vazamentos. Se forem detectados, técnicas de remediação devem ser empregadas conforme o tipo de degradação (BAIRD e CANN, 2011).

A reutilização dos equipamentos pode acontecer mediante doações ou repasses dos eletroeletrônicos para instituições, indivíduos e organizações. O reuso pode ocorrer também por meio da venda dos aparelhos obsoletos a agentes econômicos especializados na revenda e na reparação (RODRIGUES, 2007 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011). Entretanto no caso dos eletroeletrônicos, muitas vezes após sua rejeição, a maioria não passa por esse processo. Eles são coletados como lixo municipal, sem nenhuma diferenciação, e lançados em aterros ou incinerados (EEA, 2003 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011).

De acordo com Virgens (2009 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011), o descarte e destinação final inadequados de eletroeletrônicos podem resultar nos seguintes cenários:

“-Contaminação dos recursos hídricos, do solo ou do ar, devido à emissão de substâncias danosas ao meio ambiente. A incineração pode resultar na emissão de mercúrio, chumbo e outras substâncias tóxicas;

-Esgotabilidade dos recursos naturais, a exemplo do Índio e Lítio, procedentes do aumento da pressão pela extração de recursos naturais para a fabricação de novos equipamentos. Perda de material de alto valor econômico agregado, a exemplo do ouro e da prata, os quais são passíveis de reciclagem;

-Perda e incremento nos gastos de energia. Diminuição da vida útil dos aterros sanitários resultante dos materiais de diminuta biodegradabilidade e problemas devido à presença de metais pesados;

-Contaminação humana através de manipulação, inalação e ingestão de água e alimentos contaminados”

(VIRGENS, 2009 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011)

Pela grande variedade dos tipos de e-resíduos e seus componentes, métodos de reciclagem específicos devem ser empregados. Desta forma, será destacado o destino final de

resíduos eletrônicos comuns, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e monitores de CRT. Os resíduos eletrônicos mais comuns como computadores e eletrodomésticos são encaminhados a usinas de reciclagem dedicadas. Os processos que ocorrem nessas instalações são tratados no Capítulo 3.

As pilhas e baterias contêm substâncias potencialmente nocivas como o chumbo e o mercúrio. Existem dois tipos de categorias para pilhas e baterias, as pilhas domésticas e as baterias automotivas. A disposição final das pilhas e baterias pode compreender em: seu depósito em aterros sanitários pelo fluxo de resíduos sólidos municipais; sua incineração; ou sua reciclagem. A reciclagem de pilhas e baterias envolve processos de hidrometalurgia e pirometalurgia⁴⁰. Para a recuperação dos metais presentes, ambos processos necessitam de alto consumo de energia, longo tempo de processamento, sistemas de limpeza de gás e líquidos, e equipamentos caros. A obrigatoriedade da disposição adequada de pilhas e baterias está vigente no Brasil desde o ano 2000, para sua reciclagem ocorrer a logística reversa é empregada (ZABANIOTOU, KOUSKOUMVEKAKI e SANOPOULOS, 1999; BERNARDES, ESPINOSA, e TENÓRIO, 2003; e ESPINOSA, BERNARDES e TENÓRIO, 2004).

O principal contaminante potencial presente nas lâmpadas fluorescentes é o mercúrio, a sua concentração pode variar entre 0,72 e 115 mg/lâmpada, dependendo do tipo e ano de produção. Nos Estados Unidos, em 2004, ocorreu a disposição final de cerca de 680 milhões de lâmpadas fluorescentes. A maioria dos recicladores de lâmpadas fluorescentes emprega a técnica de reciclagem à seco⁴¹. O processo de reciclagem desse tipo de e-resíduo gera os seguintes subprodutos: pó de fósforo e filtros contaminados por mercúrio, vidro triturado e tampas de alumínio. O material recuperado é o mercúrio metálico (após o refinamento e o tratamento), o vidro e o alumínio (JANG, HONG e PARK, 2005).

Os tubos de raio catódico são um dos e-resíduos com mais dificuldade e custos de reciclagem. Isso ocorre pela variedade de substâncias em sua composição. Logo, é comum que usinas de reciclagem de e-resíduo optem por encaminhá-los a instalações que se especializem

⁴⁰ A hidrometalurgia é um processo que envolve o esmagamento da bateria, seguida pela separação física de elementos. Em seguida os metais são separados por métodos físico-químicos. A pirometalurgia é um processo que difere da hidrometalurgia no estágio de tratamento da massa de bateria, que é encaminhada a um forno rotativo, a fim de recuperar o chumbo contido (ZABANIOTOU, KOUSKOUMVEKAKI e SANOPOULOS, 1999).

⁴¹ As lâmpadas são quebradas e, um sistema de vácuo evita que o mercúrio escape através do tubo de alimentação. Os materiais são passados por um separador e as tampas de alumínio e o vidro são separados. O mercúrio liberado na fase de vapor é capturado por filtros de carbono, que são enviados para a sua recuperação (JANG, HONG e PARK, 2005).

nesta atividade. Os principais contaminantes contidos nesses e-resíduos são o chumbo, o cádmio e o mercúrio. As melhores alternativas para a disposição final são a reciclagem⁴², a fundição⁴³ e, o seu encaminhamento a depósitos de resíduos perigosos. Dentre esses processos, a reciclagem é o mais rentável (MENAD, 1999; e KANG e SCHOENUNG, 2006).

⁴² Os plásticos, metais e placa de circuito impresso associados à TVs e monitores são reciclados por processos diferentes. O chumbo contido nos vidros do CRT pode ser extraído quimicamente usando reagentes com pH alto. O vidro é limpo, separado e enviado para fabricantes de vidro como matéria-prima na fabricação de novos CRTs ou outros produtos (MENAD, 1999).

⁴³ O vidro CRT pode ser usado como um agente de fluxo por fundições de chumbo. Algumas técnicas utilizam o vidro de CRT pulverizado em incineradores como material de separação de impurezas na fixação de metais pesados (MENAD, 1999).

3. SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS E-RESÍDUOS

3.1. Alternativas à extração da matéria virgem

Segundo o relatório do PNUMA (2009, *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011), os impactos ambientais oriundos da mineração são extensos e variados. Esses problemas estão associados, principalmente, à extração de minério de ferro e de minério que contém metais preciosos, pois estes são retirados de minas onde a sua concentração é muito baixa.

A mineração é uma das atividades econômicas mais devastadoras para o meio ambiente, exigindo a recuperação da área degradada. Esta recuperação, se for efetiva, pode eliminar os demais efeitos negativos da mineração. No Brasil, as regiões mais afetadas estão no estado de Minas Gerais, em zonas carboníferas em Santa Catarina, em zonas de transição de mata atlântica, no cerrado e em regiões de alta elevação. Segundo Almeida (2016), desde que a Constituição de 1988 tornou obrigatório o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), novas técnicas de recuperação foram desenvolvidas e aplicadas, como as de telas (metálica, sintética e naturais) para a contenção do material e a hidro-semeadura, que envolve o desenvolvimento da vegetação natural em taludes de corte⁴⁴ e, deste modo, evita a erosão do solo pelas forças naturais.

Atualmente, no estágio inicial da mineração, o solo fértil que está presente nos horizontes⁴⁵ O e A é retirado e armazenado e, após o fim das atividades, é recolocado para restaurar a fertilidade da terra. Devido à declividade provocada pelos taludes, o plantio de espécies arbóreas é dificultado, levando os agentes econômicos a recorrer ao plantio de gramíneas e de espécies exóticas, ao contrário de realizar o replantio das espécies nativas da região. Após analisar diversas áreas abandonadas de lavra em Santa Catarina, Genaro *et al.* (2012) perceberam que, dentre os problemas identificados no estudo dos aquíferos da região, estava a enorme quantidade de rejeitos provenientes de anos de extração de minério.

A alteração física da região por essa atividade também pode levar à mudança de qualidade da água:

⁴⁴ Um talude é uma inclinação da superfície lateral de um aterro. Um talude de corte é formado como resultado de um processo de retirada de material.

⁴⁵ Os solos possuem várias camadas sobrepostas, denominados horizontes. Estas camadas são formadas por processos físicos, químicos e biológicos que duram milhões de anos. Os horizontes se diferenciam pelas suas propriedades como cor, textura, etc. Os mais comuns em ordem de profundidade são o O, A, E, B, C e R.

“Além das diversas pilhas de rejeito, a existência de uma grande rede de galerias, muitas vezes mal planejada, altera a movimentação das águas subterrâneas, aliado a esse fato, as escavações sem critérios hidrogeológicos acarretam em interconexões de horizontes e na mistura de águas, podendo comprometer a qualidade natural ou causar a contaminação de aquíferos”

(GENARO *et al.*, 2012, p.3).

Segundo a ANA e o IBRAM (2006), os efluentes gerados na mineração não podem ser descartados diretamente nos corpos aquáticos. Esses efluentes possuem partículas pequenas e microscópicas com pouco potencial de sedimentação que causam turbidez na água. Conseqüentemente, resulta em dificuldades no tratamento das águas naturais. Além disso, esses efluentes podem conter compostos orgânicos e sais que podem causar externalidades⁴⁶ negativas ao meio ambiente ao fazerem ligações com substâncias persistentes como os metais pesados.

Os metais pesados que se dispersam durante a atividade mineradora são “um dos grandes problemas da mineração na atualidade está relacionado com os rejeitos decorrentes dessa atividade, como a extração de ouro, caulim e carvão mineral, pois contribuem para o aumento de metais pesados no solo e em sistemas aquáticos” (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006, p.98). No caso do Brasil, “a mineração de níquel, ouro, ferro e de outros metais de interesse comercial, têm contribuído com a liberação de rejeitos que se constituem como uma das principais formas de contaminação do solo e da água por metais pesados”. Vale notar que os metais pesados, como o mercúrio (Hg) e o cádmio (Cd), “estão presentes naturalmente no meio ambiente, mesmo que não haja ação antrópica, o aumento em sua concentração pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por atividades humanas” (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006, p.84).

Outro grave problema proveniente da mineração é a drenagem ácida⁴⁷. Nas minas que se encontram em atividade, a água que percola pelo solo e atinge as galerias é constantemente bombeada para o rio. Geralmente, a concentração de ferro nestas águas é bastante pequena. Ela é preocupante quando há a presença de ferro (Fe), água e um ambiente oxidado. O Fe pode ser

⁴⁶ Uma externalidade é um efeito colateral social, econômico e/ou ambiental positivo ou negativo causado pelo desempenho de uma atividade.

⁴⁷ Segundo a ANA e IBRAM (2006), a drenagem ácida é “um fenômeno que ocorre quando são expostas grandes quantidades de rejeitos e/ou estéril sulfetados ao intemperismo da superfície”.

oxidado para Fe^{3+} e precipitar na forma de hidróxidos (com níveis muito elevados em minas abandonadas), e assim acidificar as águas naturais.

No caso da extração do caulim, “ocorre produção de rejeitos líquidos, lançados nos rios, e sólidos, geralmente aterrados. Esses rejeitos podem conter, além de outros contaminantes, concentração de metais, [...], acima do permitido pela legislação” (SILVA et al., 2001 *apud* MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006, p.85-86). Já no tocante do uso do mercúrio no garimpo de ouro, “processos físico-químicos de extração de ouro, como a amalgamação⁴⁸, são importantes fontes de contaminação do meio ambiente, pois o metal passa na forma de vapor ou por meio dos rejeitos minerais, que podem chegar às águas e ao solo” (GALVÃO; COREY, 1987d *apud* MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006, p.86). Já o alumínio, por exemplo, pode causar danos irreversíveis à biota aquática em pH baixo. Com o aporte de águas oriundas de minas abandonadas, haverá uma perda gradativa da biodiversidade nos corpos aquáticos próximos. Para evitar esses riscos potenciais, é recomendado: a remoção de pilhas de descarte de carvão e sua remoção (no caso das minas de carvão); reflorestamento de áreas impactadas pela drenagem ácida e preenchimento de minas abandonadas com materiais que reduzam a drenagem ácida como solos, madeiras e calcário (SODRÉ, 2012).

A mineração também está associada às seguintes externalidades:

- “-Grande quantidade de uso de energia;
- Degradação de ecossistemas naturais, como o desmatamento e a queimada;
- Alterações nos aspectos qualitativos e no regime hidrológico dos cursos de água;
- Processos erosivos;
- Mortalidade e fuga da fauna local
- Poluição química na hidrosfera, biosfera e na atmosfera;
- Geração de resíduos; e
- Geração de gás carbônico”

(PNUMA, 2009 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011)

De acordo com o IBRAM (2010 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011), a indústria da mineração no Brasil representa uma fatia substancial no saldo da balança comercial brasileira. Ela representou uma contribuição de 14%, 25%, 53% e 50% para os anos de 2006, 2007, 2008 e 2009 respectivamente. O IBRAM (2008, *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN,

⁴⁸ A amalgamação é um processo físico-químico que consiste na ligação do mercúrio com outro metal, assim separando-o de outras impurezas.

2011) também afirma que o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro é muito influenciado pela mineração.

Conforme o relatório do IBRAM (2008 *apud* PORTO DIGITAL e ITGREEN, 2011), no ano de 2008, a indústria da mineração contribuiu com cerca de 5,25% (cerca de US\$ 84 bilhões ou R\$ 325,92 bilhões^{49, 50, 51}) do total do PIB brasileiro do ano, que foi US\$ 1,57 trilhão (cerca de R\$ 6,0916 trilhões). Sem contar que essa indústria empregou, em 2010, cerca de 160 mil trabalhadores no setor extrativista. Vale ressaltar que, como o sistema econômico é integrado, o IBRAM estimou que cerca de 2 milhões de pessoas foram empregadas diretamente e indiretamente pela indústria de mineração. Visto isso, convém avaliar alternativas viáveis que possam complementar a mineração e aliviar a pressão sobre os recursos naturais,

$$VR\$ = V\$ \times tc \quad (1)$$

Onde:

VR\$= Valor monetário em Reais; V\$=Valor monetário em moeda estrangeira; e tc=taxa de câmbio

De acordo com Dutta *et al.* (2016), a recuperação de recursos minerais raros exige o desenvolvimento de técnicas eficientes de reciclagem. A recuperação de metais valiosos disponíveis em sucatas formadas durante processos do ciclo econômico, encontrados em aterros sanitários e produtos em fim de vida útil (por exemplo, automóveis ou eletrodomésticos) é referida como “mineração urbana” e considerada como um componente importante na gestão de recursos (SIMONI *et al.*, 2015; BANDARA *et al.*, 2016 *apud* DUTTA *et al.*, 2016). Outra externalidade positiva dessa atividade consiste em evitar emissões de elementos e substâncias químicas cuja especiação pode promover a ocorrência de suas formas tóxicas (como chumbo, cádmio, níquel, cobre e mercúrio iônicos, metilmercúrio, cromo hexavalente e compostos orgânicos clorados e bromados), já que estes podem afetar gravemente a saúde ambiental.

A recuperação de metais preciosos pode ser vantajosa, de acordo com a *British Broadcasting Channel* (BBC), pois a reciclagem de computadores e periféricos pode render cerca de 6.500,00 libras esterlinas (cerca de R\$ 32.240,00⁵²) por tonelada (BBC, 2012). No caso dos microprocessadores, o metal prevaiente é o ouro, o que torna sua separação mais simples: com uma mistura de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO₃), uma grande quantidade de

⁴⁹ Para todos os cálculos de câmbio será utilizada a equação (1).

⁵⁰ Todas taxas de câmbio utilizadas nesta monografia são de 27 de novembro de 2018.

⁵¹ Taxa de câmbio Dólar-Real - US\$1=R\$3,88

⁵² Taxa de câmbio Libra-Real - £1=R\$4,96

microprocessadores é dissolvida em barras até sobrar apenas uma poeira dourada que, por sua vez, é derretida e moldada em barras de ouro.

No caso de outros periféricos, é necessário passar por outros processos químicos. Primeiramente, os componentes metálicos (predominantemente, o cobre, a prata e o ouro) são separados e derretidos em um grande forno industrial; após isso, são moldados em placas finas de metal misturado. Para a separação dos metais mencionados, emprega-se a eletrólise. Em um primeiro momento, duas placas (uma com composição mista com carga positiva e, outra feita de cobre com carga negativa) são colocadas em um recipiente de água sob uma corrente elétrica; com o tempo, a placa com carga negativa atrai o cobre da outra placa. Em um segundo momento, a placa metálica, que agora contém apenas ouro e prata, é colocada em outro recipiente de água e, após um novo processo de eletrólise (dessa vez, com uma placa de aço com carga negativa), cristais de prata aderem à placa de aço (BBC, 2012).

Por fim, o que resta é uma placa de ouro puro, que pode ser transformada em diversos estados dependendo do seu uso. Uma das demandas por ouro vem da própria indústria de eletrônicos, que o necessita na forma de sais de ouro. Um barril dessas substâncias pode equivaler a 47.000,00 libras esterlinas (cerca de R\$ 233.120,00). Outros usos para o ouro incluem sua moldagem em fios para circuitos, coroas dentárias e, até mesmo, satélites (BBC, 2012). A Tabela 2 adaptada de dados fornecidos por Zeng *et al.* (2016) demonstra o valor médio de mercado de alguns materiais encontrados em e-resíduos, em US\$/tonelada e R\$/tonelada.

Tabela 2. Preços de mercado de alguns materiais presentes em e-resíduos (em US\$/t e R\$/t)

Material Puro	Valor médio (US\$/t)	Valor médio (R\$/t)
Al	2.300,00	8.924,00
Co	37.500,00	145.500,00
Cu	6.400,00	24.832,00
Fe	120,00	465,60
In	24.000.000,00	93.120.000,00
Ag	1.030.000,00	3.996.400,00
Au	47.000.000,00	182.360.000,00
Pd	21.000.000,00	81.480.000,00

Nd	176,00	682,88
Y/Eu	200,00	776,00
Plásticos	890,00	3.453,20

Fonte: adaptado de (ZENG *et al*, 2016).

Legenda: Cu = Cobre; Al = Alumínio; Fe = Ferro; Au = Ouro; Ag = Prata; Pd = Paládio; In = Índio; Co = Cobalto; Nd = Neodímio; Y= Ítrio; Eu= Európio

Além dos elementos que apresentam maior lucratividade como o ouro e a prata, os e-resíduos podem apresentar também em sua composição os metais de terra-rara⁵³. Devido aos custos econômicos e ambientais oriundos da mineração desses metais de alto valor (como o Lântanio (La), Cério (Ce) e o Neodímio (Nd)) é desejável promover a reciclagem e a reutilização desses elementos, além de minimizar a dependência sobre eles. Um grande desafio na reciclagem de metais de terra-rara tem sido sua baixa taxa de rendimento devido à carência de *design* de reciclagem adequado, alto custo de estabelecimento de um sistema de reciclagem, um retorno relativamente baixo (embora constante), e as etapas tediosas envolvidas em sua separação (DUTTA *et al*, 2016). Além disso, existe uma crença comum de que é virtualmente impossível reciclar os metais de terra-rara em qualquer quantidade apreciável, pois eles são usados em quantidades muito pequenas em diversos produtos⁵⁴ (DUTTA *et al*, 2016).

O valor econômico e a composição de materiais encontrados nos e-resíduos pode oscilar devido a suas fontes variadas. Cucchiella *et al*. (2015, p.269, nossa tradução) citam que os materiais recuperados mais relevantes provenientes de 14 fontes diferentes (como celulares, tabletes, televisores e componentes de computadores) e sua percentagem no valor de mercado total são: “ouro 50,4%, cobre 13,9%, paládio 9,5%, plásticos 9,2%, prata 3,6%, alumínio 2,5%, estanho 2,0%, bário 1,8%, platina 1,7% e cobalto 1,6%”. Foi também constatado que, apesar de ser o material com maior valor, o ouro representa fração irrisória sobre volume total de e-resíduos. Zeng *et al* (2016) elaboraram uma planilha indicando a porcentagem de materiais de importância econômica, nas categorias de e-resíduos adotadas, na China (Anexo IV).

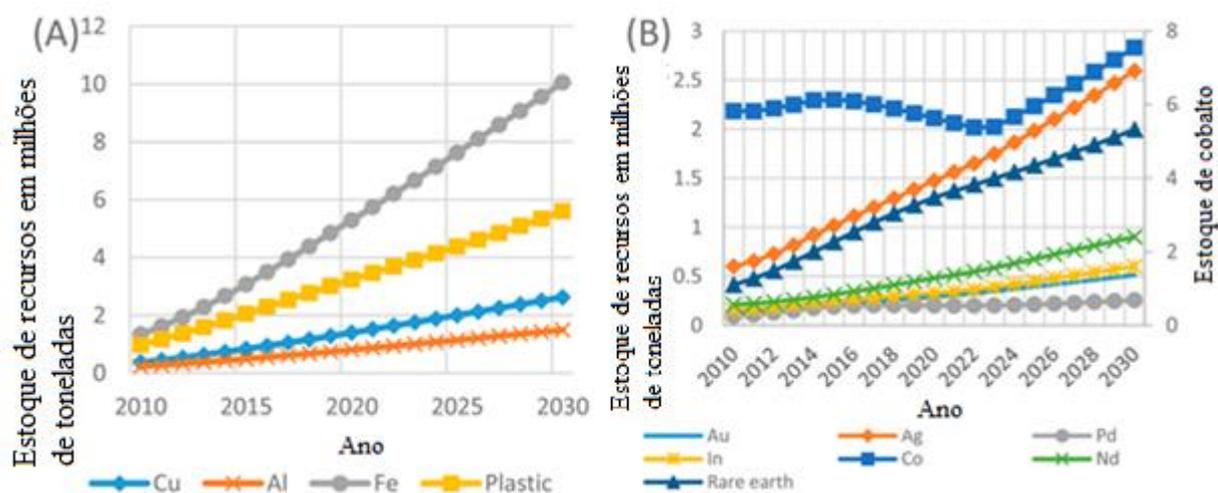
⁵³ Os metais de terra-rara são um conjunto de 17 elementos da tabela periódica que é composto pelos lantanídeos, o ítrio e o escândio. São elementos que geralmente têm baixa concentração no minério escavado. Na indústria esses elementos são muito utilizados na fabricação de eletroeletrônicos. Além disso, se houver exposição, alguns destes elementos podem apresentar efeitos negativos à saúde ambiental.

⁵⁴ O e-resíduo que possui a maior presença dos metais de terra-rara são os monitores de CRT, previamente visualizados no Quadro 2. Sua reciclagem exige processos altamente custosos e influenciam substancialmente na viabilidade de uma usina de reciclagem de e-resíduos (KANG e SCHOENUNG, 2006).

Conforme afirmado, os resíduos eletrônicos contêm muitos materiais perigosos que podem prejudicar a saúde ambiental, assim como muitos materiais preciosos que podem incentivar a indústria de reciclagem. Por meio de dados coletados em centros de reciclagem na cidade de Guiyu, China, bem como de estimativas de até o ano 2030, Zeng *et al.* (2016), no Gráfico 5, avaliaram a quantidade das reservas anuais de materiais valiosos contidos em e-resíduos.

Observando a parte (A) do Gráfico 5, as projeções de materiais de base indicam que as maiores reservas contidas em e-resíduos são de ferro e de plásticos, seguidas das de cobre e de alumínio. Na parte (B) do Gráfico 5, as projeções de materiais valiosos também indicam um crescimento nas reservas contidas nos e-resíduos, com destaque para o cobalto, a prata e terras raras; estes são seguidos pelo neodímio, o índio, o ouro e o paládio. Zeng *et al.* (2016) afirmam que o decréscimo nas reservas de cobalto é devido à implementação da legislação chinesa contra a importação de e-resíduos e a retomada do seu crescimento é atribuída ao avanço da oferta doméstica.

Gráfico 5. Reservas anuais de materiais valiosos em e-resíduos na China



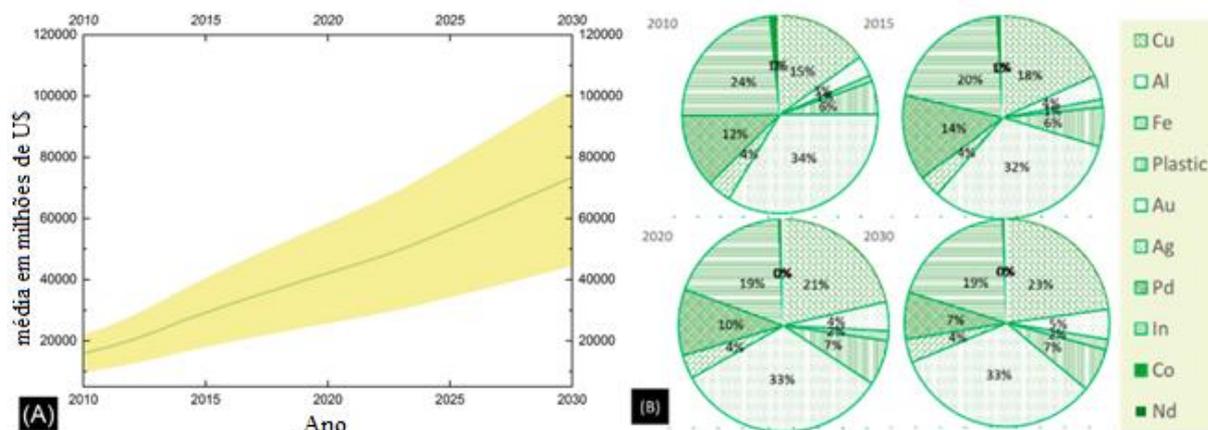
Fonte: adaptado de (ZENG *et al.*, 2016, p.1353).

Legenda: (A) materiais de base; (B) metais preciosos e terras raras; Cu = Cobre; Al = Alumínio; Fe = Ferro; Plastic = Plásticos; Au = Ouro; Ag = Prata; Pd = Paládio; In = Índio; Co = Cobalto; Nd = Neodímio; e Rare Earth = Terra-rara

Após coletar dados sobre o valor econômico de materiais encontrados em e-resíduos assim como a quantidade desses elementos, Zeng *et al.* (2016) elaboraram o Gráfico 6 que demonstra o potencial econômico bruto da reciclagem de e-resíduos na China. Observando a parte (A), que indica o valor econômico do total anual de e-resíduos na China, do Gráfico 6, percebe-se um potencial econômico crescente (com variação devido a estimativas) da indústria

de reciclagem. Foi estimado que, em 2030, a indústria de reciclagem chinesa pode render entre US\$ 100.000,00 milhões (R\$ 388.000,00 milhões) e US\$ 45.000,00 milhões (R\$ 174.600,00 milhões). Na parte (B), Zeng *et al.* (2016) ilustraram as fatias equivalentes ao valor econômico dos materiais estudados em quatro anos designados. Observa-se que o ouro mais uma vez representou a maior fatia nos quatro anos apresentados.

Gráfico 6. Potencial econômico da reciclagem de e-resíduos na China



Fonte: adaptado de (ZENG *et al.*, 2016, p.1353).

Legenda: (A) Valor econômico do total anual de e-resíduos na China; (B) Fatias relacionadas ao valor econômico dos materiais; Cu = Cobre; Al = Alumínio; Fe = Ferro; Plastic = Plásticos; Au = Ouro; Ag = Prata; Pd = Paládio; In =Índio; Co = Cobalto; Nd = Neodímio; e *Rare Earth* = Terra-rara

Relacionando os dados apresentados pelos autores Kuehr, Magalini e Baldé (2015), Baldé *et al.* (2017) e Zeng *et al.* (2016), é possível fazer uma estimativa do potencial econômico do material contido em e-resíduos gerados pelo Brasil. Baldé *et al.* (2017) afirma que, em 2016, o Brasil foi responsável por gerar 1,5 milhões de toneladas de e-resíduos, e a China por cerca de 7,2 milhões de toneladas da fatia mundial. Zeng *et al.* (2016) estimam que o potencial econômico bruto da reciclagem de e-resíduos na China, em 2016, flutua entre \pm US\$ 20.000.000,00 (\pm R\$ 77.600.000,00) e \pm US\$ 40.000.000,00 (\pm R\$ 155.200.000,00). Supondo que há uma equivalência nos materiais encontrados em e-resíduos nos dois países, pode-se afirmar que o potencial econômico bruto da indústria de reciclagem de e-resíduos no Brasil equivale entre \pm US\$ 4.166,67 (\pm R\$ 16.166,66 milhões) e \pm US\$ 8.333,33 milhões (\pm R\$ 32.333,32 milhões). A Tabela 3 demonstra um potencial bilionário para a indústria de reciclagem de e-resíduos para os anos de 2009, 2014, 2016 e 2018. A equação (2) foi utilizada como base para os cálculos representados na Tabela 3, e para exemplificar esses cálculos, o ano de 2016 foi utilizado na equação (2.1).

$$PB = \frac{QB \times PC}{QC} \quad (2)$$

Onde:

PB= Potencial econômico para o Brasil (em milhões de US\$); PC= Potencial econômico para a China (em milhões de US\$); QB= Quantidade de e-resíduos no Brasil (em milhões de toneladas); e QC= Quantidade de e-resíduos na China (em milhões de toneladas).

$$PB(2016) = \frac{\pm 1,5 \times 20.000,00 \text{ a } 40.000,00}{7,2} \quad (2.1)$$

$$PB(2016) = \pm 4.166,67 \text{ a } \pm 8.333,33$$

Onde:

PB(2016)=Potencial econômico para o Brasil em 2016 (em milhões de US\$)

Tabela 3. Estimativa do potencial econômico de e-resíduos no Brasil por equivalência a dados da China, de 2009 a 2018

Ano	Quantidade de e-resíduos na China (em milhões de toneladas)	Quantidade de e-resíduos no Brasil (em milhões de toneladas)	Potencial econômico para a China (em milhões de US\$)	Potencial econômico para o Brasil (em milhões de US\$)	Potencial econômico para o Brasil (em milhões de R\$)
2009	± 4,63	±1,03	±10.000,00 a ±20.000,00	±2.224,64 a ±4.166,67	±8.631,60 a ±16.166,68
2014	±6,033	±1,412	±15.000,00 a ±35.000,00	±3.510,69 a ±8.191,61	±13.621,48 a ±31.783,45
2016	±7,2	±1,5	±20.000,00 a ±40.000,00	±4.166,67 a ±8.333,33	±16.666,66 a ±32.333,32
2018 ⁵⁵	Sem dados ⁵⁶	±1,711	±23.000,00 a ±50.000,00	± 5.465,69 a ±11.881,94	±21.206,88 a ±46.101,93

Fonte: (Tabela elaborada pelo autor; ZENG *et al*, 2016; BALDÉ *et al*, 2017; KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015; e BALDÉ *et al*, 2015).

Apesar de indícios de sua lucratividade, a reciclagem de e-resíduos apresenta índices baixos, logo deve-se questionar se há viabilidade econômica. Quando se trata de uma instalação

⁵⁵ Os dados de 2018 são previsões.

⁵⁶ Para cálculos de 2018 foi utilizada a quantidade de e-resíduos na China de 2016.

ou usina de reciclagem dedicada (as designadas “*material recovery facilities*”⁵⁷), não existe ainda um modelo de infraestrutura fixo. Essas usinas podem variar em tamanho, podendo ser de pequeno, médio e grande porte dependendo das funções desempenhadas.

As usinas pequenas se restringem ao desmonte de equipamentos e separação de componentes, apesar de não apresentarem margem de lucro tão grande elas têm a vantagem de não precisarem de muito espaço e maquinário. As usinas de médio porte costumam processar materiais como polímeros e placas de circuito impresso e, para serem viáveis são necessárias grandes quantidades de e-resíduos. Os compradores de matéria prima dessas usinas são regionais (PRS, 2015). As usinas de grande porte geralmente já incorporam o processo de separação e reciclagem em sua estrutura. Técnicas tecnologicamente avançadas são empregadas como a pirólise⁵⁸ e o processamento de dissolução de materiais valiosos como o ouro, cobre e prata. Costumam trabalhar em nível internacional como fornecedores de matéria prima a grandes produtores (PRS, 2015).

Nos Estados Unidos, a extensão de boa parte dessas instalações é pequena, capaz de empregar cerca de 20 pessoas (para a triagem e reciclagem) e, com capacidade de aceitar entre 2500 a 5000 toneladas de e-resíduos ao ano (KANG e SCHOENUNG, 2006). No Brasil, o gerenciamento e a reciclagem desses resíduos estão associados, acima de tudo, ao sucateamento de metais comuns e preciosos. Visto isso, o desenvolvimento de plantas de processamento de e-resíduos deve crescer nos próximos anos (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015) A coleta desses resíduos é geralmente feita por programas de coleta permanentes que recolhem desde casas até empresas e indústrias. Visto isso, percebe-se que, geralmente, os e-resíduos gerados em casas são menos homogêneos⁵⁹ do que aqueles gerados por agentes econômicos (KANG e SCHOENUNG, 2006).

Utilizando a equação (4) como base, foi possível obter uma estimativa do número de instalações que o Brasil necessitaria com o volume de e-resíduos em 2016. Foi estimado (pelas equações (4.1) e (4.2)) que a quantidade de instalações de porte pequeno necessárias será entre 300 e 600 instalações, dependendo da quantidade de resíduos recebidos. Utilizando a equação

⁵⁷ O papel dessas instalações é de levar o resíduo eletrônico coletado e, após vários processos, revender os componentes e os materiais recuperados, e por fim, pagar uma taxa pela disposição dos resíduos não-recicláveis (KANG e SCHOENUNG, 2006).

⁵⁸ A pirólise é um processo físico-químico de transformação pelo aquecimento de uma mistura de um composto químico ou outras substâncias.

⁵⁹ A homogeneidade dos e-resíduos influencia o custo de sua reciclagem, ou seja, quanto mais homogêneo for, menos custoso será a reciclagem do resíduo. (KANG e SCHOENUNG, 2006).

(5) como base, foi possível obter uma estimativa do número de empregos potenciais estimados. Foi estimado (pelas equações (5.1) e (5.2)) que todas essas usinas de pequeno ou médio porte poderiam empregar entre 6.000 a 12.000 trabalhadores dependendo, primariamente, da quantidade de unidades. Se existir viabilidade para usinas maiores o seu impacto no ciclo econômico pode ser mais substancial.

$$n = \frac{QB}{Cp} \quad (4)$$

$$n = \frac{1,5 \times 10^6}{5.000} = 300 \quad (4.1)$$

$$n = \frac{1,5 \times 10^6}{2.500} = 600 \quad (4.2)$$

Onde:

n=número estimado de instalações; QB= Quantidade de e-resíduos no Brasil (em toneladas); e Cp=Capacidade de aceitação de resíduos.

$$TJe = Je \times n \quad (5)$$

$$20 \times 300 = 6.000 \quad (5.1)$$

$$20 \times 600 = 12.000 \quad (5.2)$$

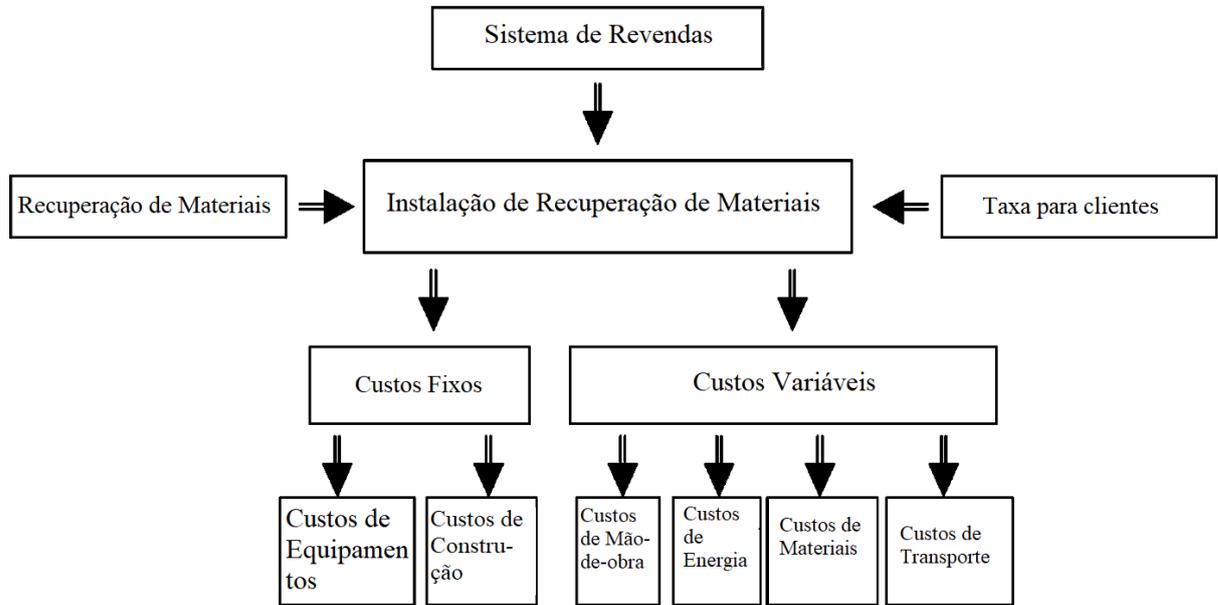
Onde:

TJe=Total de empregos potenciais estimados; n=número estimado de instalações; e Je=empregos potenciais estimados

A Figura 6 ilustra os fluxos de custo e receita das instalações de reciclagem de e-resíduos, um modelo elaborado por Kang e Schoenung (2006). Os custos, que são compostos pela mão-de-obra, equipamentos, energia, custos materiais (descontos, taxas de aterros, custos de reciclagem de monitores CRT, etc.), transporte e construção, estão representados pelas setas que estão apontando para fora. Já a sua receita, que é composta pelo sistema de revenda de componentes, os materiais recuperados e a taxa pelo serviço cobrado a clientes⁶⁰, estão representados pelas setas que estão apontando para dentro. As equações (6) e (7) representam os custos variáveis e os custos fixos. As equações (8), (9) e (10) representam os custos por unidade, custos totais e a rentabilidade respectivamente (KANG e SCHOENUNG, 2006), já a equação (11) representa o lucro de cada instalação de reciclagem.

⁶⁰ Os clientes principais dessas usinas geralmente são os produtores, que por meio de acordos setoriais buscam minimizar os custos de reciclagem de seus produtos no fim de vida útil.

Figura 6. Fluxo de custos e receita relacionados a instalação de recuperação de materiais para reciclagem de resíduos eletrônicos.



Fonte: adaptado de (KANG e SCHOENUNG, 2006).

$$CV = (M + E + L + T) \quad (6)$$

$$CF = (Eq + CC) \quad (7)$$

$$CO/n = CV + CF \quad (8)$$

Onde:

CV=Custos Variáveis; CF=Custos Fixos; CO/n = Custos Operacionais por unidade; M= custos materiais; E= Energia; L=Mão-de-obra; T=Transporte; Eq=Equipamentos; e CC=Custos de Construção.

$$CT = \sum(n) \quad (9)$$

Onde:

CT= Custos Totais; e n=custos de cada unidade de operação

$$R = RC + MR + TS \quad (10)$$

Onde:

R=Renda; SRC=Revenda de componentes; MR=Materiais Recuperados; e TS=Taxa cobrada aos clientes.

$$Lc/n = R - CO/n \quad (11)$$

Onde:

Lc/n=Lucro por unidade; R=Renda; e CO/n=Custos Operacionais por unidade

O estudo de caso elaborado por Kang e Schoenung (2006) revelou que os custos materiais e custos com mão-de-obra representaram os maiores fatores que influenciaram os custos, seguidos pelos custos de desmantelamento, coleta, categorização e separação. Notou-se também que a maioria dos custos envolvidos na reciclagem de e-resíduos são custos variáveis. Em relação aos fatores que influenciaram a renda, a taxa cobrada aos seus clientes pelo serviço foi o maior fator, seguido pela recuperação de metais. A contribuição da recuperação de plásticos e a revenda de componentes foi muito pequena. Para maximizar a rentabilidade e viabilidade econômica das atividades destas instalações, a qualidade dos e-resíduos coletados deve ser alta e deve conter materiais de alto valor de mercado (KANG e SCHOENUNG, 2006).

Mostafa e Sarhan (2018) elaboraram um estudo de caso baseado em um plano de negócios de cinco anos que envolveu determinar a viabilidade da instalação de uma usina de reciclagem de e-resíduos no Egito. A metodologia deste estudo foi composta por duas partes principais: a análise estratégica de inventário e um estudo de viabilidade; e o cálculo de previsão de lucros e perdas baseados no fluxo de massa e, a receita e os custos operacionais esperados. Para realizar o plano de negócios, foi utilizada uma ferramenta de cálculos, desenvolvida pela iniciativa StEP e outros parceiros. Essa ferramenta utiliza dados como os diferentes tipos de equipamentos e custos baseados pela localidade, como o salário e o combustível. A ferramenta também contabiliza os seguintes fatores: pessoal necessário para operar, investimentos e equipamentos; horas de trabalho necessárias; e o financiamento da Responsabilidade Estendida do Produtor e taxas de reciclagem (MOSTAFA e SARHAN, 2018).

Para estabelecer o plano de negócios, Mostafa e Sarhan (2018) pressupuseram algumas condições estruturais. De antemão, não foi considerado uma operação que vá além de cinco anos pelos seguintes motivos: dados insuficientes; imprevisibilidade da economia nacional; novos competidores; e novas tecnologias. Outros pressupostos para os cálculos incluem: uma entrada inicial estimada de e-resíduo equivalente a 2.500 toneladas/ano, com um aumento para cerca de 2.839,1 toneladas/ano após cinco anos de operação; a porcentagem de tipos de e-resíduos e suas composições; os custos para obter os e-resíduos; custos baseados na localidade (neste caso na cidade do Cairo); que a instalação seja proprietária de seus meios de transporte;

e que a instalação foi instaurada por meio de um acordo público-privado, logo não haverá custos de construção, apenas de aluguel (MOSTAFA e SARHAN, 2018).

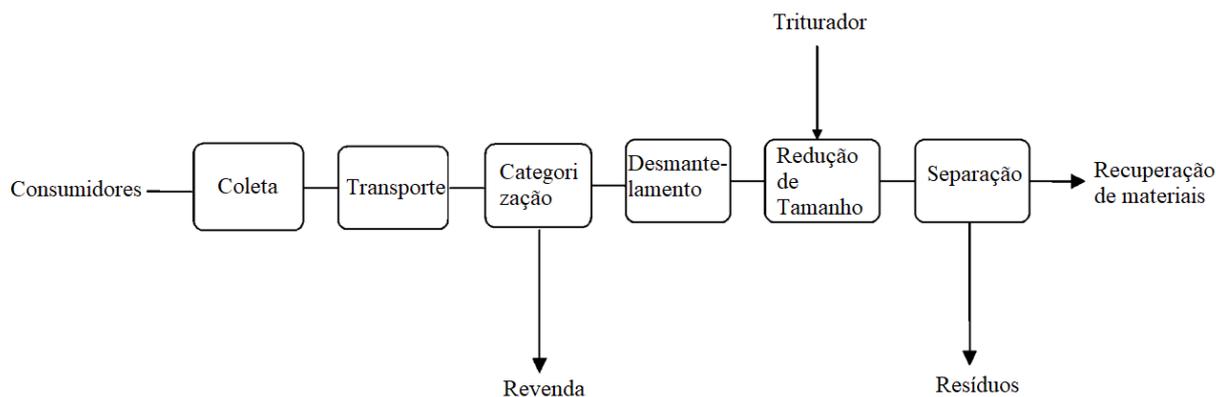
Mostafa e Sarhan (2018) comentam que, em termos de investimentos e custos, foi estimado que conjuntamente aos administradores, a usina de reciclagem de e-resíduos deverá contar com 86 a 97 funcionários durante seus cinco anos de operação iniciais. Também assinalaram que o expediente e salário dos funcionários refletiram sobre a realidade trabalhista do Egito. Os autores desse estudo também estimaram que a área necessária para estabelecer a operação seria de cerca de 11.905 m², uma extensão que abrange todas as necessidades da usina e sua administração. Os custos do aluguel foram baseados no mercado de alugueis egípcio. Mostafa e Sarhan (2018) que o investimento inicial em equipamentos de tratamento deve ser em torno de US\$ 70.000,00 (R\$ 271.600,00), no que se refere a reposição de equipamentos, os custos estimados podem variar entre US\$ 25.000,00 (R\$ 97.000,00) e US\$ 28.000,00 (R\$ 108.640,00) ao ano. Os custos significativos incluíram também: os custos de obtenção de e-resíduos; custos de depreciação de equipamentos e veículos; custos administrativos; custos em energia; custos de manutenção e limpeza; e custos com planos de seguro e imposto.

Em termos de viabilidade para uma usina de reciclagem de e-resíduos, Mostafa e Sarhan (2018) estimam que uma instalação que recebe 2.500 toneladas ao ano pode ter uma receita anual (no ano inicial) de US\$ 3.899.334,00 (R\$ 15.129.415,90). Os custos totais para o ano inicial equivaleram a US\$ 3.383.009,00 (R\$ 13.126.074,92), sendo que os custos para a obtenção de e-resíduos representaram cerca de 70% dos custos totais. O lucro de uma usina de reciclagem de e-resíduos (no Egito) foi de US\$ 516.325,00 (R\$ 2.003.341,00) no primeiro ano de operação, evoluindo para US\$ 708.659,00 (R\$ 2.749.596,92) no quinto ano de operação (MOSTAFA e SARHAN, 2018). Conforme estas informações, pode-se concluir que se os custos para a obtenção de e-resíduos forem minimizados, o lucro dessas usinas poderá ser ampliado significativamente. Logo, se a fonte dos e-resíduos for canalizada com maior facilidade e menos custo, a viabilidade dessas usinas é muito alta. A aplicabilidade desse estudo para o caso brasileiro dependerá primariamente dos seus custos equivalentes. Recomenda-se então, a confecção de um estudo de caso brasileiro aprofundado.

A Figura 7 ilustra a os processos em uma instalação de recuperação de materiais para reciclagem de resíduos eletrônicos. Os e-resíduos são coletados após seu uso pelos consumidores e em seguida transportados para a usina. Logo após são categorizados a fim de verificar se seus componentes ainda têm valor para a revenda, aqueles que não atingem esse

requisito são desmontados e triturados a fim de reduzir seu tamanho. A separação dos materiais envolve técnicas de reciclagem que dependem do tipo de material. A matéria prima recuperada é vendida aos produtores e os resíduos restantes são encaminhados para seu destino final.

Figura 7. Sequência dos processos em uma instalação de recuperação de materiais para reciclagem de resíduos eletrônicos



Materiais recuperados: Metais, Plásticos, Vidro de CRT

Separação de metais ferrosos: Separador magnético

Separação de metais não-ferrosos: Separador de corrente de Foucault

Fonte: adaptado de (KANG e SCHOENUNG, 2006).

Kang e Schoenung (2006) também afirmam em seu estudo de caso que, segundo a *Environmental Protection Agency* (2000) dos Estados Unidos, 80% dos consumidores americanos estariam dispostos a pagar uma taxa extra sobre o produto de menos de US\$ 5 (R\$19,40) pela reciclagem de eletroeletrônicos obsoletos. Por fim, existem inúmeros problemas que podem levar à uma incerteza do mercado em relação a sustentabilidade econômica da indústria de reciclagem de eletrônicos. Estes fatores incluem a mudança da legislação, novas tecnologias de reciclagem, mercados para a recuperação de materiais e/ou componentes e o fornecimento constante de e-resíduos (KANG e SCHOENUNG, 2006), assim como a reciclagem informal.

Como exibido anteriormente, o caso chinês é extremo, deve-se atentar a experiência chinesa a fim de evitar uma situação semelhante que inviabilize a indústria de reciclagem formal. A reciclagem de e-resíduos aparenta ter vantagens econômicas atraentes para segmentos de baixa renda de países em desenvolvimento, onde a desigualdade econômica e social é muito elevada. Por esse motivo, a reciclagem "informal" de e-resíduos, na China, prejudica a oferta ao setor formal dessa atividade, afetando, por sucessão, o emprego de métodos de reciclagem mais eficientes e sustentáveis (PERKINS *et al*, 2014). Este processo de

oferta e demanda deve-se a realidade de muitos países em desenvolvimento não possuírem as instalações, as tecnologias e os recursos necessários para a reciclagem e disposição final adequada dos e-resíduos.

Técnicas antiquadas podem aparentar eficiência para recicladores informais, mas, pelo contrário, “elas não garantem proteção ambiental ou segurança no trabalho, assim como a perda de eficiência ao levar à recuperação de apenas uma fração de matéria prima e retorno econômico” (PERKINS *et al*, 2014, p.288, nossa tradução). A reciclagem informal também está associada a outros impactos ambientais e socioeconômicos negativos como a disposição final em espaços públicos ou lixo municipal, a queima e liberação de gases tóxicos e, o trabalho infantil (CEDARE, 2011 *apud* MOSTAFA e SARHAN, 2018).

Chi *et al.* (2011, p.736, nossa tradução) remarcam que “a coleta informal é uma das causas essenciais da falta de oferta desses materiais no setor formal”. Logo, o setor informal deve ser tratado com atenção, já que os “coletores informais são capazes de comprar eletroeletrônicos de residências por preços mais baixos e tratar esses materiais em oficinas informais por custos menores” (YANG *et al*, 2008, *apud* CHI *et al*, 2011, p.736, nossa tradução). Conseqüentemente, “a baixa rentabilidade dos recicladores formais limita suas habilidades financeiras para competir com coletores informais na compra de resíduos eletrônicos das famílias” (CHI *et al*, 2011, p.736, nossa tradução).

Em razão disso, pode comprometer a eficácia e a eficiência de Políticas Públicas orientadas ao tratamento de e-resíduos. Essa situação é uma ocorrência comum na China, onde vários projetos têm sido colocados em prática, a fim de se obter mais conhecimento sobre a sua reciclagem. Porém, esses programas não têm obtido muito sucesso na sua efetivação, principalmente no que concerne à coleta dos resíduos, e, por consequência, acabam operando muito abaixo de suas capacidades máximas (CHI *et al*, 2011).

Nomeadamente, a reciclagem pode ser uma atividade favorável ao agente econômico, a países com alta demanda de matéria-prima e produtos eletroeletrônicos, e ao meio ambiente. O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, do inglês *United States Geological Survey*) indica que isso ocorre, pois, “muitos metais especiais são produzidos por um punhado de países” e “reciclá-los a partir de e-resíduos é um seguro contra os perigos do poder de mercado. Este poderia conduzir a um aumento no preço de um metal acima do seu valor competitivo, resultando em perda de bem-estar” (USGS, 2009 *apud* SAPHORES, OGUNSEITAN e SHAPIRO, 2012, p.50, nossa tradução). Segundo o *Basel Action Network* (2010, *apud*

SAPHORES, OGUNSEITAN e SHAPIRO, 2012, p.50, nossa tradução), vários motivos explicaram o baixo fluxo de reciclagem de e-resíduos: “(1) as leis de e-resíduos não são eficazes ou eficientes; (2) os incentivos para a reciclagem de e-resíduos são insuficientes; (3) os programas de reciclagem não são apropriados; e (4) a população não está suficientemente consciente dos riscos envolvidos”.

É recomendado considerar seriamente os instrumentos econômicos, especialmente o sistema de depósito-reembolso (uma junção de imposto e subsídio). Há de se notar que a qualidade e quantidade dos e-resíduos coletados é dependente do engajamento e consciência ambiental dos consumidores. Por fim, é necessário haver incentivos que estimulam a população e agentes econômicos a praticarem a reciclagem de resíduos eletrônicos. São resíduos que por si sós não possuem grande valor, mas agregados têm um potencial econômico relevante.

3.2. O Sistema de Depósito-Reembolso e o rastreamento do fluxo de e-resíduos

Diante da problemática de um fluxo constantemente acelerado de e-resíduos no mundo, é necessário apresentar soluções, por iniciativas privadas, governamentais e multilaterais, para mitigar os impactos ambientais resultantes. Como foi mencionado no Capítulo 1, não existe uma coleta de dados uniforme e oficial, conseqüentemente todos os dados sobre o fluxo real de e-resíduos no planeta são estimativas. Frisa-se então a urgência de estabelecer um método que possa revelar o “fluxo oculto” de e-resíduos. De antemão, é necessário entender como funciona o Sistema de Depósito-Reembolso⁶¹, um instrumento de economia ambiental. O funcionamento do SDR consiste na junção de imposto e subsídio. “O consumidor, no ato da compra, realiza um depósito compulsório que tem o seu reembolso condicionado à devolução da parte não consumível do produto” (ZAPATA e NOGUEIRA, 2004, p.1759). O SDR se mostra mais eficaz do que instrumentos de comando e controle, pois o posterior requer um grau de monitoramento cujos custos seriam muito elevados, especialmente para alguns tipos de e-resíduos, como pilhas e baterias. O depósito efetuado pelo consumidor deve ir para um sistema central, que deve reembolsar esse valor no momento de retorno do resíduo sólido (ZAPATA e NOGUEIRA, 2004).

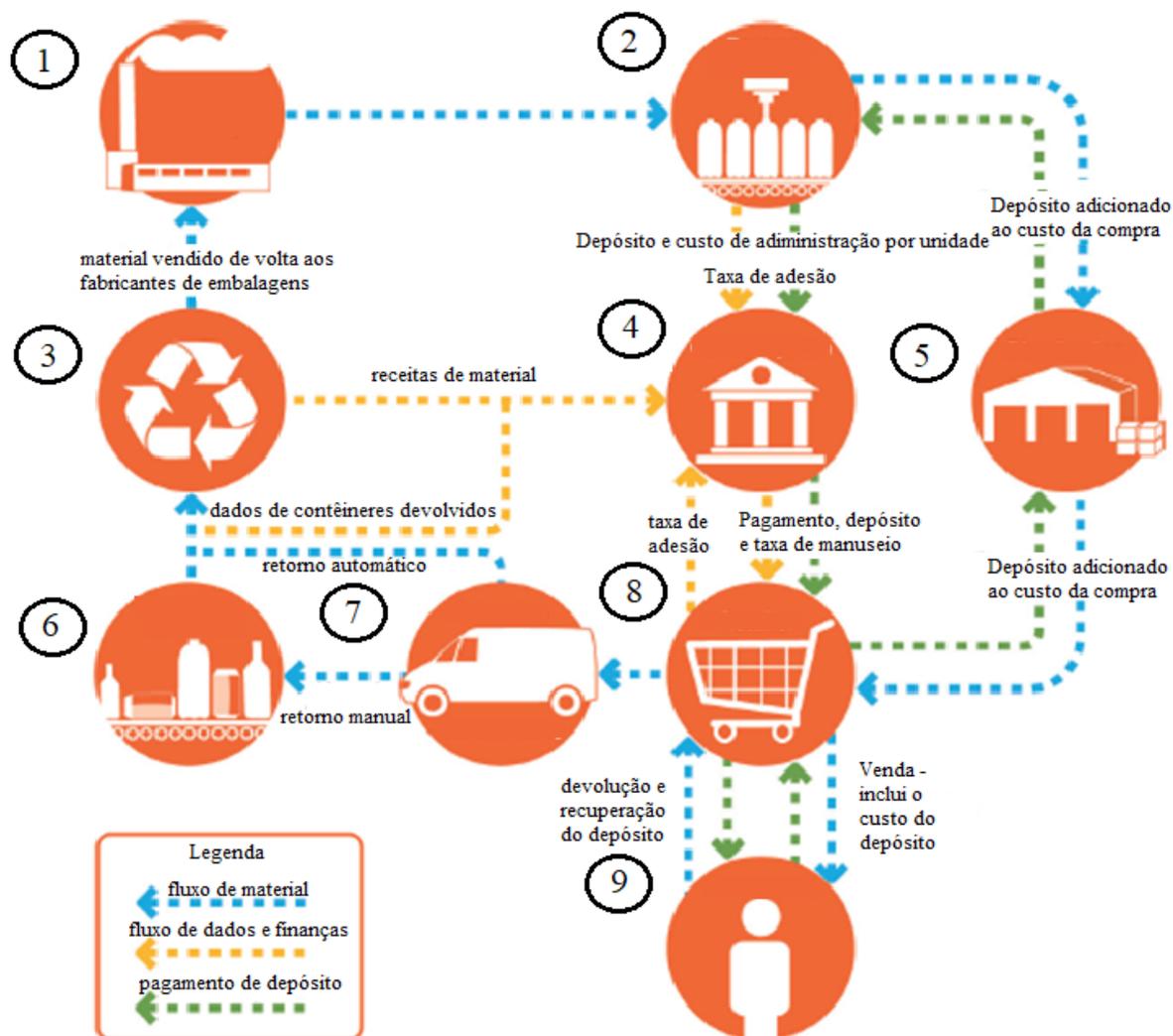
De acordo com Zapata e Nogueira (2004), o SDR apresenta estrutura complementar com os fins da reciclagem e reutilização, já que garante o fornecimento de material para estas atividades, retirando, portanto, uma das incertezas do estabelecimento de usinas de reciclagem.

⁶¹ Seu propósito é, primariamente, de induzir o consumidor a devolver os componentes não consumíveis de um produto para que o reprocessamento seja realizado (ZAPATA e NOGUEIRA, 2004).

Uma das características mais importantes e sensíveis do SDR são os valores cobrados para o imposto e subsídio. Assim, o SDR deve mirar a maximização da devolução do material não consumido evitando que os valores de imposto e subsídio sejam nem muito altos ou muito baixos. No primeiro caso, ocorreria um aumento no preço do produto compensando o alto imposto cobrado, isso reduziria a demanda por este produto e posteriormente o valor do subsídio seria mais alto que os custos de produção, tirando assim o incentivo do produtor de produzir. No segundo caso, com valores muito baixos, os consumidores não teriam motivação suficiente para devolver os componentes levando à baixas taxas de retorno e a inviabilização do SDR e da reciclagem (ZAPATA e NOGUEIRA, 2004).

De acordo com Zapata e Nogueira (2004), o SDR se distingue de outros instrumentos econômicos, a determinação de sua implementação não é restrita, logo ela pode vir não apenas do governo, mas também dos agentes econômicos. “O governo central tem a possibilidade de adotar programas de incentivo apoiado por legislação específica. As indústrias, por sua vez, podem ver no sistema uma forma de minimizar seus custos ou melhorar sua imagem perante o consumidor que se preocupa com questões ambientais” (ZAPATA e NOGUEIRA, 2004, p.1760). Esses agentes através da disseminação da informação podem estabelecer pontos de recolhimento e estimular consumidores e distribuidores a participarem do processo. Os benefícios do SDR também incluem a redução substancial dos custos de transporte, a possibilidade de investimentos, geração de empregos e renda, a melhoria nas condições de trabalho e a formalização do trabalho informal associado à reciclagem.

Figura 8. Funcionamento do Sistema de depósito-reembolso para a indústria de bebidas



Fonte: (adaptado de EUNOMIA *apud* MRW, 2018).

Legenda: 1 – Indústria de empacotamento; 2 – Indústria de bebidas; 3 – Reciclagem; 4 – Sistema central; 5 – Distribuição; 6 – Centros de contagem; 7 – Coleta; 8 – Varejista; 9 – Consumidor.

A Figura 8 apresenta o funcionamento do SDR na indústria de bebidas, vale notar que o SDR pode ser facilmente adaptado a diversos tipos de resíduos sólidos como automóveis, garrafas, e até para eletroeletrônicos. As setas azuis representam o fluxo de material, seguindo a logística comum, do produtor ao varejo, até o consumidor. Em seguida a logística reversa é aplicada, o consumidor entrega o resíduo em um ponto de coleta, esse resíduo é transportado ao reciclador após sua categorização e, logo depois é reencaminhado ao produtor sob a forma de matéria prima. As setas amarelas representam o fluxo de dados e de finanças, um sistema central receberia uma taxa de adesão e de administração para operar o SDR, assim como

receberia dados sobre os resíduos recebidos. As setas verdes representam o depósito reembolsável por consumidores que é aplicado aos produtos

Para implementar o SDR é necessário atingir valores ótimos do depósito e reembolso. “O cálculo do depósito deve incluir os custos comerciais do produto, sendo que os custos ambientais estão associados à disposição final do produto ou do lixo. Os reembolsos devem, em termos teóricos, ser iguais aos custos ambientais evitados mais o valor de sucata do produto” (FULLERTON e KINNAMAN, 1995 *apud* ZAPATA e NOGUEIRA, 2004, p.1760). De forma geral, as consequências da implementação de um SDR com valor ótimo serão: (1) Para os varejistas, o custo do produto será mantido, assim como sua margem de lucro; (2) Para o consumidor, será pago um valor maior pela aquisição, porém esse valor poderá ser recuperado após a devolução. Desta forma, é possível evitar a disposição final inadequada de um resíduo reciclável sem fazer grandes alterações no ciclo econômico. Além disso, de acordo com Zapata e Nogueira (2004), os gastos de capital e diferença de custos para todos os fatores envolvidos no processo não são os únicos custos relacionados ao SDR. Os custos para a implementação podem ser muito altos e até inviabilizar o SDR, logo a participação do governo ou organismos internacionais para financiar os custos iniciais é uma opção, assim como a criação de uma empresa dedicada pelos agentes econômicos interessados.

Quando garantido o desempenho eficaz e eficiente do SDR, é possível integrar esse instrumento econômico a um sistema de gestão de e-resíduos, com nome e sigla – Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Eletrônicos (SINGRE). Esse sistema atuará de forma semelhante a outros sistemas de gestão nacionais, e funcionará com a cooperação do governo e agentes econômicos, conjuntamente com a participação do consumidor que será orientado pelo acesso a informação. Será então possível corrigir, em parte, a raiz da problemática dos e-resíduos: a falta de dados reais e oficiais. Desta maneira, será possível elaborar Políticas Públicas mais efetivas e eficientes destinadas não apenas à União, mas também a suas Unidades Federativas (UF) e municípios.

A Figura 9 apresenta o Portal e-SINGRE aos usuários visitantes. Nesse portal digital são expostas as informações de maior relevância e tangência com o SINGRE. Primeiramente, explica-se ao usuário como o SINGRE foi formado, o que é, o seu papel, como funciona, sua justificativa e seus órgãos e entidades atuadoras. Em seguida, apresenta-se um resumo da Agenda 2030 e sua relação com a iniciativa, a sua legislação relacionada e outras motivações da criação do SINGRE. O portal também indica seu calendário, suas reuniões e eventos

pertinentes. O SINGRE apresenta ao visitante os postos de coleta em todo o Brasil, divididos em suas unidades federativas e municípios. Para facilitar a navegação do visitante, também é oferecido um tutorial de navegação do e-SINGRE. Há também uma opção para fazer contato com os administradores do portal. Finalmente, é possível fazer o cadastro de usuário e editar dados na plataforma⁶².

Figura 9. Portal e-SINGRE

 BRASIL	SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS (SINGRE)
e-SINGRE	Sobre o Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Eletrônicos (SINGRE)
Sobre o SINGRE	<p>Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus magna cras et ligula viverra, vestibulum varius curabitur himenaeos diam senectus quis. hac torquent nam cubilia ornare placerat bibendum aliquam ante aliquam nam mattis proin, fames pulvinar curae netus bibendum ultricies at sollicitudin mattis pretium. tortor turpis faucibus odio nunc risus turpis praesent, in a aenean bibendum aliquam varius praesent, ac aliquam justo nisl malesuada vestibulum. placerat tincidunt mauris ipsum conubia velit feugiat mauris enim, interdum fermentum nulla consequat nunc aliquam feugiat eleifend platea, aliquam augue amet vestibulum senectus aliquam et.</p> <p>Tempus suspendisse aliquam pulvinar netus suscipit mattis quam enim nulla vestibulum ullamcorper nam, hendrerit amet tempor dictum volutpat aenean tellus commodo nisl hendrerit quisque magna, fusce hendrerit at elit ac est etiam eleifend lorem curabitur eleifend. ad donec aenean varius aenean non rutrum ultrices ullamcorper, mattis fames luctus non condimentum curae leo sem, dapibus netus volutpat pharetra aliquam faucibus ipsum. etiam praesent aptent massa taciti et arcu facilisis fermentum, elementum eleifend ut volutpat convallis tempor nibh, potenti nulla nisl etiam nam habitasse neque. orci eleifend fringilla eros lectus urna velit orci, id mi semper per pharetra lorem ut pulvinar, at porta dictum luctus fringilla curabitur.</p> <p>Class sed class pellentesque mi ipsum mattis augue phasellus, mollis taciti nam sed viverra scelerisque nisi eros quis, diam lobortis mauris iaculis suscipit aliquam taciti. vitae placerat iaculis consequat molestie class placerat netus inceptos dictum nullam himenaeos molestie vitae, diam ut curabitur class iaculis in dictumst tempus volutpat lacinia leo ante. fusce curabitur fringilla feugiat rutrum diam consetetur pulvinar sem tristique ante, tempor vehicula ligula leo felis proin vestibulum torquent molestie, enim aliquam morbi nunc auctor sagittis erat enim elit. enim nulla urna ligula donec sagittis ultricies maecenas litora orci fringilla euismod per nec, sodales ac tortor donec auctor sed etiam velit enim praesent convallis.</p> <p>Ad dictumst sollicitudin nullam donec ullamcorper hendrerit rutrum pellentesque consetetur, faucibus ante sollicitudin faucibus rutrum sollicitudin non urna, quis placerat porttitor odio etiam sem imperdiet ullamcorper. habitant nisl eleifend netus curabitur ullamcorper sagittis nostra torquent aptent, blandit felis a diam malesuada senectus urna ut feugiat, tortor proin tristique mollis ullamcorper sem massa lectus, conubia inceptos luctus conubia ultrices porttitor suscipit commodo. id potenti nec vulputate curabitur faucibus arcu sem egestas placerat, convallis luctus aliquet et netus accumsan lectus urna curabitur aliquet, volutpat nisl pharetra ullamcorper a sagittis sollicitudin pulvinar. placerat pharetra suscipit senectus himenaeos in ad risus ut ante, etiam lorem ultrices sollicitudin hac sem eu elit praesent, augue donec sagittis nisi suscipit vehicula odio orci.</p> <p>Lobortis quisque tellus curae et eget donec posuere elit lacus in curabitur, blandit arcu fames habitant tellus nisl mi imperdiet vehicula nam vel, hac ut pretium ac erat inceptos ante magna primis purus. aliquam dictumst porta pretium convallis</p>
Agenda 2030	
Legislação	
Quem é quem	
Reuniões	
Eventos	
Calendário	
Pontos de coleta	
Como Navegar	
Relatórios	
usuário	
senha	
Esqueceu sua senha? Cadastre-se	
Contato	

Fonte: Proposto pelo autor deste estudo (2018)

A Figura 10 representa a interface de relatórios do SINGRE enviados por cada posto de coleta de resíduos eletrônicos cadastrado no portal e-SINGRE. A partir do portal, é possível escolher o ano dos relatórios que deseja verificar. Nesse repositório, um visitante tem a possibilidade de visualizar os relatórios de cada posto de coleta de e-resíduos, assim como observar os relatórios nacionais, estaduais e municipais que serão elaborados pelos órgãos públicos responsáveis. Cada posto de coleta deve fazer um cadastro para se tornar usuário do SINGRE, gerando um código, o qual poderá ser identificado no sistema conjuntamente com sua localização. Por fim, deve-se enviar relatório em formato (.pdf) ao SINGRE em períodos determinados pela legislação.

⁶² Esta opção é exclusiva aos administradores e agentes econômicos da coleta de resíduos.

Figura 10. Interface de Relatórios do SINGRE enviados por cada posto de coleta registrado

 BRASIL	SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS (SINGRE)			
RELATÓRIOS 2018	Postos de coleta de resíduos eletrônicos no Distrito Federal (DF)			
	Código do Posto	Localização na Unidade Federativa	Relatório	
NACIONAL	XSET12	ASA SUL		
ESTADUAL	XSET13	ASA SUL		
	XSET14	ASA SUL		
	RJ	XSET15	ASA SUL	
	SP	CET01	CEILÂNDIA	
		CET02	CEILÂNDIA	
	DF	CET03	CEILÂNDIA	
	MG	CET04	CEILÂNDIA	
	RS	CET05	CEILÂNDIA	
		CET06	CEILÂNDIA	
	SC	CET07	CEILÂNDIA	
	PR	CET08	CEILÂNDIA	
CET09		CEILÂNDIA		
MUNICIPAL	CET10	CEILÂNDIA		
	CET11	CEILÂNDIA		

Fonte: Proposto pelo autor deste estudo (2018)

A Figura 11 representa o proposto Inventário Nacional de Eletroeletrônicos (INEE). Este inventário é disponibilizado a todos os visitantes e usuários registrados com o intuito de estimular atividades de reciclagem e descarte final. O INEE é dividido em categorias determinadas por lei federal, que, por sua vez, são divididas em subcategorias referentes ao tipo de eletroeletrônico específico – por exemplo, a categoria II refere-se a equipamentos de telecomunicações e a subcategoria III, a telefones celulares. No exemplo estabelecido, a empresa que produziu tem a tarefa de registrar o modelo do aparelho, assim como divulgar a composição dos materiais utilizados na sua fabricação, com o fim de identificar materiais potencialmente perigosos e economicamente interessantes para a reciclagem. Por último, à medida em que as vendas são efetuadas, as unidades de eletroeletrônicos devem ser registradas automaticamente pelo sistema.

Figura 11. Inventário Nacional de Eletroeletrônicos

BRASIL	SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS (SINGRE)			
e-SINGRE	Inventário Nacional de Eletroeletrônicos			
	Categoria II - Subcategoria III - Telefones Celulares			
	Empresa	Modelo	Materiais e Componentes	Unidades Registradas
Inventário Nacional de Eletroeletrônicos Categorias I II III IV V	Apple Inc.	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	7.500.098
	Apple Inc.	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	3.450.098
	Apple Inc.	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	5.678.456
	Sony	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	1.304.103
	Sony	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	200.456
	Sony	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	4.560.567
	Asus	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	345.678
	Asus	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	34.670
	Motorola	Lorem ipsum	Lorem ipsum pellentesque sollicitudin purus iaculis egestas nam pulvinar, aliquam luctus 	3.456.983

Fonte: Proposto pelo autor deste estudo (2018)

Com o SDR e SINGRE apresentados, é possível demonstrar como funcionaria o ciclo econômico começando de sua manufatura e compra pelo consumidor até seu recolhimento e transporte em um centro de coleta, que em seguida deverá ser encaminhado à uma usina de reciclagem. A Figura 12 demonstra esse ciclo a partir do momento da compra do produto eletroeletrônico, conjuntamente com o depósito reembolsável, pelo consumidor. Por lei, o produto deverá conter um código QR⁶³ (*Quick Response*) em sua embalagem ou estampado em seu corpo. O código QR foi criado no intuito de gerenciar inventário e controlar estoque de peças de automóveis e, na atualidade, é utilizado regularmente pela indústria e pelo comércio. As grandes vantagens do uso do código QR sobre produtos de fim de vida é que, mesmo se o código estiver parcialmente danificado, ainda é possível escaneá-lo; além disso, é possível escanear o código à distância e de ângulos diferentes, sem a necessidade de muito cuidado e procedimentos específicos.

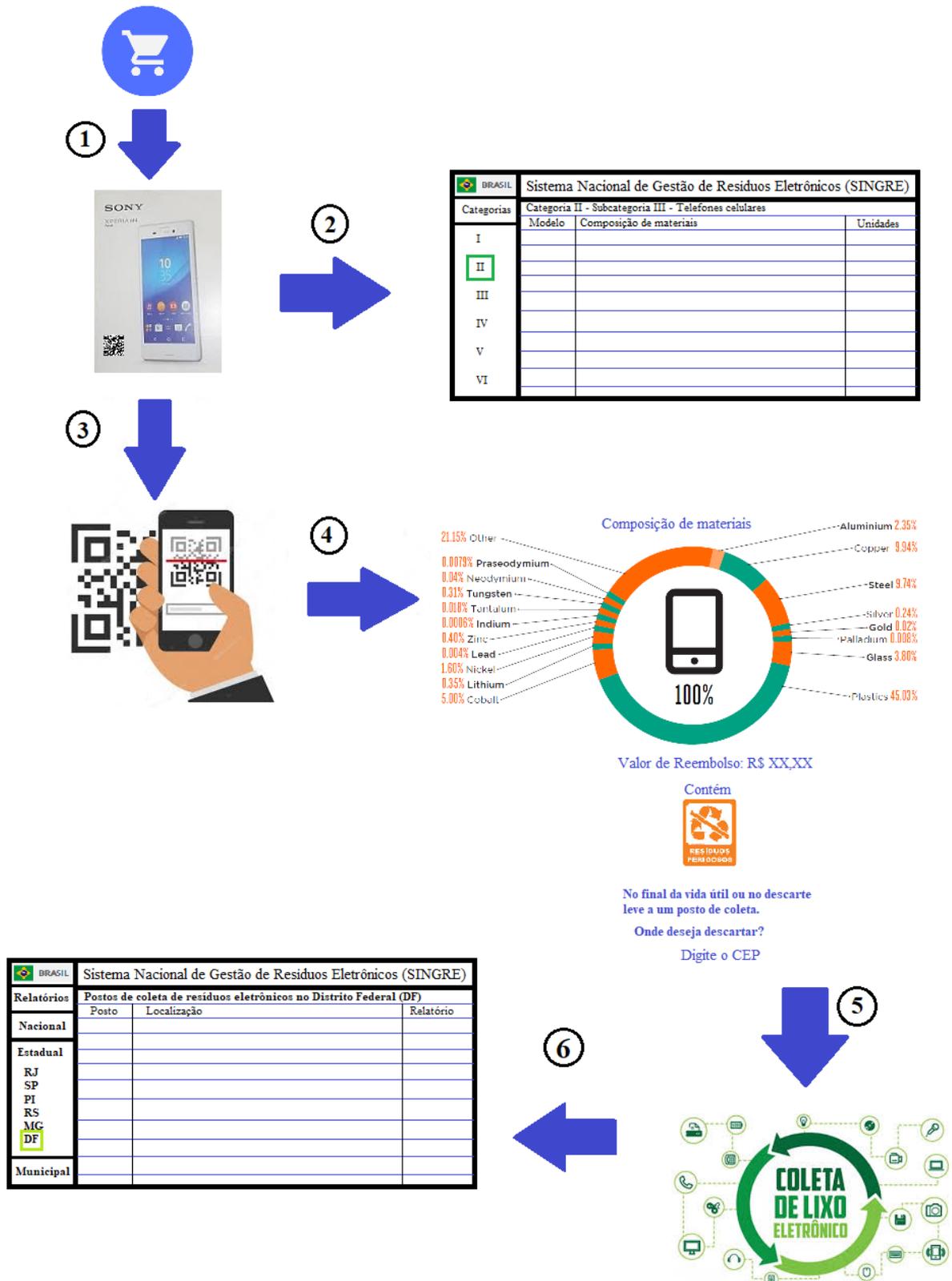
⁶³ O código QR é - como seu nome define- um código de resposta rápida que pode ser escaneado por telefones celulares (um dispositivo de uso comum em todo o mundo) equipados com câmera fotográfica. O código pode ser convertido em um endereço eletrônico, número de telefone ou outras formas de contato, e até uma localização georreferenciada.

No momento de sua compra, o modelo do produto eletroeletrônico é contabilizado no SINGRE e, assim, serão registradas no sistema todas as unidades do produto em circulação. No fim de sua vida útil, o consumidor poderá escanear o código QR para ser direcionado a um endereço eletrônico contendo informações referentes ao descarte apropriado. Essas informações importantes devem incluir: a composição de materiais do produto; uma advertência se o produto conter resíduos perigosos; uma indicação do posto de coleta mais próximo pelo CEP; e o valor de reembolso do produto após entrega em um posto de coleta autorizado. Por fim, quando o e-resíduo é recebido em um posto de coleta, ele é novamente registrado em uma base de dados do SINGRE com o objetivo de adquirir dados sobre o fluxo de e-resíduos. Posteriormente, as empresas que realizam a triagem e reciclagem dos e-resíduos devem elaborar um relatório de suas atividades e do fluxo de resíduos que elas saneiam.

Evidentemente, o sistema não é perfeito. Em primeiro lugar, o produtor deve ser obrigado por lei a incluir o código QR em seu produto, além de potencialmente não desejar fornecer dados específicos sobre seus produtos, como a composição de seus materiais. Em segundo lugar, o sistema de vendas do vendedor deve estar ligado ao SINGRE, senão não ocorrerá o registro da circulação do produto. Em terceiro lugar, o reembolso ao consumidor, em certos casos, pode ser irrisório, causando a não-adesão desse agente. Em quarto lugar, a coleta do resíduo pode ser efetuada por uma empresa de reciclagem não cadastrada, logo o fluxo de e-resíduos real permaneceria desconhecido. E em último lugar, o governo deve se comprometer a monitorar todas as atividades do ciclo produtivo a fim de garantir a atuação eficaz do SINGRE.

Em relação aos ODS, especificamente os objetivos 8, 11 e 12, relacionados ao trabalho decente e crescimento econômico, cidades e comunidades sustentáveis e o consumo e produção responsáveis, os benefícios para atingi-los propostos neste capítulo são aparentes. A reciclagem e o SDR têm competência de promover o consumo e produção sustentáveis; e têm potencial de geração de emprego e estimular a economia, assim como formalizar trabalhadores informais do setor de reciclagem. O SDR e o SINGRE têm capacidade de promover cidades sustentáveis, e a responsabilização do produtor de melhorar sobre seus produtos assim como o engajamento do consumidor no processo de logística reversa.

Figura 12. Funcionamento do ciclo de vida de um produto, da compra ao descarte, com o Sistema Nacional de Resíduos Eletrônicos (SINGRE)



Fonte: (Proposto pelo autor deste estudo, 2018); e (Figuras de HUSEU, 2016; BRASIL, 2018; NEOATTACK, 2016; TOWBAR, 2017; e KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015).

Legenda: 1 – Compra do produto; 2 – Registro do produto no SINGRE; 3 – Leitura de Código QR; 4 – Informações importantes sobre o produto e coleta; 5 – Envio para centros de coleta; 6 – Registro de e-resíduos para confecção de relatório (Nacional, Estadual e Municipal).

4. A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E SUA INTERAÇÃO COM E-RESÍDUOS

4.1. Conceitos fundamentais relacionados a legislação ambiental – prever e prevenir

Quando se trata da criação de legislação ambiental, é necessário entender alguns conceitos fundamentais e princípios básicos. O pilar do direito ambiental se encontra no princípio da responsabilidade objetiva, nesse princípio, mesmo que um dano causado tenha sido um acidente, o responsável tem a responsabilidade legal de repará-lo. Os princípios da prevenção (abordado implicitamente no Art. 225 da Constituição Federal) e da precaução também têm grande importância, principalmente na elaboração de legislação. O princípio da prevenção baseia-se no entendimento de que, uma vez ocorrido um impacto ambiental grave, o retorno à sua forma original não mais é possível. Por exemplo, a extinção de uma espécie da fauna ou da flora configura um dano irreparável. Logo, para evitar desgastes econômicos e ambientais, é mais vantajoso prevenir do que remediar.

Apesar de possuir nome semelhante, o princípio da precaução é um conceito distinto, com uma atuação que precede o princípio anterior. Cunhado na conferência das Nações Unidas realizada no Rio de Janeiro, em 1992, como seu princípio 15, esse princípio não trata de evitar dano ambiental, mas de evitar riscos de dano ambiental. Por exemplo, quando não há muitos conhecimentos científicos sobre uma substância e sua interação com o meio ambiente (como agrotóxicos e e-resíduos), é melhor tomar precauções para proteger o meio ambiente e evitar possíveis riscos ulteriores. Assim, a medida que novas substâncias nocivas e efeitos novos são descobertas a adoção dos Valores Máximos Permitidos, destacados no Capítulo 2, em legislação é recomendada.

Devido a uma nova visão da sociedade perante às questões ambientais, ocorreu um aumento na sensibilidade dos consumidores que pressionam o poder público a sancionar novas legislações ambientais e alterar os padrões de competitividade dos agentes econômicos. Ademais, os próprios agentes econômicos, preocupados com sua imagem corporativa, têm buscado canais de distribuição reversos para mitigar a quantidade de produtos (com sua marca) descartados no meio ambiente. (GUARNIERI, 2011).

A logística reversa no Brasil é caracterizada por ser um instrumento fundamental na atuação do princípio da responsabilidade compartilhada. Para que a responsabilidade compartilhada seja efetiva, Santos (2015) destaca a necessidade da atribuição de funções

àqueles envolvidos no ciclo econômico, assim como a inclusão fundamental do consumidor nesse princípio:

“A existência de uma lei que determine a implementação de uma cadeia de ações coordenadas e sucessivas entre produtores, distribuidores, comerciantes, consumidores e Poder Público é de cariz fundamental. A inclusão do consumidor na responsabilidade compartilhada é, em especial, a ferramenta-chave para se controlar os resíduos pós-consumo, uma vez presente uma sociedade que, como dito, possui hábitos consumeristas cada vez mais intensos e muito pouco sustentáveis”

(SANTOS, 2015, p.256).

Visto isso, se vê necessário avaliar a efetividade da responsabilidade compartilhada. No Brasil, desde a instauração da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi afirmado no Art.56 que a logística reversa deverá ser implementada de forma progressiva. Porém, ao considerar o tempo de vigência da lei, bem como o descarte atual de e-resíduos, pode-se concluir que os resultados da PNRS relacionados à responsabilidade compartilhada ainda são discretos (SANTOS, 2015). A baixa eficácia da responsabilidade compartilhada pode estar ligada a “uma carência na divulgação de informações não só a respeito da PNRS, com todos os seus objetivos e instrumentos para gerenciar o lixo, mas também no que se refere à própria obrigação do consumidor para com a necessidade de proceder à correta disposição dos resíduos” (SANTOS, 2015, p.271).

O relatório do Banco Mundial, de 2012, traz 11 recomendações ao Brasil para otimizar a efetividade da responsabilidade compartilhada, especificamente para os e-resíduos. Entre suas recomendações estão a necessidade dos Estados de harmonizar seus regulamentos a legislação federal; lidar com produtos sem marca; priorizar a capacitação de mão-de-obra; utilizar o processo de certificação e garantias para formalizar o setor informal; avaliar a viabilidade da refinação brasileira de e-resíduos; criar incentivos, financiamento e execução claros; priorizar a conscientização da indústria e da sociedade; otimizar regras e impostos de transporte; avaliar as oportunidades de comércio e a viabilidade de estabelecer uma indústria de reciclagem que abrange toda a América Latina; não se esquecer do segmento de plásticos; e responsabilizar o setor produtivo (THE WORLD BANK, 2012).

A propósito, convém contemplar a designação de responsabilidades pelos resíduos sólidos, na esfera da experiência internacional. Na União Europeia, por exemplo, o conceito da Responsabilidade Estendida do Produtor é utilizado em sua legislação ambiental coletiva. Nos países-membros da União Europeia, de maneira semelhante a outras categorias de resíduos sólidos, como baterias de carro e embalagens, a REP engloba os e-resíduos. Consequentemente, organizações de responsabilidade do produtor são criadas com o objetivo de gerenciar e de cumprir deveres legislativos dos agentes econômicos, conseguindo assim, atingir níveis mais elevados de eficiência e, ao mesmo tempo, reduzir gastos (TANSKANEN, 2013).

Após a adoção do princípio da REP, os países-membros da UE constataram que esse conceito não era suficientemente eficiente, pois, segundo Lifset, Atasu e Tojo (2013), o produtor original apenas coletava seus produtos em fim de vida e não estava sendo estimulado a elaborar *designs* ecologicamente amigáveis. Assim, a noção de Responsabilidade Individual do Produtor (RIP) ganhou proeminência. A RIP foi vista como um retorno às premissas da REP, isto é, “se a responsabilidade pela disposição final pudesse ser atribuída individualmente ao produtor original e não coletivamente a grupos de produtores de categoria de resíduos, então ao longo prazo surgirão estímulos de *design* sustentáveis” (LIFSET, ATASU e TOJO, 2013, p.163, nossa tradução).

A RIP atua de maneira semelhante ao conceito de Poluidor-Pagador, conceito em que o agente econômico tem o dever de prevenir um dano ambiental e, se for responsável, tem o dever de reparar os danos causados. A responsabilização pelos custos de fim de vida útil dos seus produtos destina-se a permitir que esses custos sejam atribuídos a cada produtor individual. Ao modificar os *designs* dos produtos, o produtor pode influenciar diretamente no custo da disposição final. Sem a RIP, esses incentivos para melhorias nos *designs* são perdidos (ATASU *et al*, 2010). Diante disso, pode-se ponderar que a RIP tem potencial de ser mais eficiente e efetiva que a REP e a responsabilidade compartilhada.

Por fim, é de ampla necessidade elaborar Políticas Públicas sustentáveis, eficazes e eficientes⁶⁴ que sejam exclusivas para resíduos eletroeletrônicos, levando em conta todos os conceitos expostos por possuírem uma relação íntima com essa categoria de resíduos sólidos.

⁶⁴ Apesar de serem conceitos parecidos, a eficácia e a eficiência possuem definições diferentes. A eficácia atua na capacidade de algo ou alguém de atingir um objetivo, já a eficiência econômica aborda “relação entre o valor de venda de um produto e seu custo de produção. [...] é produzir mais, sem desperdício de recursos, energia e mão de obra” (BRASIL, 2017).

4.2. A Legislação brasileira e os resíduos eletroeletrônicos

O Brasil é um país que possui uma legislação ambiental ambiciosa, e muitas vezes falha ao ponto de suas leis não serem obedecidas. A Constituição Federal (CF), em seu Artigo 225, explicitamente declara que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado” (BRASIL, 1988). Grande parte das leis ambientais existentes possui dificuldade de cumprimento, seja por falta de monitoramento ou pela ineficiência de seus instrumentos disponíveis e agências reguladoras. De acordo com a reportagem do jornal O Globo (2014), os três principais órgãos brasileiros de monitoramento e proteção, a saber, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), a Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio), contavam, em 2014, com um total de 3.200 agentes públicos para fiscalizar todas as unidades de conservação, o que correspondia a 579 km² para cada agente na época. Além disso, o Brasil é quinto maior país do mundo, com área total de 8.515.767,049 km², sendo cerca de 2.498.195 km² destinadas a áreas de conservação (BRASIL, 2018). Uma legislação ineficiente somada à falta de agentes fiscalizadores e um território muito vasto resultam em um grande número de violações na legislação e a constatação de que esta legislação deve ser aperfeiçoada.

A ratificação de tratados internacionais, como já sugerida previamente no Capítulo 1, é excessivamente lenta em diversos países do mundo, incluindo o Brasil. Isso se dá por muitos fatores, como a defesa dos interesses nacionais e os interesses políticos de diversas partes interessadas. Segundo de Oliveira (2012), no âmbito da Convenção da Basileia, seu maior desafio é sua profunda dependência das legislações nacionais das Partes e sua eficácia é fortemente vinculada à integração de suas diretrizes às leis nacionais dos seus países-membros. Ao adotar o texto da Convenção, o Brasil se comprometeu a cumprir seus termos, que incluem prever em sua legislação nacional “dispositivos que sejam consoantes com o tratado e que prevejam sanções, formas de monitoramento e exigência do compromisso quanto ao levantamento de dados até o momento o ponto considerado mais frágil de todo o processo”, assim como tem o dever de “dar atenção ao tratamento, definição e gestão de resíduos perigosos, investindo em tecnologia e pesquisa” (DE OLIVEIRA, 2012, p.112).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, tramitou cerca de 21 anos no Congresso Nacional. Essa lei dispõe sobre os seus princípios base, instrumentos e objetivos, assim como instruções relacionadas à gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos – incluindo os resíduos perigosos – e, também,

à definição de responsabilidades de agentes públicos, e econômicos, e os instrumentos econômicos relevantes.

Os resíduos perigosos são definidos pela PNRS em seu Artigo 13, inciso II, alínea “a” como aqueles que:

“Em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica”

(BRASIL, 2010).

Como previamente abordado no Capítulo 2, os resíduos eletrônicos, por se adequarem a essa definição podem ser considerados resíduos perigosos. Há, porém, espaço para interpretações, pois esse inciso não faz uma citação direta aos e-resíduos. A PNRS faz referência específica aos resíduos eletroeletrônicos apenas uma vez, em seu Artigo 33 em seu inciso VI, onde trata sobre logística reversa. Este artigo tem sua relevância quando enumera os produtos que determinam a obrigatoriedade que os seus fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Curiosamente, a PNRS trata pilhas e baterias e, alguns tipos de lâmpadas como categorias particulares:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;
- II - pilhas e baterias;
- III - pneus;
- IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

(BRASIL, 2010, grifo nosso)

Nesse artigo, torna-se claro a condição da implementação da logística reversa no ciclo econômico, tal como regulamentado pelo Decreto nº. 9.177, de 23 de outubro de 2017. A NBR 16.156 de 2013, buscou regulamentar a logística reversa dos e-resíduos: “Segundo a norma, busca-se possibilitar que o processo de manejo do lixo eletrônico ocorra em consonância com a proteção não só do meio ambiente, mas também daqueles responsáveis por manusear os resíduos” (ABNT, 2013 *apud* SANTOS, 2015, p.259). É importante destacar que todos os tipos de resíduos destacados no Art. 33 possuem uma regulamentação, exceto os resíduos eletroeletrônicos (que dispõe apenas da NBR mencionada).

A PNRS também ressalta a necessidade da formação de um acordo setorial entre os agentes envolvidos no ciclo econômico. Estes acordos são definidos pela PNRS como o “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, 2010). Ressalta-se que o Sistema de Depósito-Reembolso não é mencionado em nenhum momento na PNRS, porém se fosse adotado e incentivado, ele poderia ser utilizado não apenas na mitigação de resíduos eletrônicos, mas também outros tipos de resíduos sólidos.

Para a implementação de um sistema de rastreamento de resíduos eletrônicos sugerida no Capítulo 3, é necessário implementar um sistema nacional que integre todos os agentes envolvidos no ciclo econômico e a aplicação de incentivos para ocorrer a logística reversa. Curiosamente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê, justamente, a criação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), logo o custo de implementação do SINGRE seria baixo por necessitar de poucas alterações. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, será adicionado ao SINIR o Inventário de Resíduos, ao Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos, cujo preenchimento e atualização será de responsabilidade dos agentes econômicos envolvidos no ciclo econômico, da sua origem à sua disposição final (BRASIL, 2018).

Segundo o ministério do Meio Ambiente, o SINIR terá o papel de coletar e sistematizar dados relacionados aos serviços públicos e provados no âmbito da gestão de resíduos sólidos.

Desta maneira será possível instituir formas de monitoramento, fiscalização, avaliação da eficiência no gerenciamento de resíduos sólidos e sistemas de logística reversa, avaliação de resultados e cumprimento de metas, e o acesso à informação para a sociedade (BRASIL, 2018). O SINIR prevê sua atuação no âmbito estadual e municipal na gestão de resíduos sólidos que incluem: identificar os principais fluxos de resíduos sólidos em relação à sua geração e disposição final; controlar e monitorar as atividades de geradores de resíduos; e monitorar as tendências relacionadas às metas de redução e eliminação de resíduos sólidos (BRASIL, 2018).

O acesso à informação também deve ser uma prioridade na formação da legislação, já que muitos trabalhos acadêmicos, pesquisas científicas e censos dependem da disponibilidade de dados concretos com o mínimo de estimativas. Com a regulamentação da PNRS, o SINIR foi instaurado pela publicação do Decreto nº. 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Em seu Art. 71, incisos VIII e IX, o decreto possibilita a disponibilidade de informações importantes à sociedade:

VIII - disponibilizar periodicamente à sociedade o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no País, por meio do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos;

IX - agregar as informações sob a esfera de competência da União, Estados, Distrito Federal e Municípios.

(BRASIL, 2010)

Baldé *et al.* (2017) acentuam que, na América Latina, apenas sete países adotaram legislações específicas referentes à e-resíduos: Bolívia, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, México e Peru. O Brasil, conjuntamente com a Argentina, o Panamá e o Uruguai, encontra-se no processo de circulação de projetos de legislação sobre e-resíduos no Congresso Nacional. Baldé *et al.* (2017) também destacam que todos os países mencionados já possuem legislação adotam, ao mínimo, o princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor.

Como mencionado, em nível federal não existe uma lei específica que faz referência explícita à gestão de resíduos eletrônicos. Porém, existe, em âmbito estadual, a Lei do Estado de São Paulo nº. 13.576, de 6 de julho de 2009 que trata exclusivamente da logística reversa de e-resíduos, ao “[instituir] normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final do lixo tecnológico” (BRASIL, 2009). No entanto, Silva *et al.* (2008, *apud* ONGONDO, WILLIAMS e CHERRETT, 2011, p. 723, nossa tradução) relatam a forte oposição dos produtores em relação à inclusão da REP no gerenciamento de resíduos

eletroeletrônicos como princípio norteador, em São Paulo e em nível federal. O *lobby*⁶⁵, de agentes econômicos privados é um grande obstáculo, que se adiciona à falta de divulgação da questão junto à população.

A lei paulista traz pontos importantes em suas normas, assim como deixa a desejar em outros temas. Por exemplo, a lei especifica a responsabilidade do produtor de eletroeletrônicos, assim como exige informações sobre a coleta e disposição final em suas embalagens. Sob outra perspectiva, ela classifica os resíduos eletrônicos em apenas quatro categorias: componentes e periféricos de computadores; monitores e televisores; acumuladores de energia (pilhas e baterias); e produtos magnetizados (BRASIL, 2009). Entende-se que essa classificação não compreende todas as possíveis categorias de resíduos eletrônicos. Apesar disso, iniciativas semelhantes intranacionais podem – e devem – contribuir para a implementação de uma legislação federal específica.

Na atualidade, existem projetos de lei federal que procuram melhorar a qualidade da legislação brasileira e especificar funções no tema de e-resíduos. Por exemplo, o Projeto de Lei (PL) n.º. 1.732, de 2015, que “altera a Lei n.º. 9.795, de 27 de abril de 1999, determinando a instalação, pelos estabelecimentos de ensino da rede pública e privada, de postos de coleta de lixo eletrônico” e o PL n.º. 2.045, de 2011, que “dispõe sobre a coleta e a destinação ambientalmente adequada de resíduos tecnológicos” (BRASIL, 2015 e BRASIL, 2011). Esses PL têm o potencial de otimizar a logística reversa e estimular a indústria de reciclagem de e-resíduos.

O PL n.º. 1.732, de 2015, sugere alterar a lei sobre educação ambiental que “dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências”, com o fito de oferecer um espaço para orientar jovens sobre práticas de consumo sustentável e de descarte responsável em escolas públicas e particulares. Assim, de acordo com a justificativa do PL, a instalação de postos de coleta de e-resíduos em escolas pode ter um grande impacto sobre o comportamento ambiental de jovens e influenciar o comportamento geral da sociedade (BRASIL, 2015).

O PL n.º. 2.045, de 2011 (Anexo V), prevê a vigência de diversos temas importantes no que concerne o aperfeiçoamento da PNRS e a implantação de legislação específica sobre e-resíduos. O PL propõe a conscientização da sociedade e acesso à informação sobre postos de

⁶⁵ O lobby é a pressão e a influência de partes interessadas, sobre o poder público para influenciar a formulação de legislações.

coleta já nas embalagens de eletroeletrônicos; define responsabilidades para os agentes econômicos privados e consumidores; propõe classificação dos e-resíduos em cinco categorias (pilhas e baterias; computadores e periféricos; televisores; eletrodomésticos; e lâmpadas); reforça a implantação de um sistema de logística reversa por empresas envolvidas; veda qualquer tipo de importação de e-resíduos para o Brasil (preenchendo portanto uma das lacunas da Convenção da Basileia); e prevê punição de acordo com a lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 2011).

A formação de Políticas Públicas claras é iniludível para o funcionamento de uma indústria de reciclagem eficaz e eficiente e, principalmente, de resíduos eletrônicos em que muitos elementos valiosos podem ser recuperados. Na criação de Políticas Públicas voltadas à reciclagem, são indispensáveis alguns princípios-chave como: promoção da criação de infraestrutura de gestão e reciclagem de resíduos eletrônicos; garantia de acesso às matérias-primas; campanhas de conscientização; coleta separada de telefones celulares; eficiência no processo de recuperação; e o reconhecimento da Responsabilidade Estendida do Produtor (KUEHR, MAGALINI e BALDÉ, 2015).

Embora essas iniciativas legislativas tenham o potencial de serem positivas para a sociedade, é necessário sempre levar em conta a lentidão do processo legislativo e a possibilidade de que, uma vez sancionadas, tais leis sejam alteradas, e alguns artigos importantes, vetados. É importante enfatizar que, se o Estado não exercer eficientemente o papel de monitorar os agentes econômicos privados, para garantir as responsabilidades impostas, não há como confirmar a eficácia e eficiência do processo de reciclagem, coleta de dados e das Políticas Públicas. Diante das iniciativas expostas, pode-se afirmar que o Brasil está no caminho certo, no âmbito legislativo, para regularizar a gestão apropriada de resíduos eletrônicos. Dito isso, há a necessidade de se produzir leis mais eficazes e eficientes contendo incentivos aos agentes econômicos e propostas de conscientização da sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como demonstrado, o resíduo eletroeletrônico é a categoria com crescimento mais acelerado entre os resíduos sólidos. Os acordos multilaterais e compromissos assumidos pelo Brasil nas últimas décadas indicam sua boa vontade na cooperação internacional, desde que sua soberania e interesses nacionais sejam respeitados. Tendo observado as interações da saúde ambiental e da economia no que tange a resíduos eletrônicos, a questão dos e-resíduos está intrinsecamente relacionada a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas. Porém, devido ao caráter ambicioso dos ODS, provavelmente várias das metas apresentadas não serão cumpridas por muitos países, incluindo o Brasil. Esta circunstância não comprova inabilidade do Brasil para atingir patamares de desenvolvimento sustentável, mas expõe a dificuldade de suas Políticas Públicas nacionais na realização das metas nos prazos acordados em foros multilaterais.

Em relação aos seus riscos, os e-resíduos possuem muitos componentes contendo substâncias que se expostos às forças naturais, podem sofrer especiação química e transformarem-se em sua forma mais tóxica. Dentre as principais substâncias potencialmente nocivas presentes em e-resíduos estão o mercúrio, o cádmio e o chumbo. Duas características comuns entre essas substâncias é sua alta interação com a matéria orgânica e sua capacidade de se bioacumular na biota e se biomagnificar na cadeia trófica. Visto isso, é indispensável que estes resíduos sejam encaminhados propriamente à sua destinação final com o auxílio da logística reversa. Porém, foi percebido que e-resíduos têm origem em muitos tipos de produtos com composições variadas, logo, necessitam de tratamento diferenciado a fim de evitar impactos ambientais.

Estudos empíricos revelaram que os componentes de e-resíduos possuem não apenas substâncias perigosas, mas também metais de alto valor. Diante disso, a recuperação desses metais apresentou-se como uma atividade com potencial econômico considerável. A reciclagem e reuso desses materiais pode não apenas mitigar o fluxo de e-resíduos, mas também complementar e atenuar a exploração de recursos naturais pela mineração. Ao observar um estudo de caso prático, constatou-se que a instauração de uma usina de reciclagem pode ser lucrativa. Contudo a viabilidade dessas usinas depende largamente dos custos de obtenção de e-resíduos. Logo, se esses custos forem reduzidos consideravelmente, a lucratividade terá um aumento expressivo e sua viabilidade será garantida. A aplicabilidade desses estudos depende

de sua adaptação à realidade brasileira. É recomendado realizar um estudo de caso prático para revelar se é conveniente criar uma indústria de reciclagem de e-resíduos no Brasil.

A adoção do SDR como uma opção viável para facilitar a logística reversa é recomendada. A sociedade deve pressionar o poder público para que esse instrumento econômico seja reconhecido em legislação e viabilizado no sistema. A participação ativa da população processo de reciclagem se mostrou vital para a sua eficácia, porém campanhas de conscientização devem partir do setor público e/ou setor privado. O sistema de gestão de resíduos eletrônicos proposto visou não apenas responsabilizar os produtores e estimular a participação do consumidor, mas também revelar o fluxo real de e-resíduos ao menos no Brasil.

Quanto à experiência internacional de países desenvolvidos, deve-se atentar para seus erros e acertos, mais notadamente a Responsabilidade Estendida do Produtor e a Responsabilidade Individual do Produtor. Circunstâncias degradantes sofridas pela população de baixa renda em países em desenvolvimento estimularam a reciclagem informal, que por sua vez, culminaram na contaminação grave dos recicladores e a degradação da qualidade ambiental. No campo econômico, esse setor informal prejudicou as atividades de reciclagem formais e comprometeu, em parte, as Políticas Públicas chinesas

No âmbito legislativo, o Brasil apresentou iniciativas ambiciosas em alguns aspectos e deficientes em outros. No momento, apenas consta uma lei específica no Brasil que determina os papéis dos agentes econômicos na disposição final de e-resíduos. Porém, esta Política Pública não é muito eficaz ao nível federal. Por esse motivo, uma abordagem *top-down* (de cima para baixo) é recomendada. A legislação brasileira carece de aprimoramentos, em muitos pontos de interesse para a sociedade ela não é específica. Há uma necessidade explícita de tratar o problema de e-resíduos com urgência, a fim de zelar pelo bem-estar da sociedade e saúde ambiental do Brasil. Recomenda-se, por isso, o emprego dos Valores Máximos Permitidos de substâncias, cujos efeitos não são muito conhecidos, como forma de monitoramento e garantia da qualidade da saúde ambiental e o bem-estar da sociedade.

Após alguns aprimoramentos, o projeto de lei federal anexado pode obrigar os demais estados e municípios brasileiros a definir responsabilidades, definir e categorizar os amplos tipos de resíduos eletrônicos e, otimizar a responsabilidade compartilhada. Ressalta-se que a categorização dos e-resíduos e a determinação de responsabilidades são vitais para o desempenho da logística reversa. Ademais, configura-se indispensável o monitoramento

governamental dos agentes econômicos, a fim de assegurar o cumprimento de suas responsabilidades e metas.

Esta pesquisa destacou três fatores interligados da problemática de e-resíduos. Primeiramente, após a compra de um eletroeletrônico, pouco se sabe sobre seu destino. A ausência de informações empíricas mais precisas resulta no desconhecimento do fluxo real de e-resíduos. Segundamente, a falta de dados implica a subestimação, por agentes econômicos que externalizam esses resíduos, do potencial econômico de reciclagem. E terceiromente, a exportação ilegal a países em desenvolvimento, com legislações ambientais débeis, culmina na contaminação da parcela mais vulnerável da sociedade e na deterioração da qualidade ambiental.

Finalmente, convém salientar que não se pode atingir altos patamares de sustentabilidade com atitudes lenientes, esperando-se a cooperação e a boa vontade de todos. Nenhum governo ou agente econômico será motivado a agir com falácias rasas baseadas no senso comum. Os estudos empíricos que implicam o custo-benefício econômico e os riscos à saúde ambiental devem ser os maiores argumentos apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. **Classificação de resíduos sólidos: NBR 10.004**. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, D. S. 2016. **Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD)**. In: Recuperação ambiental da Mata Atlântica. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/8xvf4/pdf/almeida-9788574554402-10.pdf>. Acessado em: 30 de novembro de 2018.
- ATASU, A; LIFSET, R; LINNELL, J; PERRY, J; SUNDBERG, V; MAYERS, C. K.; DEMPSEY, M; VAN WASSENHOVE, L. N; VAN ROSSEM, C; GREGORY, J; SVERKMAN, A; THERKELSEN, M e KALIMO, H. 2010. **Individual Producer Responsibility: A Review of Practical Approaches to Implementing Individual Producer Responsibility for the WEEE Directive**. INSEAD Working Paper No. 2010/71/TOM/INSEAD Social Innovation Centre. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1698695>
- BAIRD, C. e CANN, M. 2011. **Química Ambiental** (Quarta edição / Michael Cann). Tradução: Marco Tadeu Grassi. Porto Alegre. Bookman.
- BALDÉ, C.P., WANG, F., KUEHR, R.; e HUISMAN, J. 2015. **The global e-waste monitor – 2014**, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany. Disponível em: <https://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf>. Acessado em: 30 de novembro de 2018.
- BALDÉ, C.P.; FORTI V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. 2017. **The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows and Resources**. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf Acessado em: 30 de novembro de 2018.
- BBC. British Broadcasting Channel. BBC Scotland. 2007. **HOW it works – Episode 5: Computer Recycling, Bikinis, Pasta, Wind Turbines**. ProSieben e Bullseye TV Productions. Dirigido por: Delroy Dixon. Disponível em: <https://youtu.be/3DgT3GtwGuc> Acessado em: 30 de novembro de 2018.
- BERNARDES, A.M.; ESPINOSA, D.C.R. e TENÓRIO, J.A.S. 2003. **Recycling of batteries: a review of current processes and technologies**. Journal of Power Sources 130 (2004) 291–298. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775303012230>
- BRASIL. 1988. **Constituição Federal de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm Acessado em: 30 de novembro de 2018.
- BRASIL. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. 2009. **Lei nº13.576, de 06 de julho de 2009**. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13576-06.07.2009.html> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Câmara. 2004. **Decreto Legislativo nº204, de 2004**. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2004/decretolegislativo-204-7-maio-2004-532161-convencao-14138-pl.html> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Câmara. 2011. **Projeto de Lei nº2.045 de 2011**. Disponível em: http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=909633&filename=PL+2045/2011 Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Câmara. 2015. **Projeto de Lei nº1.732 de 2015**. Disponível em: http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1341533&filename=PL+1732/2015 Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Governo do Brasil. 2017. **Eficiência Econômica**. Publicado em 2010, editado em 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/editoria/meio-ambiente/2010/01/eficiencia-economica> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). 2017. **Portaria MCTIC nº2.992, de 26.05.2017**. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTIC_n_2992_de_26052017.html Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2018. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR)**. Disponível em: <http://sinir.gov.br/index.php/component/content/article/2-uncategorised/117-sistema-nacional-de-informacoes-sobre-a-gestao-dos-residuos-solidos-sinir> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2018. **Tabela consolidada das Unidades de Conservação**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_JUL18%20-%20B_Cat.pdf Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2014. **Consumir sem desperdício**. Cadernos de Consumo Sustentável - Reciclagem. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/publicacoes/responsabilidade_socioambiental/producao_consumo/revista.pdf Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. MMA, IBRAM e ANA. **A Gestão de Recursos Hídricos e Mineração**. 2006. Disponível em: <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/a-gestao-dos-recursos-hidricos-e-a-mineracao.pdf> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Planalto. 2005. **Decreto nº5.472, de 20 de junho de 2005**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5472.htm Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Planalto. 2009. **Lei nº11.936, de 14 de maio de 2009**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/Lei/L11936.htm Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Planalto. 2010. **Decreto nº7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Planalto. 2010. **Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acessado em: 30 de novembro de 2018.

BRASIL. Prefeitura de Jarinu. 2018. **Secretaria de Meio Ambiente inicia coleta seletiva de lixo Eletrônico**. Disponível em: <https://jarinu.sp.gov.br/secretaria-de-meio-ambiente-inicia-coleta-seletiva-de-lixo-eletronico/> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

CHI, X.; STREICHER-PORTE, M.; WANG, M. Y. L.; e REUTER, M. A. 2011. **Informal electronic waste recycling: A sector review with special focus on China**. Waste Management 31 (2011) 731-742. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10005696?via%3Dihub> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; LENNY KOH, S.C.; e ROSA, P. 2015. Recycling of WEEEs: **An economic assessment of present and future e-waste streams**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 51 (2015) 263–272. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115005808> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

DE OLIVEIRA. L. F.F. 2012. **Comércio de resíduos Eletrônicos e a Convenção da Basileia: uma análise econômica**. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília (UnB) Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/12242?locale=en> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

DUTTA, T; KIM, K-H; UCHIMIYA, M; KWON, E.E; DEEP, A; YUN, S-T. **Global demand for rare earth resources and strategies for green mining**. Environmental Research 150 (2016) 182–190. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116302249?via%3Dihub> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

EUROPEAN PARLIAMENT. 2003. **Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. European Commission; Official Journal of the European Union: Luxembourg, Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/96/oj> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ESPINOSA, D.C.R; BERNARDES, A.M. e TENÓRIO, J. A. S. 2004. **Brazilian policy on battery disposal and its practical effects on battery recycling**. Journal of Power Sources 137 (2004) 134–139. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775304002721>

GENARO, D.T; ALBUQUERQUE FILHO, J. L; NASCIMENTO, F.M.F; INVERNIZZI, A. L; BARRETO, A. B. C; SOUZA, A. G; CAPELETTI, I. **Levantamento de Informações Hidrogeológicas para a Elaboração do PRAD Conceitual, Visando à Recuperação Ambiental das Áreas da CBCA em Criciúma, SC**. 2012. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27552/17814> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

GREENPEACE. 2009. **Where does e-waste end up?** Disponível em: <https://www.greenpeace.org/archive-international/en/campaigns/detox/electronics/the-e-waste-problem/where-does-e-waste-end-up/> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

GUARNIERI, P. 2011. **LOGÍSTICA REVERSA: Em busca do equilíbrio econômico e ambiental.** 1 ed. Editora Clube de Autores. Recife, 2011. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=I-worBqsMTcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

HUSEU, A. 2016. **Ilustración vectorial captura de códigos QR en el teléfono móvil. La tecnología digital, código de barras de la información, electrónica de barrido símbolo.** 52905875. Disponível em: https://es.123rf.com/photo_52905875_ilustraci%C3%B3n-vectorial-captura-de-c%C3%B3digos-qr-en-el-tel%C3%A9fono-m%C3%B3vil-la-tecnolog%C3%ADa-digital-c%C3%B3digo-de-barras-de-la-inform.html?fromid=WDNDSVAvdnJ0YTJqYmJzbHdMZ2ZKZz09 Acessado em: 30 de novembro de 2018.

JANG, M; HONG, S. M., e PARK, J. K. 2005. **Characterization and recovery of mercury from spent fluorescent lamps.** *Waste Management*, 25(1), 5–14. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001606>

JORNAL O GLOBO. 2014. **Brasil tem só um fiscal por 579 km² de área protegida.** Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/brasil-tem-so-um-fiscal-por-579-km-de-area-protegida-11410382> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

KANG, H-Y e SCHOENUNG, J. M. 2006. **Economic Analysis of Electronic Waste Recycling: Modeling the Cost and Revenue of a Material Recovery Facility in California.** *Environmental Science & Technology* 2006 40 (5), 1672-1680. DOI: 10.1021/es0503783. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0503783>

KUEHR, R.; MAGALINI, F. e BALDÉ, C. P. United Nations University. 2015. **eWaste in Latin America: Statistical analysis and policy recommendations.** Nov. 2015. Disponível em: <https://www.gsma.com/latinamerica/pt-br/ewaste2015> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

LIFSET, R.; ATASU, A.; e TOJO, N. 2013. **Extended Producer Responsibility: National, International, and Practical Perspectives.** *Journal of Industrial Ecology*, Volume 17, Issue 2, page 162-166. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jiec.12022> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

MENAD, N. 1999. **Cathode ray tube recycling.** *Resources, Conservation and Recycling*, 26(3-4), 143–154. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344998000792>

MIRANDA, M. R; GUIMARÃES, J-R. D; COELHO-SOUZA, S. A; e CORREIA, R. 2007. **Mercúrio em sistemas aquáticos: Fatores ambientais que afetam a metilação.** *Oecologia Brasiliensis* November 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/28224211_Mercurio_em_sistemas_aquaticos_Fatores_ambientais_que_afetam_a_metilacao Acessado em: 30 de novembro de 2018.

MOSTAFA, T. M. e SARHAN, D.S. 2018. **Economic Feasibility Study of E-Waste Recycling Facility in Egypt**. EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy, Vol. 05, Issue 02, p.26-35, June 2018. Kyushu University. Disponível em: http://www.tj.kyushu-u.ac.jp/evergreen/contents/EG2018-5_2_content/pdf/Pages%2026-35.pdf

MRW. Materials Recycling World. 2018. **Benefits and pitfalls of a bottle deposit scheme**. Disponível em: <https://www.mrw.co.uk/knowledge-centre/benefits-and-pitfalls-of-a-bottle-deposit-scheme/10029963.article>

MUELLER, C.C. 2007. **Os Economistas e as Relações entre o Sistema Econômico e o Meio Ambiente**. Brasília, Distrito Federal. Editora UnB.

MUNIZ, D. H. F. e OLIVEIRA-FILHO, E. C. 2006. **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente**. Universitas: Ciências da Saúde, v.4, n.1/2, p.83-100, 2006. ISSN: 1678-5398. Disponível em: <https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/cienciasaude/article/viewFile/24/40>

NATUME, R.Y. e SANT'ANNA, F.S.P. 2011. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólido**. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sexoes/5b/6/natume_ry%20-%20paper%20-%205b6.pdf Acessado em: 30 de novembro de 2018.

NEOATTACK. 2016. **Cómo entender la conversión y el abandono del carrito y del proceso de compra de tu e-commerce**. Disponível em: <https://neoattack.com/proceso-compra/> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ONGONDO, F.O.; WILLIAMS, I.D.; e CHERRET, T.J. 2011. **How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes**. Waste Management 31 (2011) 714-730. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10005659> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ONU. 1972. **Declaração de Estocolmo**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/estocolmo.doc Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ONU. Agenda 2030. 2015. **Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

PERKINS, D. N.; DRISSE, MN. B.; NXELE, T.; e SLY, P. D. 2014. **E-Waste: A Global Hazard**. 2014. Annals of Global Health. Volume 80, Issue 4, July-August 2014, Pages 286-295. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214999614003208> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

PORTO DIGITAL e ITGREEN. 2011. **CICLO DE VIDA DOS EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**. Recife, abril 2011. Disponível em: http://www.itgreen.org.br/wp-content/uploads/ItGreen_Ciclo_de_Vida_dos_EEE.pdf Acessado em: 30 de novembro de 2018.

PRS. Portal Resíduos Sólidos. 2015. **Usinas de Reciclagem de Resíduos Eletro-Eletrônicos**. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/usinas-de-reciclagem-de-residuos-eletronicos/>

RESÍDUO ALL. 2017. **FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS**. Disponível em: <https://residuoall.com.br/2017/08/14/formas-de-disposicao-final-de-residuos/> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ROBINSON, B.H. 2009. **E-waste: An assessment of global production and environmental impacts**. *Science of the Total Environment* 408 (2009) 183–191. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709009073> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SANTOS, M. C. M. 2015. **A responsabilidade compartilhada na Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma análise da eficácia das disposições relativas ao consumidor**. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, v.5, n. 1, 2015, p.248-276. Disponível em: <http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3590/2320>

SAPHORES, JD. M.; OGUNSEITAN, O. A.; SHAPIRO, A. A. 2012. **Willingness to engage in a pro-environmental behavior: An analysis of e-waste recycling based on a national survey of U.S. households**. *Resources, Conservation and Recycling* 60 (2012) 49–63. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911002503> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SECRETARIAT OF THE BASEL CONVENTION. 2007. **The Basel Convention at a Glance**. Genebra: International Environment House, Disponível em: <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-e.pdf> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SEJA DIGITAL. Entidade Administradora do Processo de Redistribuição e Digitalização de Canais de TV e RTV (EAD). 2016. **Programa Seja Digital**. Disponível em: <http://www.sejadigital.com.br/home>. Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SODRÉ, F. F. 2012. **Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle**. *Artigos Temáticos do AQQUA* (2012) 1:9-16. Disponível em: <http://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SOLLA, J. 2011. **Prever e Prevenir: Dilemas da Convenção da Basileia**. *Mural Internacional*, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 57-67, jun. 2011. ISSN 2177-7314. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/muralinternacional/article/view/5382> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

SONG, Q. e LI, J. 2014. **Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: A systematic review**. *Waste Management*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265909265_Environmental_effects_of_heavy_metal_s_derived_from_the_e-waste_recycling_activities_in_China_A_systematic_review Acessado em: 30 de novembro de 2018

STHIANNOPKAO, S. e WONG M.H. 2012. **Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences**. *Science of the Total Environment* 463–464

(2013) 1147–1153. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712009217> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

TANSKANEN, P. 2013. **Management and recycling of electronic waste**. Acta Materialia 61 (2013) 1001–1011 Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645412007999?via%3Dihub>
Acessado em: 30 de novembro de 2018.

THE WORLD BANK. infoDev. 2012. Wasting No Opportunity: The case for managing Brazil's electronic waste. Project Report. Abril 2012. Disponível em:
http://www.infodev.org/sites/default/files/resource/InfodevDocuments_1169.pdf

TOWBAR. 2017. **IDEIAS E SOLUÇÕES EM SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA PARA SUA EMPRESA**. Disponível em:
<http://towbar.com.br/loja2/MaisProduto.asp?im=n&Produto=385> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

TOWNSEND, T. G. 2011. **Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment**. Journal of the Air & Waste. Management Association, 61:6, 587-610, DOI: 10.3155/1047-3289.61.6.587. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.3155/1047-3289.61.6.587> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

WIDMER, R; OSWALD-KRAPF, H; SINHA-KHETRIWAL, D; SCHNELLMANN, M. e BÖNI, H. 2005. **Global perspectives on e-waste**. Environmental Impact Assessment Review 25 (2005) 436– 458. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925505000466> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

YANG, J; LU, B. e XU, C.; 2007. **WEEE flow and mitigating measures in China**. Waste Management 28 (2008) 1589–1597. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07002760> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ZABANIOTOU, A; KOUSKOUMVEKAKI, E. e SANOPOULOS, D. 1999. **Recycling of spent lead/acid batteries: the case of Greece**. Resources, Conservation and Recycling 25 (1999) 301–317. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344998000718>

ZAPATA, C. e NOGUEIRA, J.M. 2004. **Sistema de depósito-reembolso: uma aplicação potencial à Indústria Automobilística**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <https://slidex.tips/download/ictr-2004-congresso-brasileiro-de-ciencia-e-tecnologia-em-residuos-e-desenvolvim-46>

ZENG, X; GONG, R; CHEN, W-Q; e LI, J. 2016. **Uncovering the Recycling Potential of “New” WEEE in China**. Environmental Science & Technology 50 (3), 1347-1358. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b05446> Acessado em: 30 de novembro de 2018.

ANEXOS

Anexo I – Principais acordos multilaterais, iniciativas e leis relacionados aos e-resíduos STHIANNOPKAO e WONG (2012)

Convenção de Basileia	Promulgada em 1992 para manter resíduos perigosos dentro dos países produtores, ou aqueles capazes de processá-los com segurança. 172 nações signatárias, mas não ratificadas pelos EUA. Não especifica penalidades
Convenção de Bamako	Em vigor desde 1998 nos países da União Africana. Estabelece limites de importação de resíduos mais rigorosos do que a Convenção de Basileia e define penalidades. Raramente convocada.
Diretiva WEEE da UE	Adaptado por todos os membros da UE até 2007. Estabelece sistemas de coleta e reciclagem com base na retomada do produtor, para 10 categorias de bens elétricos.
Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoSH)	Promulgada junto com a Diretiva WEEE da UE, restringe as quantidades de chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, PBB e PBDE utilizados na fabricação. Versões adaptadas por muitos outros países, incluindo China e Índia
Resolvendo o problema do lixo eletrônico (StEP)	Instituído formalmente em 2007 por agências da ONU, o StEP tem parceria com acadêmicos proeminentes e governo. organizações (por exemplo, MIT, USEPA) na promoção de reutilização de materiais reciclados e controle de contaminantes vindo de lixo eletrônico
Reduzir, Reutilizar, Reciclar (3Rs)	Promovido pelo Japão. Procura impedir a criação de resíduos e aprofundar a cooperação em matéria de reciclagem com os países em desenvolvimento. Permite a exportação de resíduos para remanufatura.
Leis estaduais dos EUA e a Lei de Reciclagem Eletrônica Responsável (HR2284)	25 estados dos EUA têm leis para coleta de lixo eletrônico, alguns estipulando o pagamento ao consumidor. HR2284 é uma lei nacional proposta para controlar a exportação de lixo eletrônico e certificar produtos eletrônicos usados para exportação
ONGs dos EUA - Basel Action Network (BAN), Coalizão Tóxica do Vale do Silício (SVTC), Coalizão TakeBack de Eletrônicos (ETBC)	Estes três atuam em conjunto para programas nacionais de coleta e reciclagem de lixo eletrônico. Eles promovem internacionalmente a “ <i>Basel Ban</i> ”, uma emenda de exportação de resíduos mais restritiva à Convenção da Basileia. A BAN produziu documentários e muita pesquisa

Anexo II – Contaminantes potenciais oriundos do descarte e reciclagem de e-resíduos
ROBINSON (2009)

CONTAMINANTE	RELAÇÃO COM O E-RESÍDUO	CONCENTRAÇÃO TÍPICA EM E-RESÍDUOS (mg/kg)	EMISSÕES GLOBAIS ANUAIS EM LIXO ELETRÔNICO (TONELADAS)
Éteres difenílicos polibromados (PBDEs) bifenilos polibromados (PBBs) tetrabromobisfenol-A (TBBPA)	Retardadores de chamas		
Bifenilos policlorados (PCB)	Condensadores, transformadores	14	280
Clorofluorocarbono (CFC)	Unidades de refrigeração, espuma de isolamento		
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)	Produto da combustão		
Hidrocarbonetos Aromáticos Polialogenados (PHAHs)	Produto de combustão a baixa temperatura		
Dibenzo-p-dioxinas policicladadas (PCDD),	Produto de combustão a baixa temperatura de PVC e outros plásticos		
dibenzofuranos policlorados (PCDFs)	Detectores de fumaça		
Amerício (Am)	Retardadores de chama, plásticos	1.700	34.000
Antimônio (Sb)	Material de dopagem para Silício (Si)		
Arsênio (As)	Tubos de raios catódicos (CRTs)		
Bário (Ba)	Retificadores controlados por silício		
Berílio (Be)	Baterias, toners, plásticos	180	3.600

Cádmio (Cd)	Fitas de dados e disquetes	9.900	198.000
Cromo (Cr)	Fiação	41.000	820.000
Cobre (Cu)	Semicondutores		
Gálio(Ga)	Monitores LCD		
Índio (In)	Solda, CRTs, baterias	2.900	58.000
Chumbo(Pb)	Baterias		
Lítio (Li)	Retificadores		
Mercúrio (Hg)	Lâmpadas fluorescentes, baterias, interruptores	0,68	13,6
Níquel (Ni)	Baterias	10.300	206.000
Selênio (Se)	Retificadores		
Prata (Ag)	Fiação, interruptores		
Estanho (Sn)	Solda, telas de LCD	2.400	48.000
Zinco (Zn)		5.100	102.000
Metais de terra-rara	Telas CRT		

Anexo III – Potencial de exposição dos contaminantes em e-resíduos
 PERKINS *et al* (2014)

POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES	COMPONENTE DE ELETROELETRÔNICO	FONTE DE EXPOSIÇÃO	ROTA DE EXPOSIÇÃO
Retardantes de chama brominados e Éteres difenílicos policlorados (PBDEs)	Retardadores de chama para equipamentos eletrônicos.	Ar, poeira, comida, água e solo.	Ingestão, inalação, e transplacentário.
Bifenilos policlorados (PCBs)	Fluidos dielétricos, lubrificantes e refrigerantes em geradores, capacitores e transformadores, iluminação fluorescente, ventiladores de teto, lava-louças e motores elétricos.	Ar, poeira, solo, comida (bioacumulativa em peixes e frutos do mar).	Ingestão, inalação ou contato dérmico e transplacentário.
DIOXINAS			
Dibenzodioxinas policloradas (PCDDs) e dibenzofuranos (PCDFs)	Lançados como subprodutos da combustão.	Ar, poeira, solo, comida, água e vapor.	Ingestão, inalação ou contato dérmico e transplacentário.
Bifenilos policlorados semelhantes a dioxinas	Lançados como subprodutos da combustão, mas também encontrado em fluidos dielétricos, lubrificantes e refrigerantes em geradores, capacitores e transformadores, iluminação fluorescente, ventiladores de teto, lava-louças e motores elétricos.	Lançados como subprodutos da combustão, ar, poeira, solo, comida (bioacumulativa em peixes e frutos do mar).	Ingestão, inalação e absorção dérmica.
Hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs)	Lançados como subprodutos da combustão.	Lançados como subprodutos da combustão, ar, poeira, solo e comida.	Ingestão, inalação e contato dérmico.
ELEMENTOS QUÍMICOS			
Chumbo (Pb)	Placas de circuitos impressos, tubos de raios catódicos (CRTs), lâmpadas, televisões, soldas e baterias.	Ar, poeira, água e solo.	Ingestão, inalação e contato dérmico.

Cromo (Cr) ou Cromo hexavalente (Cr (VI))	Revestimentos anticorrosivos, fitas de dados e disquetes.	Ar, poeira, água e solo.	Ingestão e inalação.
Cádmio (Cd)	Interruptores, molas, conectores, placas de circuitos impressos, baterias, detectores de infravermelhos, chips semicondutores, máquinas fotocopadoras de tinta ou toner, tubos de raios catódicos e telefones celulares.	Ar, poeira, solo, água e comida.	Ingestão e inalação.
Mercúrio (Hg)	Termóstatos, sensores, monitores, células, placas de circuito impresso, lâmpadas fluorescentes de cátodo frio e retroiluminação de cristal líquido (LCD).	Ar, vapor, água, solo e comida (bioacumulativo em peixes).	Ingestão, inalação e contato dérmico.
Zinco (Zn)	Tubos de raios catódicos e revestimentos metálicos.	Ar, solo e água.	Ingestão e inalação.
Níquel (Ni)	Baterias.	Ar, solo, água e comida (plantas).	Ingestão, inalação, contato dérmico e transplacentário.
Lítio (Li)	Baterias.	Ar, solo, água e comida (plantas).	Ingestão, inalação e contato dérmico.
Bário (Ba)	Tubos de raios catódicos e revestimentos metálicos.	Ar, solo, água e comida.	Ingestão, inalação e contato dérmico.
Berílio (Be)	Caixas de fornecimento de energia, computadores, máquinas de raio-x, componentes de cerâmica de eletrônicos.	Ar, solo e água.	Ingestão, inalação, contato dérmico e transplacentário.

**Anexo IV – Porcentagem média de materiais encontrados em alguns e-resíduos na
China**
(ZENG *et al.*, 2016)

Tabela I – Porcentagem de metais valiosos em e-resíduos na China

E-resíduo	Metais Valiosos (%)		
	Cobre (Cu)	Alumínio (Al)	Ferro (Fe)
Refrigerador	3,4	1,1	50
Máquina de lavar	4	3	53
Ar condicionado	18,5	7	45,9
Televisão com CRT	3	2	10
Televisão com LCD	1	4	30
Computador fixo com CRT	6,5	2	26
Computador fixo com LCD	7,2	3,6	18
Computador portátil	5,7	1,5	20
Telefone móvel	10	3	5
Telefone fixo	2	2	1
Máquina de fax	4	15	30
Copiadora	3,5	20	16
Impressora	0,5	18	32
Depurador de ar	10	8	30
Aquecedor de água elétrico	5	10	35
Aquecedor de água à gás	8	10	30

Tabela II – Porcentagem de metais preciosos em e-resíduos na China

E-resíduo	Metais Preciosos 10 ⁻⁶ (%)				
	Ouro (Au)	Prata (Ag)	Paládio (Pd)	In (Índio)	Cobalto (Co)
Refrigerador	0	0	0	0	0
Máquina de lavar	0	0	0	0	0
Ar condicionado	0	0	0	0	0
Televisão com CRT	1,4	19,6	0,7	0	0
Televisão com LCD	0	0	0	102	0
Computador fixo com CRT	46	207	18,4	0	0
Computador fixo com LCD	60	300	25	40	0
Computador portátil	32	190	19	140	10700
Telefone móvel	30	2000	1700	1102	16000
Telefone fixo	2,2	30,8	1,1	10000	0
Máquina de fax	0	0	0	0	0
Copiadora	0	0	0	0	0
Impressora	0	0	0	0	0

Depurador de ar	0	0	0	0	0
Aquecedor de água elétrico	0	0	0	0	0
Aquecedor de água à gás	0	0	0	0	0

Tabela III – Porcentagem de materiais de terras raras e plásticos em e-resíduos na China

E-resíduo	Terra-Rara 10⁻⁶ (%)			Plásticos (%)
	Neodímio (Nd)	Ítrio (Y)	Európio (Eu)	
Refrigerador	0	0	0	43,3
Máquina de lavar	0	0	0	26
Ar condicionado	0	0	0	17,5
Televisão com CRT	0	67,51	5,47	23
Televisão com LCD	0	0	0	40
Computador fixo com CRT	170	4,40 x10 ⁻⁵	3,56 x10 ⁻⁵	23
Computador fixo com LCD	270	0	0	4,3
Computador portátil	360	0	0	16
Telefone móvel	0	0	0	23,5
Telefone fixo	0	0	0	69
Máquina de fax	0	0	0	30
Copiadora	0	0	0	35,53
Impressora	0	0	0	40
Depurador de ar	0	0	0	5
Aquecedor de água elétrico	0	0	0	5
Aquecedor de água à gás	0	0	0	5

Anexo V – Projeto de Lei nº2.045 de 2011
(BRASIL, 2011)

Projeto de Lei nº2.045 de 2011 (Do Sr. Penna)

Dispõe sobre a coleta e a destinação ambientalmente adequada de resíduos tecnológicos.
O Congresso Nacional decreta:

Art. 1º Esta Lei dispõe sobre a coleta e a destinação ambientalmente adequada de resíduos tecnológicos, nos termos da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

Art. 2º É vedado o descarte de resíduos tecnológicos no lixo domiciliar, comercial ou industrial.

Art. 3º Constitui responsabilidade das pessoas jurídicas de direito privado que fabricam, importam e comercializam produtos que gerem resíduos tecnológicos a coleta e a destinação final ambientalmente adequadas, em especial:

I – operacionalizar o sistema de retorno dos produtos após o uso pelo consumidor;

II – viabilizar postos de entrega de produtos usados;

III – conscientizar o consumidor de produtos tecnológicos

IV – promover a reutilização, a reciclagem, a recuperação ou a disposição final ambientalmente adequada, de modo a evitar riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

§ 1º Para os efeitos desta Lei, constituem resíduos tecnológicos os seguintes produtos, após seu uso pelo consumidor:

I - pilhas e baterias portáteis, baterias chumbo-ácido, automotivas e industriais, pilhas e baterias dos sistemas eletroquímicos níquelcádmio e óxido de mercúrio e de aparelhos de telefones celulares;

II – computadores e seus equipamentos periféricos, incluindo monitores de vídeo, telas, displays, impressoras, teclados, mouses, auto-falantes, drivers, modems, câmeras e outros;

III – televisores e outros equipamentos que contenham tubos de raios catódicos;

IV – eletrodomésticos e eletroeletrônicos que contenham metais pesados ou outras substâncias tóxicas;

V – lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista.

§ 2º Os produtos mencionados neste artigo devem apresentar símbolo que informe ao consumidor que seus resíduos submetem-se a regime especial de coleta.

Art. 4º Os fabricantes, importadores e comerciantes de produtos que gerem resíduos tecnológicos poderão atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis ou recicláveis, nas ações de retorno dos resíduos tecnológicos.

Art. 5º Os comerciantes de produtos que gerem resíduos tecnológicos ficam obrigados a receber esses produtos em depósito após seu uso e a efetuar a sua devolução aos fabricantes e importadores.

§ 1º Cabe aos comerciantes de produtos que gerem resíduos tecnológicos afixar placa em seu estabelecimento, com as seguintes informações ao consumidor:

I – advertência e instrução para descarte;

II – locais de coleta do resíduo tecnológico; III – endereço e telefone dos responsáveis;

IV – riscos à saúde e ao meio ambiente do descarte inadequado.

§ 2º As empresas de que trata o caput deverão comprovar a destinação que deram aos produtos que gerem resíduos tecnológicos recebidos por elas, quando solicitado pelo órgão ambiental competente.

Art. 6º A implantação do sistema de coleta e destinação ambientalmente adequada de resíduos tecnológicos obedecerá aos seguintes prazos, contados a partir da data de publicação desta Lei:

I – dois anos, para coletar e destinar adequadamente 30% (trinta por cento) do volume dos produtos tecnológicos comercializados anualmente no Brasil;

II – três anos para coletar e destinar adequadamente 50% (cinquenta por cento) do volume dos produtos tecnológicos comercializados anualmente no Brasil;

III – cinco anos para coletar e destinar adequadamente 80% (oitenta por cento) do volume dos produtos tecnológicos comercializados anualmente no Brasil;

IV – sete anos para coletar e destinar adequadamente pelo menos 95% (noventa e cinco por cento) do volume dos produtos tecnológicos comercializados anualmente no Brasil.

Art. 7º É vedada a importação de resíduos tecnológicos de qualquer natureza.

Art. 8º A ação ou omissão de pessoas físicas ou jurídicas que importem inobservância aos preceitos desta Lei sujeita os infratores às sanções previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e seu regulamento.

Art. 9º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.