

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Sustentabilidade e Gestão do Ambiente Construído

Cláudia Rodrigues Ferreira

**SOLUÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE GESTÃO DE
RESÍDUOS ELETRÔNICOS**

Belo Horizonte

2020

CLÁUDIA RODRIGUES FERREIRA

**SOLUÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE GESTÃO DE
RESÍDUOS ELETRÔNICOS**

Monografia de especialização apresentada ao departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Construção Civil: Sustentabilidade e Gestão do Ambiente Construído.

**Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero
Fonseca Motta**

BELO HORIZONTE

2020

F383s

Ferreira, Cláudia Rodrigues.

Soluções para implementação de gestão de resíduos eletrônicos
[recurso eletrônico] / Cláudia Rodrigues Ferreira. – 2020.
1 recurso online (32 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Silvio Romero Fonseca Motta.

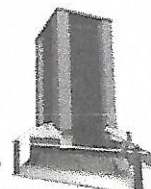
“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de
Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 31-32.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Lixo eletrônico - Reaproveitamento. 3. Logística reversa. 4. Meio ambiente. I. Motta, Silvio Romero Fonseca.
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.
III. Título.

CDU: 691



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: CLÁUDIA RODRIGUES FERREIRA

MATRÍCULA: 2018717906

RESULTADO

Aos 05 dias do mês de janeiro de 2021 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“SOLUÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 85

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Silvio Romero Fonseca Motta

Nome

Assinatura

Prof. Dra. Paula Bamberg

Paula
Bamberg:5996229
1615

Assinado de forma digital por
Paula Bamberg:59962291615
Dados: 2021.01.20 21:07:15
-03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 05 de janeiro de 2021

Coordenador do Curso

Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Esta formação profissional não poderia ter sido concretizada sem o auxílio de meus amigos e familiares que sempre me incentivaram, apoiaram e contribuíram para este resultado. Agradeço ao professor orientador Sílvio Motta, pela grande contribuição e incentivo neste trabalho. A todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e profissional durante a minha vida. Também à Universidade Federal de Minas Gerais e aos seus docentes que nos incentivaram a percorrer o caminho da pesquisa científica.

“O ser humano é o parasita mais monstruoso que existe sobre a Terra, em razão dos crimes hediondos que pratica contra as leis naturais.”

(Manoel Jacintho Coelho, Universo em Desencanto, 1935).

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo apresentar e analisar algumas soluções existentes para a implementação da gestão de resíduos eletrônicos. A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) está entre os maiores problemas ambientais enfrentados pelos centros urbanos neste início de terceiro milênio. Em paralelo, a crescente evolução tecnológica vem aumentando também a geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), obtidos quando há a obsolescência de equipamentos, problemas funcionais e quando esgotadas as suas possibilidades de reuso. Para o estudo desta questão são apresentadas possíveis soluções existentes no cenário mundial e diante da importância deste tema, a legislação brasileira referente ao tema de gestão de resíduos sólidos, focando para o caso dos resíduos eletrônicos e as soluções conhecidas como logística reversa bem como a Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment), ferramenta utilizada para o design e gerenciamento de produtos eletrônicos que sejam ambientalmente desenvolvidos para minimizar o descarte de resíduos eletrônicos. Em um âmbito mundial foram identificadas diversas iniciativas para acompanhar o processo de descarte desde a extração da matéria prima, e em muitos casos, a reciclagem e recuperação dos materiais eletrônicos têm se mostrado uma solução viável e eventualmente rentável para as empresas produtoras, visto que significativa parte dos equipamentos eletrônicos possuem alto valor agregado ao serem reutilizados.

Palavras-chave: Lixo Eletrônico. Resíduos Urbanos. Meio Ambiente. Logística Reversa.

ABSTRACT

This study aims to present and analyze some existing solutions for the implementation of electronic waste management. The production of urban solid waste (USW) is among the major environmental issue faced by urban centers at the beginning of the third millennium. In parallel, the growing technological evolution has also increased the generation of Waste Electronic Equipment (WEEE), obtained when there is the obsolescence of equipment, functional problems and when its possibilities of reuse are exhausted. For the study of this issue, possible solutions existing in the world scenario and in view of the importance of this theme were presented. The solid waste management in Brazilian law, focusing on electronic waste and known solutions as reverse logistics as well as the Life Cycle Assessment, a tool used for the design and management of electronic products that are environmentally developed to minimize the disposal of electronic waste. Worldwide, several initiatives were identified to monitor the disposal process since the extraction of raw materials, and in many cases, the recycling and recovery of electronic materials have proved to be a viable and eventually profitable solution for production companies, since a significant part of electronic equipment has high value when reused.

Keywords: Electronic Waste. Urban Waste. Environment. Reverse Logistics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Destinação de Resíduos eletrônicos em Belo Horizonte	17
Figura 2 – Elementos tóxicos presentes em diversas partes de um computador	18
Figura 3 – Logística Reversa segundo a PNRS	20
Figura 4 – Linhas de segmentos segundo s ABINEE	21
Figura 5 – Classificação de Resíduos NBR 10004	22
Figura 6 – Logística Reversa segundo a ABINEE	23
Figura 7 – Fluxos do REEE	24

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABINEE	–	Associação Brasileira Da Indústria Elétrica e Eletrônica
ACV	–	Avaliação do Ciclo de Vida
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
GIA	–	Global Intelligence Alliance
LR	–	Logística Reversa
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
NBR	–	Norma Técnica Brasileira
PNRS	–	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	–	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RSU	–	Resíduos Sólidos Urbanos
UNFPA	–	United Nations Population Fund

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 METODOLOGIA.....	15
2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS MUNDIALMENTE	17
2.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	19
2.2.1 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS).....	19
2.2.2 RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 257	20
2.2.3 RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 401	20
2.3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELETRICA E ELETRÔNICA (ABINEE)	21
2.4 NBR 10004:2004 – RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSIFICAÇÃO	21
2.5 LOGÍSTICA REVERSA.....	23
2.6 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	25
3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS.....	31

1 Introdução

A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) está entre os maiores problemas ambientais enfrentados pelos centros urbanos neste início de terceiro milênio.

Em paralelo, a crescente evolução tecnológica vem aumentando também a geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), obtidos quando há a obsolescência de equipamentos, problemas funcionais e quando esgotadas as suas possibilidades de reuso.

No Brasil, a Lei 12.305, de agosto de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) que prevê a responsabilidade de fornecedores e fabricantes em realizar a logística reversa de seus equipamentos.

Contudo, independente dos esforços destas empresas, sabe-se na prática que a conscientização da população, que são os usuários finais, é determinante para a efetividade de práticas de reuso, reciclagem e descarte adequado.

Considerando os pontos levantados, a pesquisa investigou as principais soluções existentes para a implementação da gestão deste tipo de resíduo.

Foram levantadas ferramentas existentes para identificar os possíveis impactos ambientais, tecnologias de produtos que possuam uma melhor performance (maior durabilidade e minimização dos descartes). Identificou-se ainda as iniciativas públicas e de gestão de resíduos eletrônicos.

O trabalho justifica-se pela relevância do tema “Gestão de Resíduos”. Em paralelo à crescente evolução tecnológica vem aumentando também a geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), obtidos quando há a obsolescência de equipamentos, problemas funcionais e quando esgotadas as suas possibilidades de reuso.

1.2 Objetivos

O presente estudo possui os seguintes objetivo geral e objetivos específicos:

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar e analisar algumas soluções existentes para a implementação da gestão de resíduos eletrônicos, correlacionando-as à realidade brasileira.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- _ Revisar a produção técnica existente sobre o assunto;
- _ Apresentar as soluções mais relevantes existentes, teóricas ou já aplicadas;
- _ Analisar comparativamente e criticamente estas soluções;
- _ Definir as possíveis soluções que possam ser investigadas em trabalhos futuros.

1.4 Metodologia

Para a realização deste estudo foi feita uma pesquisa exploratória através de revisão bibliográfica e documental de artigos nacionais e internacionais do ano de 2004 em diante e posterior análise crítica do estado da arte no tema.

No segundo capítulo deste trabalho foi apresentada a pesquisa bibliográfica. O subcapítulo 2.1 contém a contextualização do tema quanto à geração de resíduos sólidos no Brasil e a projeção futura segundo relatório das Nações Unidas. Este capítulo aborda também uma pesquisa realizada em Belo Horizonte (2012) que estudou o comportamento da população quanto ao descarte de resíduos eletrônicos e uma breve apresentação da composição química destes itens.

O subcapítulo 2.2 apresenta a legislação brasileira referente ao tema de gestão de resíduos sólidos, focando para o caso dos resíduos eletrônicos. São mencionados e discutidos os seguintes documentos oficiais: O Programa Nacional de Resíduos Sólidos, de 2010 e duas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 1999 e 2008. O subcapítulo 2.3 apresenta as diretrizes da Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica (ABINEE) e por fim é apresentada no subcapítulo 2.4 a classificação de resíduos segundo a Norma Técnica Brasileira NBR 10004:2004.

O subcapítulo 2.5 da pesquisa é formado pela solução conhecida como logística reversa, amplamente conhecida e aplicada em vários países, enquanto o subcapítulo 2.6 apresenta a Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*), ferramenta utilizada para o *design* e gerenciamento de produtos eletrônicos que sejam ambientalmente desenvolvidos para minimizar o descarte de resíduos eletrônicos, bem como as experiências da utilização desta ferramenta em diversos países.

O terceiro capítulo é composto pela análise de resultados e o quarto capítulo pelas conclusões.

2 Pesquisa Bibliográfica

2.1 Geração de resíduos mundialmente

Estima-se que 7 bilhões de seres humanos produzam anualmente 1,4 bilhão de toneladas de resíduos, representando aproximadamente 1,2 kg por dia per capita (BRASIL, 2014). Enquanto isso, a população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas, chegando a 9,7 bilhões em 2050 (UNFPA, 2019), tornando este problema cada vez mais grave.

Em pesquisa realizada em Belo Horizonte conforme a Figura 1 (SIQUEIRA; MARQUES, 2012), levantou-se que 36% dos entrevistados descartam seus produtos eletrônicos através de doações, como forma de terceirizar a outrem a responsabilidade pelo descarte, visto que em muitos casos os equipamentos não estão em condições de reaproveitamento. Outra parte dos entrevistados, 34%, acabam descartando o resíduo eletrônico junto ao lixo doméstico, enquanto 15% guardam os resíduos eletrônicos por não saber como descartá-los ou a quem entregá-los.

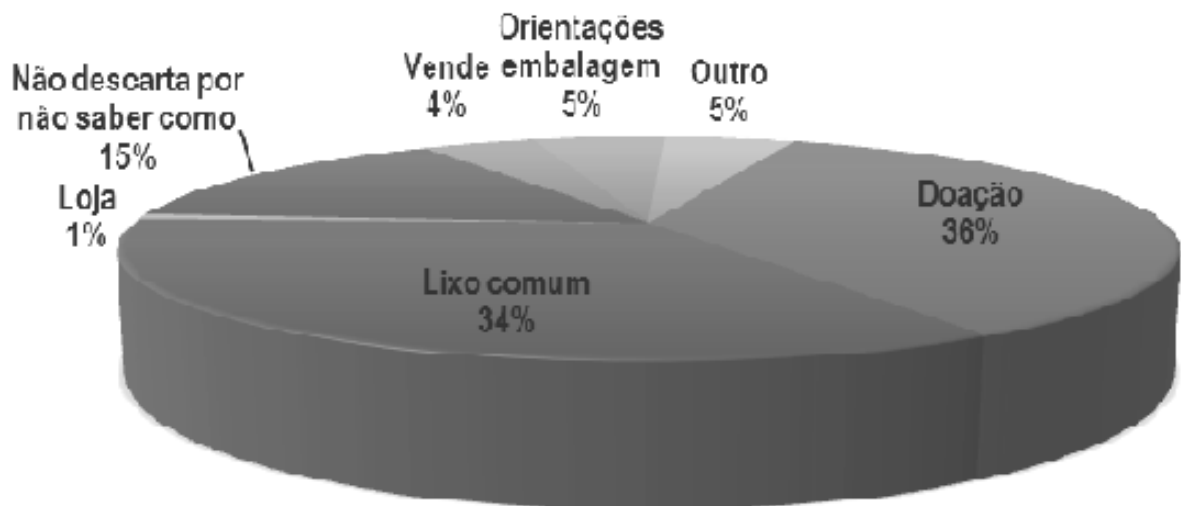


Figura 1 – Destinação de resíduos eletrônicos em Belo Horizonte

Fonte: SIQUEIRA E MARQUES, 2012

Analisando-se a composição química de vários tipos de equipamentos eletrônicos (Figura 2), é possível afirmar que o descarte inadequado destes itens

pode acarretar inúmeros problemas desde à contaminação do solo e da água até a interferência na saúde humana. Se incinerados, liberam na atmosfera compostos tóxicos e cancerígenos resultantes de substâncias comumente encontradas em dispositivos eletrônicos como – Mercúrio-Hg, Níquel-Ni, Cádmiio-Cd, Arsênio-Ar, Chumbo-Pb, dentre outros. (SILVA, 2010).

Elemento	Onde se localiza	Efeitos tóxicos no ser humano
Chumbo (Pb)	Tubos de raios catódicos e soldas	Danos neurológicos, renais e sanguíneos.
Vanádio (V)	Tubos de raios catódicos	Distúrbios gastrointestinais, inapetência.
Bromo (Br)	Retardantes de chama em circuitos impressos, fios e cabos	Desordem hormonal, nervosa e reprodutiva.
Antimônio (Sb)	Retardantes de chama em circuitos impressos, fios e cabos	Nefrite, problemas cardiovasculares e gastrointestinais.
Cádmiio (Cd)	Algumas baterias, soldas e circuitos integrados	Danos aos ossos, rins, dentes e pulmões; possível agente cancerígeno.
Bário (Ba)	Vidro (tela) de um tubo de raios catódicos	Distúrbios gastrointestinais, convulsões, hipertensão, lesões renais e cardíacas.
Mercúrio (Hg)	Soldas, termostatos e sensores	Danos neurológicos e hepáticos.
Berílio (Be)	Liga antifricção (cobre-berílio)	Edema e câncer pulmonar.

Figura 2 – Elementos tóxicos presentes em diversas partes de um computador

Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2010

2.2 Legislação Brasileira

Diferentemente de outros países, o Brasil ainda não possui uma legislação específica para a regulamentação e destinação de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), seguindo então as diretrizes legislativas gerais ligadas ao poder executivo e ao Ministério do Meio Ambiente. As três principais legislações gerais são:

2.2.1 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Lei Federal nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que cria a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada pelo decreto federal nº 7404 de 13 de dezembro de 2010:

Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

O Ministério do Meio Ambiente institui através da PNRS a responsabilidade mútua de todos os agentes do processo de geração de resíduos, desde a indústria, importação, comercialização até o consumidor final. Cria também um sistema de metas para a eliminação gradual dos lixões e instrumentos para o planejamento em todas as esferas (estadual, municipal, federal). Exige também que empresas elaborem e implementem seus planos de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.

O PNRS é o instrumento de regulamentação brasileiro vigente de maior abrangência. Alguns de seus objetivos são: a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; reutilização, tratamento e disposição adequada de resíduos; redução do volume e toxicidade de resíduos perigosos; articulação entre as esferas do poder público com o setor empresarial; capacitação técnica na área de resíduos; integração dos catadores de materiais recicláveis em ações de responsabilidade compartilhada e estímulo ao consumo sustentável.

Para tais objetivos, a política estabelece quais os instrumentos a serem utilizados, tais como os planos de resíduos sólidos; as coletas seletivas; os sistemas de logística reversa (figura 3) que serão detalhados no tópico seguinte; os incentivos

fiscais e financeiros; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, dentre outros inúmeros instrumentos mencionados na lei.

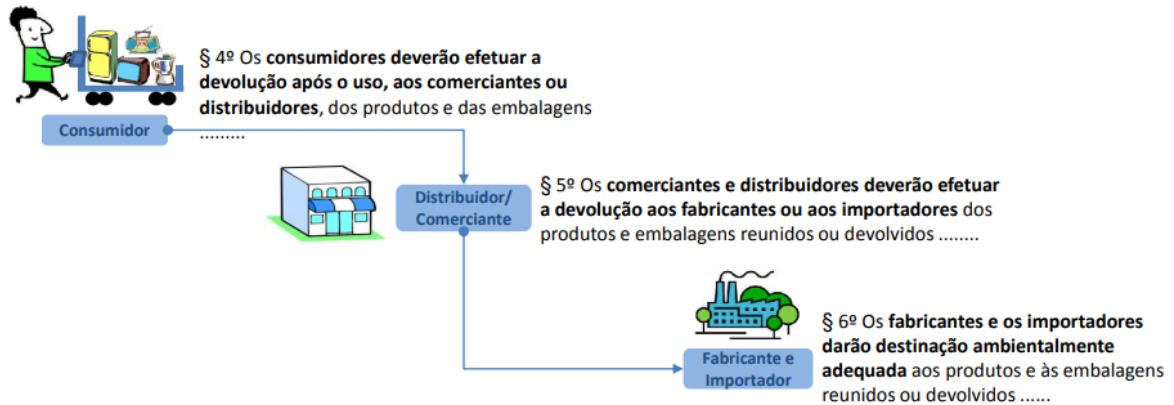


Figura 3 – Logística reversa segundo a PNRS

Fonte: ABINEE, 2012

2.2.2 Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 257

A Resolução CONAMA nº 257/99: “Estabelece a obrigatoriedade de procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada para pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos” (CONAMA, 1999).

2.2.3 Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 401

A Resolução CONAMA nº 401/08: “Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado [...]” (CONAMA, 2008).

As resoluções mencionadas acima nos subtópicos 3.2 e 3.3 são de caráter específico para os procedimentos de descarte de pilhas e baterias que contenham componentes tóxicos, dificultando sua adaptação para outros componentes eletroeletrônicos.

2.3 Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE)

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) foi fundada em setembro de 1963 e possui aproximadamente 600 empresas filiadas. O faturamento da indústria eletroeletrônica no Brasil representa 3,3% do PIB, empregando cerca de 180 mil trabalhadores diretos. (ABINEE, 2012). O objetivo da associação é assegurar o desenvolvimento do complexo eletroeletrônico no país, bem como sua integração com a sociedade. A associação divide os equipamentos eletroeletrônicos em quatro categorias (figura 4): linha marrom, linha verde, linha branca e linha azul.



Figura 4 – Linhas de Segmentos segundo a ABINEE

Fonte: ABINEE, 2012

Os resíduos eletroeletrônicos em destaque neste trabalho são caracterizados pela ABINEE como linha verde, onde se enquadram os produtos como desktops, notebooks, impressoras, celulares, monitores, dentre outros.

2.4 NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos - Classificação

Além dos órgãos e entidades anteriormente citados, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também classifica os resíduos sólidos na Norma Técnica Brasileira NBR 10004:2004. Segundo a NBR, os resíduos são classificados em:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos.

Os REEE são classificados em sua maioria como resíduos perigosos (figura 5), devido à reatividade, toxicidade, inflamabilidade, corrosividade ou patogenicidade de um ou mais de seus componentes. (ABNT, 2004). Alguns exemplos de elementos químicos comumente presentes em REEE foram apresentados no capítulo 2 deste trabalho.

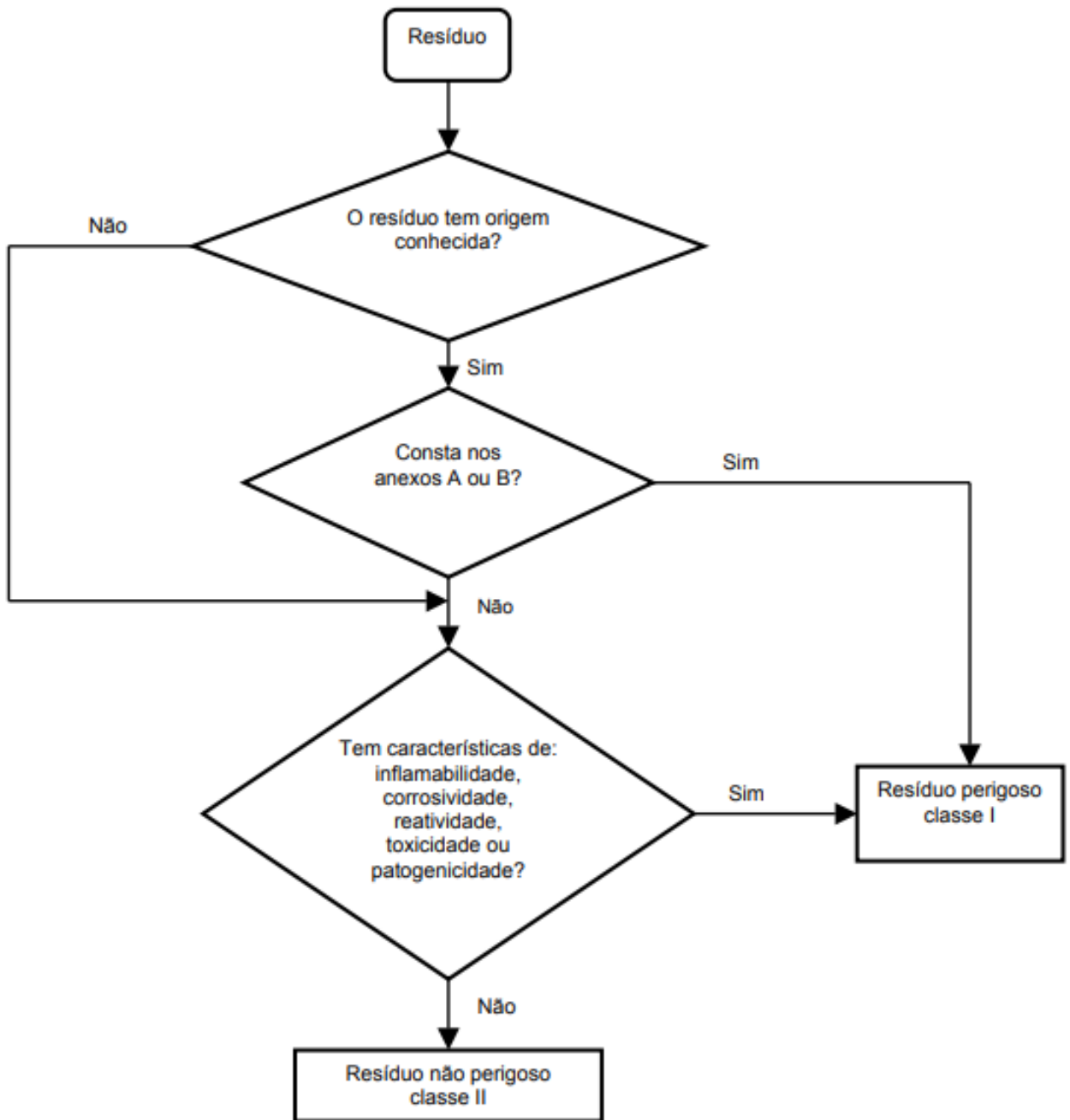


Figura 5 – Classificação de Resíduos NBR 10004

Fonte: ABNT, 2004

2.5 Logística Reversa

Conforme mencionado anteriormente, os sistemas de logística reversa são parte dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Este processo consiste no gerenciamento pelas indústrias e produtores do retorno dos produtos gerados, ou seja, coletar, reciclar, reutilizar produtos e peças já descartados pelos consumidores para minimização de rejeitos (DAHER, *et al.*, 2006).

Para Rogers e Tibben-Lembke (1999), Logística Reversa é todo o sistema que analisa e controla todo o fluxo de matérias primas e estoques até o produto final e também o retorno desse material até o ponto de origem para o descarte apropriado ou recuperação de componentes de valor.

Sendo assim, a logística reversa se inicia em nível de consumo, com a coleta de produtos, e termina com o seu reprocessamento em instalações de remanufatura (figura 6). Através de regulamentações dos governos, as empresas são obrigadas a elaborar redes ou cadeias de suprimentos reversas eficientes e são incentivadas pela possibilidade de ganhos financeiros para a remanufatura de produtos usados. Os altos retornos econômicos têm contribuído para que haja um foco na reciclagem.



Figura 6 – Logística Reversa segundo a ABINEE

Fonte: ABINEE, 2012

O desafio que surge para as redes de logística reversa deve-se principalmente à maior incerteza de oferta, o que tornam essas redes mais complicadas do que as redes tradicionais de logística direta. Além disso, os investidores têm alto risco ao tomar decisões na fase de projeto da produção reversa, devido aos altos custos associados ao transporte, possíveis locais de instalação e outros fatores. (Tibben-Lembke, 1999).

Para as empresas em produção e reciclagem reversa (figura 7), o investimento inicial é um fator crucial que afeta todas as decisões subsequentes: o layout do sistema de transporte e os locais ideais de grandes infraestruturas, como centros de inspeção, plantas de remanufatura e centros de reciclagem.

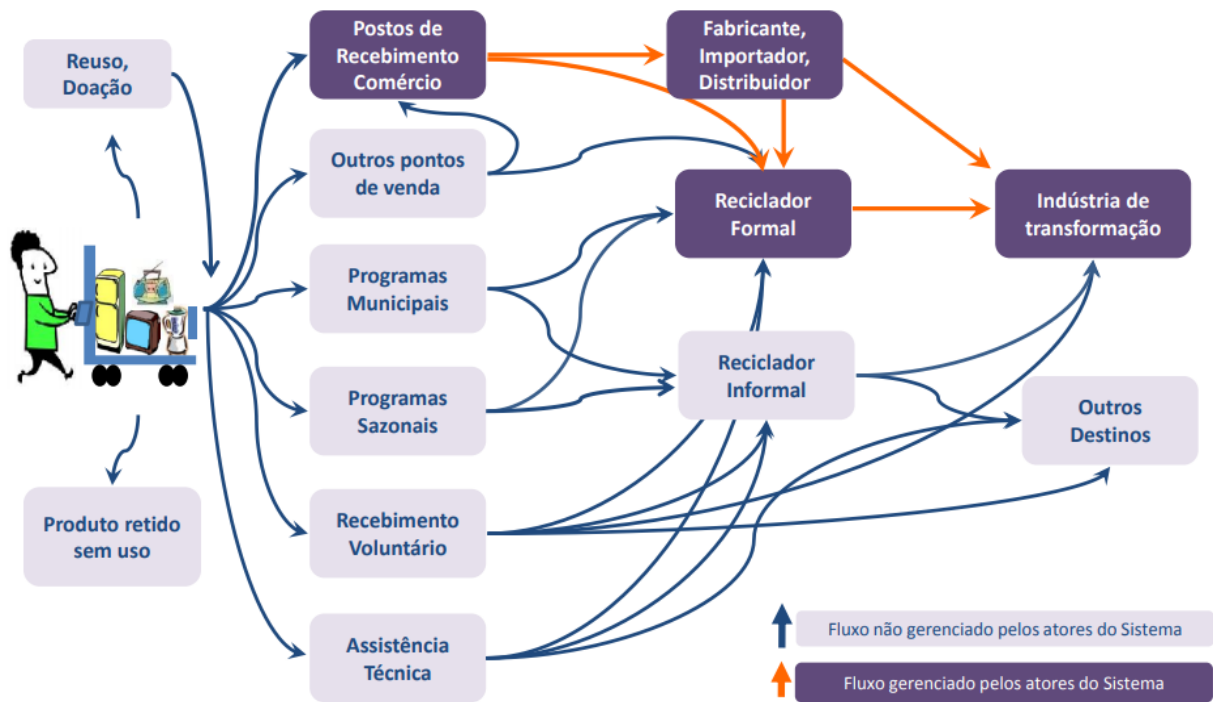


Figura 7 – Fluxos do REEE

Fonte: ABINEE, 2012

Na verdade, a maioria das empresas eventualmente expande seus sistemas de transporte, em vez de abrir novas instalações, pois é mais rentável. Eles inicialmente operam a partir de uma região que garante um lucro maior, enquanto terceirizam várias operações até que seus negócios cresçam, que é quando eles escolhem expandir. O transporte, entre outros, é uma das operações que as empresas podem optar por terceirizar. As principais razões para a terceirização incluem a redução de custos trabalhistas, a redução de ativos, bem como a expansão da carga de trabalho. Por outro lado, a razão para não optar pela terceirização está relacionada principalmente à perda de controle de gestão e interrupção da integralidade da empresa (Tibben-Lembke, 1999).

2.6 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas utilizadas para projetar produtos eletrônicos que sejam ambientalmente sustentáveis e minimizar os problemas com resíduos eletrônicos. (SONG *et al.*, 2012) Desde os anos 90 diversas pesquisas têm sido realizadas sobre o *design* ou *eco design* dos dispositivos eletrônicos para o desenvolvimento de produtos e minimizar impactos ambientais. A ACV é mundialmente utilizada para a gestão de resíduos eletrônicos e é composta por quatro fases principais (SPHERA, 2020):

1. Definição de objetivo e escopo
2. Análise de Inventário
3. Avaliação de Impacto
4. Interpretação

Na fase de definição de objetivo e escopo, será definido o produto ou serviço que será avaliado, escolhida uma base de comparação e o nível de detalhamento necessário. Em seguida deve ser definida uma meta que determina o escopo, incluindo objetivo, aplicação e audiência. Por fim, deve ser determinado se haverá ou não uma revisão crítica deste objetivo.

Na segunda fase de análise de inventário será executada uma compilação de dados e análise de inventário de extrações e lançamentos no ambiente. O inventário final fornecerá uma lista de todas as entradas e saídas associadas ao ciclo de vida do produto ou serviço escolhido.

Na terceira fase de avaliação de impacto, serão classificados o uso dos recursos e as emissões geradas conforme seus potenciais impactos e quantifica-los para um número limitado de categorias de impacto, para avaliar então sua importância relativa ao estudo da ACV.

Por fim, na última fase serão discutidos os resultados em termos de contribuições, relevância, robustez e qualidade dos dados e avaliar então quaisquer oportunidades para reduzir os efeitos negativos dos produtos ou serviços sobre o meio ambiente (HISCHIER *et al.*, 2005).

Na Suíça, Hischer *et al.* (2005) estudaram os impactos dos sistemas suíços de recuperação e reciclagem de resíduos eletrônicos. E os resultados mostraram que este processo é muito vantajoso do ponto de vista ambiental quando comparado com a incineração. Wäger *et al.* (2011) acompanharam a pesquisa mencionada anteriormente e compararam os resultados. Seu trabalho mostrou que os impactos ambientais do lixo eletrônico em 2009 foram muito menores do que o anteriormente determinado devido à reciclagem de resíduos plásticos em vez de incineração. Além disso, Scharnhorst *et al.* (2005) estudaram alternativas de tratamento para telefones celulares. O estudo realizou seis cenários de tratamento e descobriram que a reciclagem de material leva a uma redução dupla dos impactos ambientais.

Na Coreia, Kim *et al.* (2004) usaram a ACV para avaliar potenciais de reciclagem em termos de fatores ambientais e econômicos. O potencial de reciclagem em termos de pontuação ambiental mostrando o maior valor foi para placas de vidro e circuito, seguido por ferro, cobre, alumínio e plástico, respectivamente. Em termos de pontuação econômica, os resultados mostraram-se os mais altos valores foram cobre, seguido por alumínio, ferro, plástico, vidro e placas de circuito. Choi *et al.* (2006) estudaram a taxa prática de reciclagem de um computador pessoal e avaliaram o impacto ambiental. O descarte incluiu dois cenários: aterro sanitário ou reciclagem. Seus resultados mostraram que a reciclagem é a opção mais eficiente para o descarte.

Em Taiwan, Lu *et al.* (2006) estudaram as alternativas para descarte de computadores considerando a venda para o mercado de segunda mão, reciclagem, incineração e aterro sanitário, em termos ambientais e econômicos. Eles descobriram que a reciclagem não é uma boa opção devido aos impactos no meio ambiente a partir de materiais perigosos. Eles enfatizaram o reaproveitamento através de vendas de segunda mão.

No Japão, Nakamura e Kondo (2006) utilizaram a ferramenta ACV em termos de análise de custos do ciclo de vida que comparou dois cenários: reciclagem e aterro sanitário para descarte de resíduos eletrônicos. Eles descobriram que o descarte de aterros economizou custos em relação à reciclagem, mas o descarte de aterros resultou em maior carga ambiental e emissões de carbono.

Na Índia, Ahluwalia e Nema (2007) usaram a ACV como ferramenta de tomada de decisão para o gerenciamento de resíduos de computador. A ACV foi

utilizada para avaliar aspectos econômicos, riscos percebidos e impactos ambientais. Os resultados mostraram que o ciclo de vida ideal de uma área de trabalho de computador foi observado como menor em 25% do que o custo otimizado e o valor otimizado dos impactos do desperdício de computador para o meio ambiente ou qualquer risco percebido para o público.

Na Tailândia, Apisitpuvakul *et al.* (2008) estudaram o impacto ambiental do descarte de lâmpadas fluorescentes em várias proporções de reciclagem. Eles descobriram que o aumento das taxas de reciclagem reduziu os impactos ambientais.

Na América do Sul, a ACV também foi utilizada para avaliar o impacto ambiental para a gestão de resíduos eletrônicos. Streicher-Porte *et al.* (2009) estudou a sustentabilidade dos cenários de fornecimento de computadores de reformas locais ou no exterior e novos computadores de baixo custo doados a escolas colombianas. Os resultados mostraram que os computadores locais de segunda mão são boas opções em termos de normas técnicas, mas apresentaram desvantagens relacionadas à manutenção de aparelhos e aspectos ambientais.

Estudos realizados com ACV em vários países sugerem que a reciclagem é a estratégia mais adequada para o gerenciamento dos resíduos eletrônicos em comparação com o aterro ou incineração. No entanto, nem sempre é assim, pois alguns pesquisadores concluíram que a reciclagem não é uma boa opção onde os processos de reciclagem impactam no meio ambiente.

3 Análise dos Resultados

Conforme apresentado no segundo capítulo, a legislação brasileira é restrita basicamente à Política Nacional de Resíduos Sólidos e percebe-se que ainda existem poucas definições quanto ao descarte de Resíduos Eletrônicos. Esta carência de diretrizes específicas abre margem para que os cidadãos em geral continuem destinando estes itens de forma inadequada muitas vezes.

Apesar da carência quanto à legislação, observa-se que existem algumas diretrizes normativas e de associações ligadas à própria indústria que podem auxiliar em próximas etapas importantes do processo.

Para que a gestão dos resíduos eletrônicos avance é fundamental que haja um equilíbrio entre três vertentes:

- Viabilidade econômica – através recuperação de recursos financeiros e valores agregados dos componentes e peças;
- Social – através da salubridade nos processos de reuso e reciclagem e também da conscientização da população em geral quanto à importância do descarte adequado de REEE;
- Ambiental – através da redução da incineração de componentes tóxicos à saúde e prevenção à contaminação dos lençóis freáticos.

Em um âmbito mundial foram identificadas diversas iniciativas para acompanhar o processo de descarte desde a extração da matéria prima, e em muitos casos, a reciclagem e recuperação dos materiais eletrônicos têm se mostrado uma solução viável e eventualmente rentável para as empresas produtoras, visto que significativa parte dos equipamentos eletrônicos possuem alto valor agregado ao serem reutilizados.

Os estudos internacionais mostram que o sucesso em termos de gestão dos resíduos eletrônicos se inicia no *design* de equipamentos, que devem ser projetados para terem maior durabilidade inicialmente. Ao término de sua vida útil, estes produtos devem ser coletados adequadamente e recuperados para a reciclagem, atentando sempre para os métodos seguros à saúde humana, em virtude dos componentes químicos existentes.

A gestão eficiente é composta também pela conscientização sobre o impacto do resíduo eletrônico (quanto à poluição causada) que pode ser prejudicial tanto aos usuários quanto aos fabricantes.

Nos estudos citados neste trabalho, observa-se que este processo de gestão é utilizado de maneira eficiente em países desenvolvidos, enquanto os países em desenvolvimento, como o Brasil, são visíveis o maior atraso da comunidade local quanto à necessidade de implementar tais estratégias de gestão. Nestes países, é importante incorporar à educação de crianças e adolescentes sobre a necessidade de gerir os REEE's.

Embora existam outras ferramentas disponíveis para a gestão de resíduos eletrônicos, os processos de logística reversa e avaliação do ciclo de vida foram priorizados devido à sua grande presença em diversos países.

Percebe-se que a iniciativa privada, que detém o controle de todo o processo industrial, tem grande potencial para tornar-se a maior responsável pelo processo de não-geração ou minimização da geração de resíduos eletrônicos, desde que haja legislação e fiscalização específicas para o cumprimento destas ações. É importante também maior conscientização da população em geral para que o ciclo de geração, produção, descarte e reuso se complete de forma efetiva.

4 Conclusões

A partir do estudo e das análises realizadas, verifica-se a necessidade de reavaliar todo o ciclo de produção vigente, bem como a legislação e políticas públicas voltadas ao tema. Para construir um plano de gestão adequado, são necessárias diversas medidas, como por exemplo: treinamentos e campanhas de conscientização que envolvam todos os atores do problema, Estado, empresas e sociedade civil. A questão dos resíduos eletrônicos é crescente e extremamente preocupante. Sem uma coesão entre os atores envolvidos a qualidade de vida da população estará em risco a médio/longo prazo.

Ao longo de tantos anos de crescimento tecnológico e do estímulo ao consumo, o descarte de resíduos eletrônicos foi consequência esperada, que despertou atenção tardia de busca soluções pelos Estados e pela população a partir dos inúmeros problemas decorrentes de sua destinação inadequada. Resíduos estes que quando incinerados ou em contato com lençóis freáticos podem contaminar o meio ambiente com seus vários componentes tóxicos.

Portanto, o desafio apontado trata-se da criação uma gestão alternativa capaz de equilibrar o desenvolvimento tecnológico e industrial com a preservação do meio ambiente de maneira que a reciclagem destes materiais se torne economicamente, socialmente e ambientalmente viável para a sustentabilidade.

A legislação, em paralelo, vem se desenvolvendo para que as indústrias se tornem cada vez mais responsáveis pelos resíduos produzidos mesmo após o consumo, e através destas leis e normas, permitirá ao estado a fiscalização e garantir o cumprimento destes planos de gestão dos resíduos eletrônicos. Caberá ainda ao Estado a conscientização do consumidor final, no sentido de que seja realizada a correta destinação de seus produtos.

O tema abordado é de grande abrangência, complexidade e importância, levando a inúmeras reflexões. Sendo assim, futuros trabalhos podem ser desenvolvidos posteriormente sobre:

- A obsolescência programada dos bens eletroeletrônicos;
- A análise regional do ciclo de descarte de resíduos eletroeletrônicos;
- Iniciativas privadas de gestão de resíduos eletroeletrônicos.

Referências

- AHLUWALIA, K.; NEMA, A.K. A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste. **Resources, Conservation and Recycling** v.51, p.792–826, Jan. 2007.
- APISITPUVAKUL, W. *et al.* LCA of spent fluorescent lamps in Thailand at various rates of recycling. **Journal of Cleaner Production**, v.16, p.1046–1061, ago. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade**. Brasília, DF, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. Senado Federal. Rumo a 4 bilhões de toneladas por ano. **Em discussão**. Brasília, DF, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010.
- CHOI, B.-C. *et al.* Life cycle assessment of a personal computer and its effective recycling rate. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.11, p.122–128, mar. 2006.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 257/99**. Brasília, 1999.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 401/08**. Brasília, 1999.
- DAHER, Cecílio Elias; SILVA, Edwin Pinto de la Sota; FONSECA, Adelaida Pallavicini. Logística Reversa: Oportunidade para Redução de Custos através do Gerenciamento da Cadeia Integrada de Valor. **BBR – Brazilian Business Review**, Vitória, v.3, n.1, p.58-73, jan/jun. 2006.
- FÉLIX, Gabriela Corrêa e COSTA, Mariana Fernandes da. **Análise da gestão de resíduos sólidos urbanos no Rio de Janeiro frente à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 128f. Monografia (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- HISCHIER, R; WAGER, P; GAUGLHOFER, J. Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss takeback and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). **Environmental Impact Assessment Review**, St Gallen, v.25, p. 525–539, jun. 2005.
- KIM, J. *et al.* Methodology for recycling potential evaluation criterion of waste home appliances considering environmental and economic factor. **IEEE**, p.68–73, ago. 2004.
- LU, L. *et al.* Balancing the life cycle impacts of notebook computers: Taiwan's experience. **Resources, Conservation and Recycling** v.48, p.13–25, jun. 2006.

- NAKAMURA, S.; KONDO, Y. A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances. **Ecological Economics**, v.57, p.494–506, set. 2006.
- OLIVEIRA, R. S.; GOMES, E. S.; AFONSO, J. C. O Lixo eletroeletrônico: Uma abordagem para o ensino fundamental e médio. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 4, p. 240-248, 2010.
- ROGERS, Dale Rogers; TIBBEN-LEMBKE, Ronald. Going Backwards: Reverse Logistics Trends and practices. **Reverse Logistics Executive Council**, University of Nevada, 1999.
- SCHARNHORST, W. *et al.* The end of life treatment of second generation mobile phone networks: strategies to reduce the environmental impact. **Environmental Impact Assessment Review**, **St Gallen**, v.25, p.540–566, mai. 2005.
- SILVA, Janari Rui Negreiros da. Lixo eletrônico: Um estudo de responsabilidade ambiental no contexto do instituto de educação ciência e tecnologia do Amazonas. **I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Bauru, nov. 2010.
- SIQUEIRA, Valdilene S., MARQUES, Denise Helena França. Gestão e descarte de Resíduos Eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n.43, p. 174-187, out. 2012.
- SONG, Quingbin *et al.* Life cycle assessment of TV sets in China: A case study of the impact of CRT monitors. **Waste Management**, v. 32, p.1926-1936, jun. 2012.
- SPHERA, Risk Management. **What is Life Cycle Assessment (LCA)**. 2020. Disponível em: <www.sphera.com/insights/what-is-a-life-cycle-assessment-lca/>. Acesso em: out 2020.
- STREICHER-PORTE, M., *et al.* One laptop per child, local refurbishment or overseas donations? Sustainability assessment of computer supply scenarios for schools in Colombia. **Journal of Environmental Management**, v.90, p.3498–3511, out. 2009.
- UNITED NATIONS POPULATION FUND. **UNFPA 2019: Unfinished Business**. The pursuit of right choices for all. New York, 2019.
- WÄGER, Patrick; HISCHIER, Roland; EUGSTER, M. Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE): a follow-up. **Science of the Total Environment**. Saint Gallen, v.409, p. 1746-1756, fev. 2011.