



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT**



**André Ricardo de Almeida
Natália Santos Pimentel**

**FRAÇÃO POLIMÉRICA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS (REE),
POTENCIAIS IMPACTOS E INICIATIVAS DE REAPROVEITAMENTO**

Limeira
2019

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia - FT

André Ricardo de Almeida
Natália Santos Pimentel

**FRAÇÃO POLIMÉRICA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS (REE),
POTENCIAIS IMPACTOS E INICIATIVAS DE REAPROVEITAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual de Campinas como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Ambiental,
sob a orientação do Professor Dr. Marco Aurélio
Soares de Castro.

Limeira
2019

André Ricardo de Almeida
Natália Santos Pimentel

**FRAÇÃO POLIMÉRICA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS (REE),
POTENCIAIS IMPACTOS E INICIATIVAS DE REAPROVEITAMENTO**

Limeira, 29 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de Castro
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr^a. Marta Siviero Guilherme Pires
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Dagoberto Yukio Okada
Universidade Estadual de Campinas

Resumo

A atualização de tecnologias provoca uma cultura de substituição e descarte constante, levando ao acúmulo de equipamentos obsoletos ou não funcionais. Essa problemática é bastante atual e ainda existem muitas dúvidas sobre o destino destes resíduos, que por conterem metais pesados em sua composição são potencialmente tóxicos para o meio ambiente e à saúde da população, além de gerar custos desnecessários aos geradores. Neste cenário, o reaproveitamento surge como uma saída estratégica para minimizar este impacto, uma vez que uma fração significativa dos componentes dos equipamentos eletroeletrônicos são poliméricos e passíveis de reciclagem. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo a identificação e caracterização de polímeros de resíduos eletroeletrônicos (REE) além da avaliação de seus impactos e indicação de iniciativas de reaproveitamento por meio da revisão de livros, artigos e teses. Um estudo de caso inicial foi conduzido em indústria do ramo automotivo e dentre os equipamentos descartados não foi possível identificar nenhum dos componentes poliméricos em razão da difícil acessibilidade à informação contida no interior dos resíduos. Concluiu-se que iniciativas de reaproveitamento de materiais poliméricos provenientes dos REE requerem etapas preliminares como identificação, separação, triagem e desmontagem por parte da empresa receptora para, assim, serem avaliadas as possibilidades de destinação. Dentre essas possibilidades, são destacados três tipos de reciclagem: física, química e energética.

Palavras-chave: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REE). Reaproveitamento. Reciclagem. Polímeros.

Abstract

Technology upgrade causes a constant replacement and disposal culture, leading to the increase of obsolete or non-functional equipments. This problem is very current and there are still many doubts about the destination of these wastes, which contain heavy metals in their composition and are potentially toxic to the environment and the health of the population, besides generating unnecessary costs for generators. In this scenario, reuse emerges as a strategic outlet to minimize this impact, since a significant fraction of the components of electro-electronic equipment are polymeric and recyclable. Thus, the present work had as objective the identification and characterization of polymers of Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE) besides the evaluation of their impacts and indication of initiatives of reuse through the revision of books, articles and theses. An initial case study was conducted in the automotive industry and among the discarded equipment it was not possible to identify any of the polymeric components due to the difficult accessibility to the information contained inside the waste. It was concluded that the WEEEs initiatives for the reuse of polymeric materials need preliminary steps such as identification, selection, sorting and disassembly by the receiving company in order to be evaluated the possibilities for destination. Among these possibilities, three types of recycling are highlighted: physical, chemical and energetic.

Keywords: Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE). Reuse. Recycling. Polymers.

Lista de figuras

Figura 1 – Estrutura do ABS

Figura 2 – Figura 2: Instaurações (a) cis; (b) trans; (c) 1,2-vinil do Polibutadieno

Figura 3 – Estrutura do PP

Figura 4 – Estrutura do PS

Figura 5 – Estrutura do SAN

Figura 6 – Estrutura do PET

Figura 7 – Formação do PU

Figura 8 – Formação da Poliamida 6

Figura 9 – Formação da Poliamida 6.6

Figura 10 – Estrutura do PVC

Figura 11 – Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR

Figura 12 – Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade

Figura 13 – Esquema geral de uma linha de reciclagem de plásticos rígidos

Figura 14 – Etapas do processo de reciclagem mecânica de polímeros rígidos

Figura 15 – Armazenamento dos REE antes da implantação dos novos containers.

Figura 16 – Novo coletor (externo).

Figura 17 – Novo coletor (interno).

Figura 18 – Parte dos resíduos coletados no período.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Composição dos resíduos eletroeletrônicos

Tabela 2 – Porcentagem de plástico presente em alguns REE

Tabela 3 – Porcentagem dos tipos de plásticos presentes em alguns REE

Lista de abreviações e siglas

REE – Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos

WEEE – Waste Electric and Electronic Equipment

UE – União Europeia

ABS – Acrilonitrila-butadieno-estireno

HISP – Poliestireno de alto impacto

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

SAN – Estireno-acrilonitrila

PU – Poliuretano

PA – Poliamida

PET – Poliéster

PVC – Policloreto de vinila

Sumário

1. Introdução.....	10
2. Objetivos.....	11
3. Revisão bibliográfica	12
3.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos	12
3.2 Classificação na Europa.....	13
3.3 Classificação no Brasil	14
3.4 Política Nacional dos Resíduos Sólidos.....	14
3.4.1 Coleta seletiva.....	15
3.4.2 Logística reversa.....	16
3.5 Composição dos REE	16
3.6 Tipos de polímeros encontrados nos REE	18
3.6.1 ABS	18
3.6.2 Poliestireno de alto impacto.....	18
3.6.3 Polipropileno	19
3.6.4 Poliestireno.....	20
3.6.5 Estireno-acrilonitrila	20
3.6.6 Poliéster	21
3.6.7 Poliuretano	21
3.6.8 Poliamida.....	22
3.6.9 Policloreto de vinila	22
3.7 Possibilidades de reaproveitamento	23
3.7.1 Remanufatura	23
3.7.2 Métodos de Reciclagem de polímeros	24
4. Materiais e métodos.....	32
5. Resultados	33
5.1 Impactos	33
5.2 Estudo de caso	33
6. Conclusões.....	38
Referências.....	39

1. Introdução

O avanço da tecnologia permitiu que muitos materiais fossem descobertos ou desenvolvidos para facilitar o cotidiano das pessoas e, dentre eles, destaca-se o plástico. Sua relevância se deu a partir das características deste polímero: custo baixo, resistência à água, apresenta flexibilidade e alta durabilidade.

Esse material surgiu como forma de substituir matérias primas como o aço, couro, lã, marfim e, por ter custo acessível, se tornou muito popular para suprir as novas demandas dos consumidores. Essas demandas incluíam descartáveis, objetos de lazer e eletroeletrônicos, que hoje são tão presentes.

Com o passar das décadas, o aumento dessas demandas junto com a busca de ferramentas que auxiliam no dia-a-dia das pessoas, sobretudo em relação ao uso de equipamentos eletrônicos, despertou uma preocupação por parte dos governos e ambientalistas, visto que esses equipamentos apresentam ciclos de vida cada vez menores e são descartados à medida que ficam tecnologicamente ultrapassados (NATUME, 2011).

Dessa forma, houve um grande aumento na geração de resíduos eletroeletrônicos, conhecido também como lixo eletrônico, que compreende desde os eletrodomésticos de grande porte às peças pequenas como celulares e as contidas em computadores (NATUME, 2011) e são chamados de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos ou simplesmente REE (FERNANDES, 2015).

Esses produtos eletroeletrônicos são constituídos por vários tipos de polímeros, tendo como principais o ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno); HIPS (poliestireno de alto impacto); PVC (policloreto de vinila); polietileno; polipropileno e policarbonatos, que por serem derivados de petróleo e não renováveis, podem causar graves impactos negativos ao meio ambiente e riscos para a população (UTIMURA, 2014).

Considerando que apenas 22% dos plásticos são reciclados no Brasil (UTIMURA, 2014), têm-se buscado alternativas para solucionar essa problemática, como o desenvolvimento de novos polímeros que visam impactar menos e também o reaproveitamento e reciclagem desses materiais.

1. Objetivos

Identificar e caracterizar frações poliméricas de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REE), avaliar seus impactos no meio ambiente e indicar iniciativas de reaproveitamento desse material através do levantamento bibliográfico, além da avaliação inicial sobre a inserção de um modelo de gestão dos REE através de um estudo de caso em indústria do ramo automotivo.

2. Revisão bibliográfica

3.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

De acordo com a Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012, define-se eletroeletrônicos como:

[...] os equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1000 V para corrente alternada e 1500 V para corrente contínua (UE, 2012).

Desta forma, pode-se considerar como Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE) tudo aquilo que é derivado desta definição e que não tem mais utilidade de serviço.

A diretiva também direciona sobre as medidas adequadas referentes aos resíduos gerados de equipamentos eletroeletrônicos ao submeter diretrizes que devem ser seguidas de modo a reduzir a geração desses resíduos e assegurar correta destinação. São algumas delas:

- Criação de sistemas de coleta dos REE de acordo com a demanda populacional;
- Os distribuidores de novos produtos devem ser responsáveis pelos resíduos por eles gerados;
- Os distribuidores devem prover área de recolha gratuita nas lojas (ou imediações) com vendas relacionadas a equipamentos eletroeletrônicos sem que os utilizadores finais tenham que obrigatoriamente comprar um tipo equivalente (UE, 2012).

Tendo em vista estes itens, o transporte dos REE recolhidos deve proporcionar as melhores condições para a reutilização, reciclagem e confinamento de substâncias perigosas (UE, 2012).

Sobre o tratamento dos REE, o 8º artigo da diretiva diz que os resíduos devem ser tratados corretamente, isto é, com exceção dos que sofrerão preparo para serem reutilizados, devem ser removidos todos os fluidos e ter tratamento seletivo seguindo o anexo XII da mesma, onde é estabelecida uma lista de substâncias, misturas e

componentes que devem ser retirados dos equipamentos e seus respectivos métodos de tratamento (UE, 2012).

3.2 Classificação na Europa

Na União Europeia, a classificação de REE se divide em categorias segundo variáveis como porte do equipamento, composição por tipo de material, tipos de uso, risco, entre outras. Essa classificação foi estabelecida pela diretiva 2012/19/UE do parlamento Europeu conforme o quadro 1.

Quadro 1- Categorias dos REEs na União Europeia.

Categoria	Alguns exemplos de equipamentos
Equipamentos de regulação da temperatura	Frigoríficos; congeladores; equipamentos de ar condicionado; radiadores a óleo e outros equipamentos de regulação da temperatura que utilizem para o efeito outros fluidos que não a água.
Telas, monitores e equipamentos com telas de superfície superior a 100 cm ²	Telas; aparelhos de televisão; molduras fotográficas LCD; monitores e computadores portáteis
Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de sódio sob pressão e lâmpadas de haletos metálicos; lâmpadas de sódio de baixa pressão e LED
Equipamentos de grandes dimensões (superior a 50 cm)	Máquinas de lavar roupa; fogões; fornos elétricos; aparelhos de iluminação; equipamento para reproduzir sons ou imagens; computadores e impressoras de grandes dimensões; dispositivos médicos de grandes dimensões; aparelhos de grandes dimensões que fornecem automaticamente produtos e dinheiro; painéis fotovoltaicos.
Equipamentos de pequenas dimensões (inferior a 50 cm)	Aspiradores; aparelhos de iluminação; micro-ondas; equipamentos de ventilação; torradeiras; facas elétricas; cafeteiras elétricas; relógios; máquinas de barbear elétricas; balanças; aparelhos de rádio; câmaras de vídeo; brinquedos elétricos; ferramentas elétricas e eletrônicas de pequenas dimensões; dispositivos médicos de pequenas dimensões; aparelhos de pequenas dimensões que fornecem produtos automaticamente; equipamentos de pequenas dimensões com painéis fotovoltaicos integrados.
Equipamentos informáticos e de telecomunicações com dimensões externa superior a 50 cm	Telefones celulares, computadores pessoais, impressoras, telefones

Fonte: EU, 2012.

3.3 Classificação no Brasil

No Brasil há uma classificação muito utilizada comercialmente definida pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) que divide o setor eletrônico em quatro linhas de acordo com o material e a tecnologia empregada: linha branca, linha marrom, linha verde e linha azul.

A linha branca é formada por equipamentos de grande porte e inclui refrigeradores, ar condicionado, freezers, máquinas de lavar roupa e louça, secadoras e fogões (FERNANDES, 2015).

A linha Marrom é composta por equipamentos de imagem e som, como televisores de tubo, LCD (Display de Cristal Líquido) e LED (Diodo Emissor de Luz), aparelhos de DVD (Digital Versatile Disc) e VHS (Vídeo Home System), rádios gravadores, sistemas de som e filmadoras (FERNANDES, 2015).

A linha verde corresponde a impressoras, computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares (FERNANDES, 2015).

A linha azul compõe equipamentos de pequeno porte, como batedeiras e liquidificadores, ferros de passar roupas, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras, entre outros (FERNANDES, 2015).

3.4 Política Nacional dos Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei N° 12.305 de 2010 e tem como objetivo estabelecer princípios, objetivos, instrumentos e estratégias de gestão dos resíduos sólidos em todo o território nacional a fim de se minimizar a geração e evitar que estes sejam descartados de maneira inadequada.

Uma das diretrizes importantes mencionada na Lei diz respeito à ordem de prioridade descrito no artigo 9º:

[..] na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

A norma também atribui responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, ou seja:

[...] conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei (BRASIL, 2010).

Para isso, são utilizados alguns instrumentos relevantes em relação ao descarte dos REE, especificamente: coleta seletiva e logística reversa.

3.4.1 Coleta seletiva

A coleta seletiva é estabelecida na PNRS e tem por definição: “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição” (BRASIL, 2010).

Apresenta grande relevância pois a segregação do resíduo é a primeira etapa para que seja possível prover um destino adequado para cada tipo, de acordo com suas características de origem e geração.

De acordo com a classificação descrita na NBR 10.004 os REE são considerados como resíduos classe I (perigosos) pois apresentam em sua composição substâncias tóxicas como cádmio, chumbo, arsênio, mercúrio, entre outros. Dessa forma, seu armazenamento deve ser feito em coletores de cor laranja, como indicado na Resolução Conama nº 275. Entretanto, para o manejo desses resíduos foi estabelecido pela CETESB que:

[...] embora genericamente classificados como perigosos, poderão ser gerenciados como resíduos não perigosos exclusivamente nas etapas que não envolvam a separação de seus componentes e, portanto, não haja a exposição a possíveis constituintes perigosos (excetua-se dessa condição a etapa de disposição final). Nesse caso, para fins de recebimento ou coleta (transporte primário), armazenagem temporária e transporte secundário (até a unidade de beneficiamento e/ou tratamento), os equipamentos eletroeletrônicos não são considerados resíduos de interesse ambiental, portanto, prescindem da obtenção de Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental – CADRI (CETESB, 2016).

3.4.2 Logística reversa

A logística reversa é uma das ferramentas instituídas através da PNRS para gerenciar resíduos perigosos e tem como objetivo evitar contaminações de solos e águas, além da economia do consumo de matéria-prima para a produção de novos itens. Sua definição é dada por:

[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Dessa forma, aplicando o conceito de responsabilidade compartilhada, fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes de segmentos industriais que geram esses resíduos têm como obrigação a estruturação e implementação do sistema independente de coleta, restituição do resíduo (reaproveitamento ou reciclagem) ou destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

3.5 Composição dos REE

Em geral, os REE são compostos por polímeros, metais e materiais cerâmicos (FERNANDES, 2015), dependendo da linha do equipamento. Na tabela 1, pode-se verificar as principais composições dos REE, onde mais de 25% em massa são polímeros (UTIMURA, 2014).

Tabela 1: Composição dos resíduos eletroeletrônicos.

Composição	% em peso
Ferro e aço	47,9
Plástico sem retardante de chama	15,3
Cobre	7,0
Vidro	5,4
Plástico com retardante de chama	5,3
Alumínio	4,7
Placas de circuito impresso	3,1
Madeira	2,6
Cerâmica	2,0
Outros metais não ferrosos	1,0
Borracha	0,9
Outros	4,8

Fonte: CAMPOLINA, J. M., 2015.

Quanto aos polímeros, Utimura (2014) destaca 15 principais tipos: copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), poliestireno de alto impacto (HISP), polipropileno (PP), poliestireno (PS), estireno-acrilonitrila (SAN), poliéster (PET), poliuretano (PU), poliamida (PA), misturas de PC com ABS e misturas de PPO com HIPS; também, e também pode conter retardantes de chama e aditivos ou ocorrer a substituição de plásticos por biopolímeros e nanocompósitos em misturas com polímeros (UTIMURA, 2014). As Tabelas 2 e 3 apresentam respectivamente as porcentagens em massa de polímeros e dos tipos presentes em alguns REE.

Tabela 2: Porcentagem em peso de plástico presente em alguns REE.

REEE	% em peso
Freezers e refrigeradores	10,4
Pequenos REEE (batedeiras, balanças, rádios, relógios)	49,1
Impressoras	23,6
Máquinas de Xerox	15,7
CPU	3,5
Monitores de CRT	17,5
Televisores de CRT	16,5

Fonte: CAMPOLINA, J. M., 2015.

Tabela 3: Porcentagem dos tipos de plásticos presentes em alguns REE.

Tipos de plásticos	% em peso						
	Freezers e refrigeradores	Pequenos REEE	Impressoras	Máquinas de Xerox	CPU	Monitores de CRT	Televisores de CRT
PS	76	8	14	14	5	4	15
ABS	6	28	31	32	44	69	---
PC	---	---	5	1	5	---	---
HIPS	---	---	21	8	3	---	8
PP	8	20	---	---	---	---	---
PVC	4	1	---	---	1	2	---
PC/ABS	---	1	23	38	22	20	---
PC/OS	---	---	---	6	---	---	---
PBT com retardantes de chama	---	---	---	---	7	---	---
PS com retardantes de chama	---	3	---	---	---	---	43
HIPS com retardantes de chama	---	---	---	---	---	---	19
ABS com retardantes de chama	---	10	---	---	1	1	4
PP com retardantes de chama	---	6	---	---	---	---	1
Outros	6	23	6	1	12	4	10

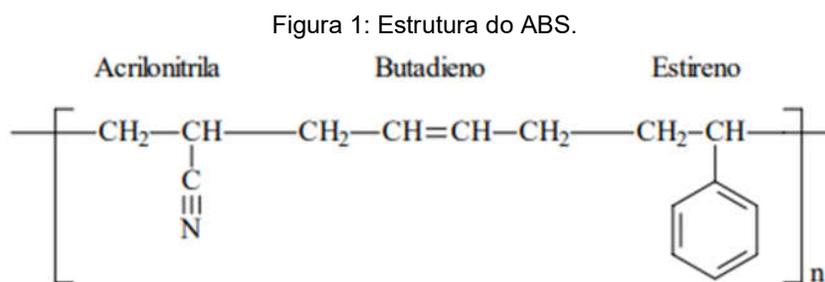
Fonte: CAMPOLINA, J. M., 2015.

3.6 Tipos de polímeros encontrados nos REE

A maior parte da composição dos aparelhos eletrônicos é reciclável. No entanto, para isso, é importante analisar as características de cada polímero encontrado nos resíduos provenientes desse tipo de material, o que configura uma etapa primordial para que se proceda a separação destes e não haja comprometimento da qualidade do produto reciclado uma vez que os polímeros possuem propriedades físicas e químicas tão distintas (ZANIN, 2015). Abaixo estão listados os principais encontrados nos REE e suas singularidades.

3.6.1 ABS

O acrilonitrila-butadieno-estireno ou ABS é um termoplástico usado como modificador de impacto e com bastante versatilidade devido à variação dos seus três constituintes básicos. A acrilonitrila oferece ao composto maior resistência química, ao calor e à flexão do material, além de contribuir para a dureza superficial, o butadieno fornece resistências à impactos e o estireno dá mais rigidez e brilho. Variando a proporção de estireno e butadieno, pode conferir mais resistência à impactos ou mais processabilidade. O ABS tem ampla aplicabilidade que vai desde proteção antiestática à fabricação de músculos artificiais (CRISTOVAN, 2009). A figura 1 ilustra a estrutura do polímero:



Fonte: CRISTOVAN, 2009.

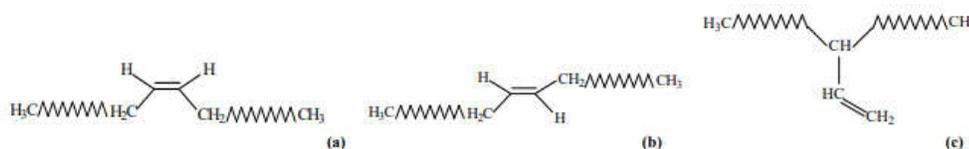
3.6.2 Poliestireno de alto impacto

O Poliestireno de alto impacto ou HIPS é obtido por polimerização *in-situ* de estireno em solução com borracha butadieno. É usado para conferir mais tenacidade

e maior resistência à fratura, devido a uma segunda fase do polibutadieno dispersa em poliestireno. O HIPS tem uma variedade de aplicações que vão desde aparelhos eletrônicos, de telecomunicações, cabos, peças de máquinas e veículos, televisão, microcomputadores a indústrias de calçados, de embalagens e de brinquedos (ROVERE, 2008).

As características do HIPS são determinadas de acordo com a configuração molecular do polibutadieno, ou seja, pela quantidade de instaurações na sua isomeria (trans, cis e vinil). A figura 2 ilustra as instaurações do polibutadieno:

Figura 2: Instaurações (a) cis; (b) trans; (c) 1,2-vinil do Polibutadieno.



Fonte: ROVERE, 2008

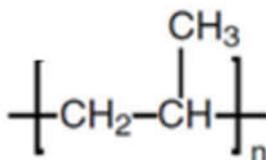
3.6.3 Polipropileno

O polipropileno ou PP é sintetizado a partir de reações químicas da polimerização de um monômero derivado do petróleo. É bastante versátil e é usado na extrusão e na moldagem por injeção (SILVA, 2017).

No polipropileno isotático, o mais usado comercialmente, os grupos metila estão no mesmo nível da cadeia e todos na mesma direção, o que favorece a formação cristalina que pode ser entre 40% e 70%. Mas também existem os polipropilenos sindiotáticos e os polipropilenos atáticos diferenciados apenas pelas posições dos grupos metila na cadeia, que são alternados ou em posição aleatória respectivamente (SILVA, 2017).

O PP reciclado possui aplicações diversas, como a fabricação de autopeças e utilidades domésticas (FRAGA, 2014). A figura 3 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 3: Estrutura do Polipropileno

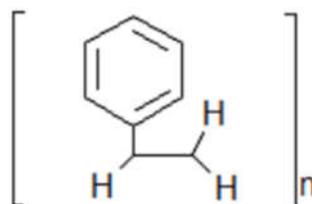


Fonte: adaptado de SILVA, 2017.

3.6.4 Poliestireno

O poliestireno ou PS é um termoplástico e por também ser um homopolímero pode ser obtido através da polimerização do estireno. É flexível e moldável sob altas temperaturas, além de ser transparente e de pouca resistência a impactos, por isso, é comum a adição de blendas poliméricas ou copolímero de estireno para melhorar suas características. Tem como aplicação a fabricação de isolantes, materiais para eletrônicos, plásticos para celulares e embalagens (MARELE, 2011). A figura 4 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 4: Estrutura do poliestireno.

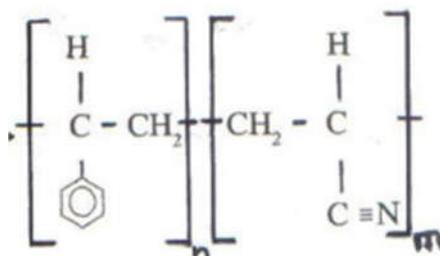


Fonte: adaptado de MARELE, 2011.

3.6.5 Estireno-acrilonitrila

O Estireno-acrilonitrila ou SAN um termoplástico rígido e transparente, e por ser um copolímero, é obtido pela combinação, ou seja, por reações em cadeia das sequências, dos monômeros de estireno, que lhe confere fácil processabilidade, com a acrilonitrila, que lhe proporciona resistência química e mecânica, essas propriedades podem aumentar ou diminuir de acordo com a proporção dos monômeros. Tem como aplicação plásticos em geral, fibras e tecidos (LUIZ, 2015; BREDA, 2011). A figura 5 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 5: Estrutura do SAN.



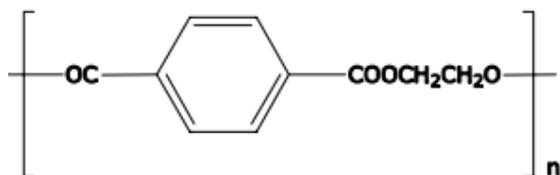
Fonte: adaptado de BREDA, 2011.

3.6.6 Poliéster

O poliéster, mais especificamente o tereftalato de etileno (PET), é um dos materiais plásticos mais populares e reciclados. Possui vasta variedade de estruturas monoméricas, o que lhes proporciona uma série de propriedades, além de apresentar o grupo funcional éster em maior parte na cadeia principal, isso tudo o torna um material com bastante resistência e versatilidade, como fibras, plásticos e materiais com alta resistência à temperatura.

São sintetizados por polimerização ou por combinação de monômeros, no caso de poliésteres lineares (CARMO, 2012). A figura 6 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 6: Estrutura do PET

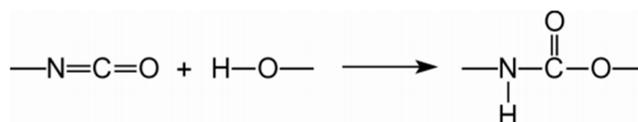


Fonte: PIATTI, 2005

3.6.7 Poliuretano

Os poliuretanos ou PU também são termoplásticos e termorrígidos. A partir de reações de dois ou mais isocianatos com álcool, forma-se uretanos que é o componente estrutural de maior parte dos poliuretanos. Poliuretanos têm diversas aplicações como na fabricação de mobiliário, fibras, tintas, embalagens, revestimentos e espumas, sendo esta a de maior demanda (FIORIO, 2011). A figura 7 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 7: Formação do poliuretano.

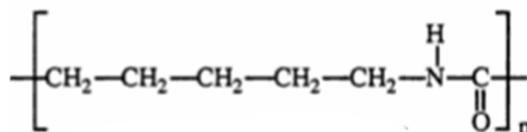


Fonte: FIORIO, 2011.

3.6.8 Poliamida

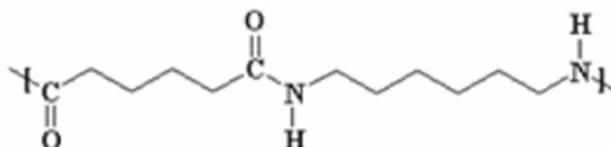
As poliamidas ou nylon-6 são termoplásticos de cadeia longa, sintéticas e apresentam frações de polietileno separados paralelamente ou antiparalelamente por peptídeos, os quais proporcionam ligações de hidrogênio com o polímero. Apresentam alta resistência química, à abrasão, à tensão e à flexão, além de ter boa estabilidade, por isso é muito usada na engenharia para substituir o metal em conexões e componentes (EVORA et al, 2002), porém pode ser suscetível à fraturas quando sujeitas a talhas. As poliamidas são definidas em dois tipos, poliamida 6 e poliamida 6.6, ambas com estrutura linear e intercalação entre os grupos funcionais e pontes de hidrogênio (FACTORI, 2009), como mostram as figuras 8 e 9 a seguir:

Figura 8: Estrutura da Poliamida 6.



Fonte: adaptado de FACTORI, 2009

Figura 9: Estrutura da Poliamida 6.6

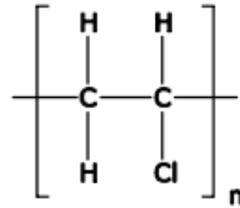


Fonte: adaptado de FACTORI, 2009

3.6.9 Policloreto de vinila

O policloreto de vinila, ou simplesmente PVC, é o segundo termoplástico mais utilizado no mundo por ser o mais versátil deles. O PVC pode ter suas características alteradas devido à incorporação de outras substâncias para formar a resina, o que depende de sua aplicação final, portanto pode ser apresentado de ambas formas flexível ou rígida. São atóxicos e inertes, e no que se refere aos eletrônicos, são muito utilizados na forma de cabos e fios (NUNES, 2006). A figura 10 ilustra a estrutura do polímero:

Figura 10: Estrutura do PVC.



Fonte: PIATTI, 2005

3.7 Possibilidades de reaproveitamento

Considerando que a maior parte dos compostos dos REE são recicláveis, o reaproveitamento, ou seja, a reintegração desses compostos como matéria prima dentro do processo industrial, que pode ou não fazer parte do mesmo ciclo produtivo, é, no momento, a melhor alternativa para os resíduos eletroeletrônicos (FERREIRA et al, 2010).

O que se sabe é que o processo de manufatura reversa de eletrônicos, que consiste na descaracterização de equipamentos para sua posterior reciclagem, só é viável quando é feito a neutralização de substâncias tóxicas junto com a distinção adequada de resíduos, o que exige tecnologias avançadas e de alto custo tornando uma barreira para que países mais pobres utilizem de tal recurso (FERREIRA et al, 2010). Por isso busca-se alternativas mais baratas já que atualmente no Brasil as empresas de reciclagem deste resíduo apenas o descaracterizam e enviam para o exterior (FERREIRA et al, 2010).

3.7.1 Remanufatura

Visando uma forma mais econômica de reciclar os REE, o remanufaturamento é um processo que entra com o objetivo de dar funcionalidade à eletroeletrônicos descartados, podendo ser ou não na sua função original. Isso abre caminhos à inclusão digital visto que esses objetos podem ser doados ou vendidos a baixo custo (FERREIRA et al, 2010).

O remanufaturamento consiste das seguintes etapas:

- 1) Desmontagem: retirada de todos os itens do equipamento usado;

- 2) Limpeza: higienização dos módulos;
- 3) Reparação: os itens são consertados e pode ocorrer a substituição de peças danificadas, gastas ou desatualizadas e também o *updating* de sistemas para eletrônicos;
- 4) Testes de qualidade;
- 5) Montagem: um novo equipamento é montado e que ao final deve estar em boas condições de funcionamento, semelhante ao produto de origem (SILVA et al, 2011).

Como exemplo, o governo federal tem alguns centros distribuídos pelo país que usam do princípio do remanufaturamento. Esses centros reusam e/ou reparam equipamentos usados e descartados e depois os doam para algumas instituições como escolas públicas e bibliotecas. Nos casos de aparelhos que não funcionam, estes são descaracterizados e se dá uma nova funcionalidade aos componentes bons e o restante são destinados à reciclagem adequada para cada tipo de material (FERREIRA et al, 2010).

3.7.2 Métodos de Reciclagem de polímeros

A Política Nacional de resíduos Sólidos no Art. 3º, define reciclagem como:

[...] processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (PNRS, 2010).

Neste contexto, a reciclagem traz benefícios sociais e ecológicos, além dos econômicos a todos os envolvidos no processo (ZANIN, 2015). Em relação aos polímeros, Zanin (2015) classifica os processos de reciclagem em quatro tipos:

Reciclagem primária: consiste na recuperação de resíduos poliméricos provenientes de processos industriais, como aparas, rebarbas ou partes danificadas, em novos produtos com características semelhantes ao dos produtos originais, utilizando técnicas de processamento como moagem ou aglutinação (nos casos de filmes plásticos), lavagem e reprocessamento em injetoras e extrusoras.

Reciclagem secundária: é a conversão de resíduos poliméricos pós-consumo, geralmente oriundos de cooperativas de coleta seletiva ou resíduos urbanos, que, também, por meio de processos como seleção, lavagem, moagem e secagem, podem ser compactados (CRUZ et al, 2011) e tornam-se produtos com menor exigência do que o produto original, um exemplo é conversão de polipropileno em sacos de lixo (SPINACE, 2005).

Reciclagem terciária: consiste em um processo químico na produção de insumos químicos ou combustíveis. Ocorre com a quebra das cadeias poliméricas produzindo monômeros, oligômeros e substâncias de baixa massa molar por meio de reações de despolimerização e posteriormente serão novamente polimerizados e processados (CRUZ et al, 2011).

Reciclagem quaternária: Consiste em uma reciclagem energética, ou seja, por meio de processos térmicos - sendo a incineração a forma mais comum -, obtém-se a recuperação de energia de resíduos poliméricos. Este tipo de reciclagem é realizado quando não é mais possível reaproveitar os resíduos de outra forma (FRAGA, 2014).

Também foram definidas outras classificações para a reciclagem de polímeros, devido a necessidade de se mencionar o processo, como reciclagem mecânica, química e energética.

3.7.2.1 Reciclagem mecânica

No Brasil o processo de reciclagem mecânica é o mais utilizado pelas empresas, devido a fatores econômicos, já que apresenta baixo custo de mão-de-obra e baixo investimento, além do aumento da disponibilidade de matéria-prima e um aquecido mercado de vendas de polímeros reciclados.

Na reciclagem mecânica são utilizados processos por meio da extrusão, injeção, termoformagem e moldagem por compressão. Para isso, são seguidas as seguintes etapas:

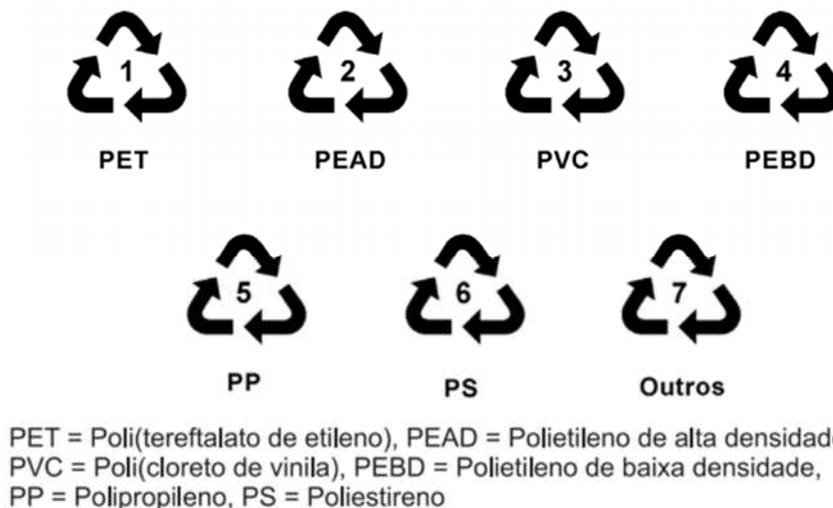
1) Separação do resíduo polimérico:

Essa etapa é importante pois a presença de impurezas, mesmo em baixas concentrações pode alterar as propriedades dos polímeros, sendo necessário que os níveis de impurezas sejam menos que 1% m/m (SPINACE, 2005). A separação pode começar com a uma pré-seleção feita pelo consumidor ou por profissionais (catadores), sendo separados por tipo de plástico e também por cor (ZANIN, 2015).

Depois, já na empresa, a separação dos polímeros pode ser manual ou automatizada, considerando a identificação da simbologia e/ou testes de densidade.

A figura 11 apresenta a simbologia usada para separação dos polímeros.

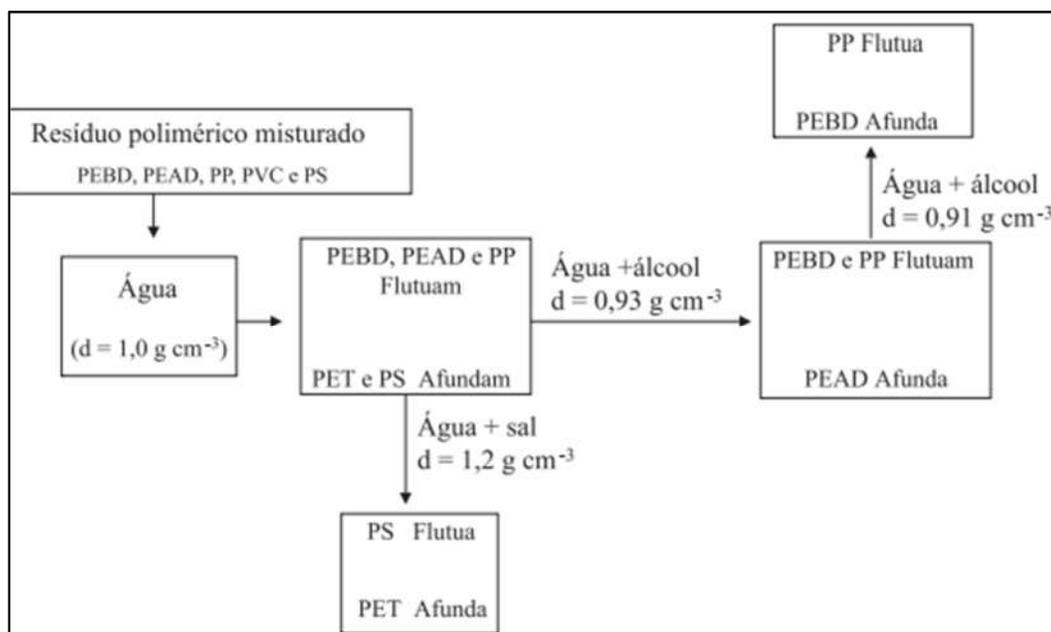
Figura 11: Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)



Fonte: SPINACE, 2005

O esquema da figura 12 apresenta a separação de polímeros por diferença de densidade.

Figura 12: Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade



Fonte: SPINACE, 2005

A separação por diferença de densidade geralmente é feita em tanques de flotação ou hidrociclones e é mais usada para PE, o PP, o PS, o PVC e o PET (SPINACE, 2005).

2) Moagem

Passado a separação, os resíduos passam por uma redução de tamanho, à aproximadamente 1 cm, utilizando moinhos que pode ser de bolas, martelos ou facas, sendo este último o mais empregado nas empresas de reciclagem. Em algumas variações podem ocorrer duas moagens, sendo que a primeira moagem uniformiza o tamanho dos flocos (cerca de 3 cm) e na segunda os reduzem à tamanhos suficientes para próximas etapas, já que os flocos devem ter tamanho regulares para que a fusão seja uniforme (ZANIN, 2015). O pó proveniente da moagem afeta os próximos processos pois se funde mais rápido e dificulta o escoamento do resíduo nos equipamentos (SPINACE, 2005).

A moagem ainda é um processo fundamental, porém custoso em termos de energia e por este motivo algumas empresas já estão em busca de novas tecnologias a fim de diminuir a potência sem cair o desempenho (ZANIN, 2015).

3) Lavagem

Após a moagem acontece a lavagem que seria inviável antes da moagem pois impurezas podem estar incrustadas no interior dos plásticos e tem como objetivo obter material final sem sujeira e remover possíveis impurezas como areia, papéis, outros plásticos e matéria orgânica. O material é lavado em tanques, de alvenaria ou metálicos, contendo água, solução de detergente ou soluções aquosas de hidróxido de sódio (ZANIN, 2015).

Caso seja empregado o uso de produtos químicos, deverá ser adicionado no processo uma etapa de enxágue, com o fim de remover resquícios de produtos químicos que atrapalham as próximas etapas (ZANIN, 2015).

4) Secagem:

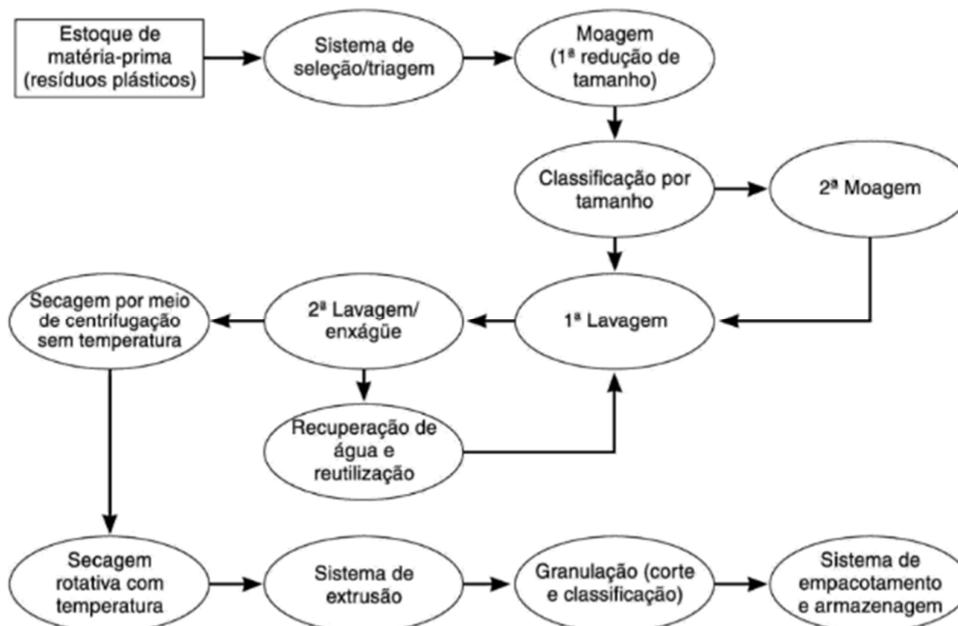
Tem a finalidade de remover toda água aderida na superfície do polímero e é uma etapa essencial pois com essa umidade a altas temperaturas, faz ocorrer a hidrólise de cadeias de alguns polímeros como os poliésteres e as poliamidas durante

o reprocessamento (ZANIN, 2015) e os resíduos de detergente ainda podem atuar como catalisadores na hidrólise. A secagem pode ser mecânica ou térmica e a umidade residual tolerável é de 1% m/m e 0,02% m/m para as poliolefinas e poliésteres/poliamidas, respectivamente (SPINACE, 2005).

A temperatura usada no processo deve ser no mínimo 100°C, podendo ultrapassar 150°C e o tempo utilizado pode variar entre 4 e 12 horas (ZANIN, 2015).

A figura 13 apresenta uma linha de reciclagem de plásticos rígidos onde a etapa de reciclagem é apresentada por duas formas diferentes.

Figura 13: Esquema geral de uma linha de reciclagem de plásticos rígidos



Fonte: ZANIN, 2015

5) Formulação

Depois da secagem são adicionados aditivos com a finalidade de melhorar as propriedades dos polímeros e deixá-los mais próximos dos polímeros virgens. Esses aditivos podem ser antioxidantes, plastificantes, cargas de reforço minerais como carbonato de cálcio, argilas, sílicas, mica, talco, alumina e dióxido de titânio e não minerais como negro de fumo, esferas, fibras de vidro e vegetais. Também pode ser adicionado aditivos à base de alcóxidos de titanatos ou zirconatos ou pequenas quantidades de material virgem (SPINACE, 2005).

6) Reprocessamento:

No processo de transformação, a extrusão (também em conjunto com outros métodos como injeção, rotomoldagem e calandragem) é o procedimento mais viável para obter um material mais homogêneo, já que durante as etapas anteriores o material sofre degradação tornando-o heterogêneo (SPINACE, 2005).

Na extrusão o material moído é alimentado por funis e cai por gravidade em um cilindro aquecido e que gira em torno de uma rosca que transporta os sólidos enquanto ocorre fusão por atrito. No final da rosca sai uma massa em forma de fios que é refrigerada, enrijecida e cortada em grânulos (ZANIN, 2015).

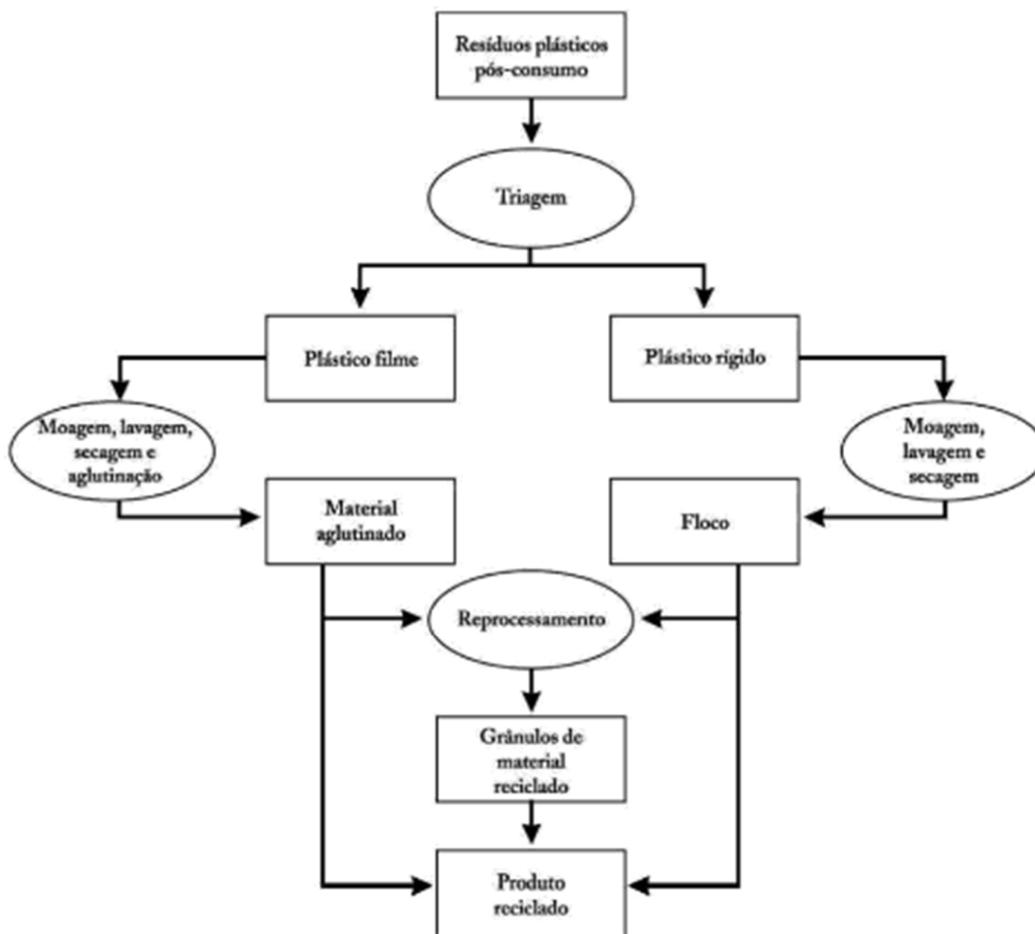
A injeção usa o mesmo esquema de cilindros aquecidos da extrusão com a diferença de que ao final da rosca o material é acumulado e é empurrado por canais de injeção para moldes de resfriamento podendo variar de acordo com o material final desejado (ZANIN, 2015).

A rotomoldagem usa os polímeros em forma de pó e o combina com grandes quantidades de plastificantes. Essa mistura é colocada em moldes ociosos e são aquecidos. A massa se fixa nas paredes dos moldes e após o resfriamento tem como produto final as bolas de plástico (ZANIN, 2015).

Na calandragem os sólidos passam entre rolos aquecidos onde ocorre a fusão por atrito e aquecimento, dando como resultado final lâminas finas e toalhas de plásticos, processo muito usado no processamento de PVC, por apresentar altas temperaturas e menos tempo que a extrusão e injeção (ZANIN, 2015).

A figura 14 mostra um esquema simplificado com todas as etapas de um processo de reciclagem mecânica de polímeros.

Figura 14: Etapas do processo de reciclagem mecânica de polímeros rígidos.



Fonte: ZANIN, 2015.

3.7.2.2 Reciclagem química

A reciclagem química é obtida por meio da despolimerização controlada do polímero, por meio de solvólise ou termólise (métodos térmicos/catalíticos). Nesse método é necessário a separação do plástico de outros resíduos e em alguns casos até a separação de tipos diferentes de plástico. Neste caso, os polímeros devem estar livres de impurezas e de umidade, pois pode atrapalhar a reatividade (ZANIN, 2015).

Na Pirólise, que pode ser a altas ou baixas temperaturas, ocorre a degradação do plástico, transformando-o em algo quase líquido. Na primeira etapa ocorre a despolimerização e na segunda a formação de óleos e gases. Em ambas o processo acontece na ausência de ar ou oxigênio (SPINACE, 2005).

A gaseificação usa o líquido gerado na pirólise e adiciona-se oxigênio à elevadas temperaturas (mais que 1200°C) ocorrendo ao mesmo tempo a pirólise e combustão no interior do leito, gerando gases como CO e H₂ com alto valor agregado. São muito utilizados na indústria, como insumos de processos produtivos e energéticos (SPINACE, 2005).

Na glicólise o polímero é tratado com excesso de glicol, através de uma reação de transesterificação. O principal produto formado é o oligômero de tereftalato de bis-hidroxietila¹¹¹ (SPINACE, 2005).

Na hidrogenação ocorre a formação de hidrocarbonetos como diesel e gasolina. O rompimento de cadeias poliméricas a altas temperaturas faz com que os radicais livres gerados reajam tornando-os saturados com hidrogênio, por isso a obtenção dos hidrocarbonetos (SPINACE, 2005).

Já a solvólise usa como base solventes para a despolimerização dos plásticos (ZANIN, 2015).

3.7.2.3 Reciclagem energética

A reciclagem energética é aplicada quando o reuso do polímero não é viável, usando-o como fonte de energia através da incineração completa do plástico com excesso de oxigênio para que tenha como resultado dióxido de carbono, água e energia, que é usada na alimentação do sistema e o excesso é armazenado e vendido (ZANIN, 2015).

Tem como vantagem o alto poder calorífico dos plásticos e não há, necessariamente, a necessidade de uma separação prévia dos tipos de polímeros. Porém, as plantas de incineração devem ser combinadas com sistemas antipoluição visto que alguns polímeros podem emitir gases poluentes, como dioxinas se for PVC, HCL ou HF se houverem halogênios em sua estrutura e até NO_x se conter sua estrutura nitrogênio (SPINACE, 2005).

4. Materiais e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido através do levantamento bibliográfico de livros, artigos, notícias e legislações pertinentes ao assunto, além do estudo de caso feito em indústria do ramo automotivo com a inserção de um modelo inicial de gestão dos REE a partir da recolha feita em novos coletores de resíduos perigosos devidamente identificados.

5. Resultados

5.1 Impactos

Uma das maiores vantagens do plástico, a durabilidade, também pode ser vista como desvantagem uma vez que resiste a maior parte dos processos de degradação e muitos precisam de longos períodos para serem eliminados da natureza.

Além de durável, apresenta grande resistência a baixo custo, motivo pelo qual são tão populares em todo o mundo.

Nesse sentido, os REE podem ser considerados um dos grandes problemas nas circunstâncias atuais. Segundo dados da União Internacional de Telecomunicação (ITU), a agência especializada da ONU para obter informações e tecnologias de comunicação, em 2016 foram geradas 44,7 toneladas métricas deste resíduo, o que representa um aumento de cerca de 8% em relação ao ano de 2014. Deste montante, apenas 20% foi reciclado (BALDÉ et al, 2017).

A ONU (2019) alertou sobre a poluição do ar causada pela queima de materiais plásticos. Cerca de 12% dos resíduos sólidos municipais é composta de plásticos, e 40% de todo mundo é queimado. O resultado desta queima é a liberação de gases tóxicos na atmosfera, como dioxinas, furanos, mercúrio e bifenilas policloradas (VERMA et al, 2016).

A disposição inadequada dos REE acarreta na contaminação do solo e água, além dos danos à saúde humana e de outros animais como problemas nos sistemas respiratório, nervoso, sanguíneo, entre outros (FAVERA, 2008).

5.2 Estudo de caso

O estudo de caso teve como objetivo avaliar um processo, atualmente em implantação, de gerenciamento dos REE gerados em indústria do ramo automotivo com o fim de adequar a gestão desses resíduos na empresa com o que pede a norma brasileira estabelecida na PNRS.

Este tipo de indústria é organizada através de linhas de produção, que se iniciam na fundição do alumínio, passam pelo processo de usinagem até chegar no

produto final. As manutenções são recorrentes, tanto das máquinas na fábrica quanto nas áreas administrativas, e esse processo é o responsável pela geração dos REE.

No início deste trabalho a indústria em questão não havia nenhuma sistemática para este tipo de resíduo o qual era disposto de forma desordenada e misturada com outros tipos de resíduos – com exceção de pilhas e lâmpadas fluorescentes, normalmente eram dispostos em dois locais, sendo o último o mais utilizado: junto aos resíduos diversos contaminados com óleo, graxa, solventes, ácidos, borra de retífica e lodo proveniente da ETE; e, caso tivessem dimensão maior, eram colocados na caçamba de sucata. É importante ressaltar que esse tipo de tratamento gera muitos danos ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, além de gerar um custo desnecessário à empresa com CADRI e disposição em aterro Classe I. A figura 15 abaixo ilustra a caçamba de sucata citada.

Figura 15: Armazenamento dos REE antes da implantação dos novos containers.



Fonte: autores, 2019.

Após a análise desta situação, como proposta foi solicitado ao departamento responsável pelo Meio Ambiente dois coletores de cor laranja de 240L, cada, devidamente identificados de acordo com a norma para a estocagem dos REE gerados. Após um período de aproximadamente 40 dias de estocagem, os resíduos foram recolhidos e segregados de acordo com os tipos de equipamentos.

As figuras 16 e 17, a seguir, ilustram o novo local de armazenamento e os REE coletados no período citado. Já a figura 18 mostra parte do material coletado durante o período.

Figura 16: Novo coletor (externo).



Fonte: autores, 2019.

Figura 17: Novo coletor (interno).



Fonte: autores, 2019.

Figura 18: Parte dos resíduos coletados no período.



Fonte: autores, 2019.

Foram identificados os seguintes REE: fonte de energia, monitor, teclado, mouse, bateria, telefone com e sem fio, máquina fotográfica, cabo, nobreak e fonte de carregador. Por observação direta, não foi possível caracterizar todos os materiais coletados, pois a identificação dos polímeros fica na parte interna dos equipamentos e o seu desmonte obrigaria a empresa a gerenciá-los como resíduo perigoso. Desta forma, foi a fim de evitar burocracias, retiradas de CADRI, entre outros, foi decidido que o desmonte não seria realizado.

Assim, com este sistema de armazenamento adequado implementado, será possível destinar os REE à alguma empresa especializada que poderá abrir os equipamentos para identificar seus componentes e posteriormente realizar a descaracterização, segregação das peças poliméricas de mesmo tipo e providenciar o reuso de cada um deles. Dessa forma, além de minimizar os impactos no meio ambiente e na saúde humana, dará abertura ao *saving* para a empresa que poderá vender esses resíduos e oferecer destinação adequada.

6. Conclusões

A problemática sobre os REE é relativamente recente e se deve, principalmente, ao avanço da tecnologia e à cultura de descarte.

Apesar de serem considerados como resíduos Classe I (perigosos) por ter em sua composição substâncias tóxicas, os REE são formados em sua grande parte por frações poliméricas plásticas que são passíveis de reaproveitamento através do reuso ou reciclagem. A segregação e identificação destas frações poliméricas são etapas primordiais para que sejam pensadas tratativas adequadas para cada tipo de polímero.

Os processos de reaproveitamento têm relevância uma vez indicados os impactos que este tipo de resíduo pode gerar para o meio ambiente e à saúde da população. Dentre os processos, destacam-se a remanufatura e as reciclagens física, química e energética.

Com o estudo de caso foi possível concluir que os REE gerados em indústria do ramo automotivo mostraram que a caracterização é um desafio a ser resolvido em razão da dificuldade de se identificar as frações poliméricas sem realizar o desmonte dos equipamentos e, por esta razão, optou-se por encaminhar os resíduos recolhidos a uma empresa especializada que fará todo o trabalho, desde o desmonte até a separação de todas as frações poliméricas a fim de se oferecer destinação adequada para cada tipo. Para viabilizar o procedimento de caracterização dos polímeros, seria essencial que os fabricantes se preocupassem com que a identificação se apresentasse de forma mais clara e acessível.

Referências

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE. Departamento de responsabilidade socioambiental. *Logística Reversa: Política nacional de resíduos sólidos e a atuação da ABINEE*. Disponível em: <www.tec.abinee.org.br/2012/arquivos/s1b.pdf>. Acesso em: 08 de jun. 2019.

Associação Brasileira de Normas Métodos (ABNT). Norma Brasileira nº 10.004. *Classificação de Resíduos, NBR 10004*.

BALDÉ, C.P., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., S.P.: *The Global E-waste Monitor – 2017*. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>>. Acesso em 31 de out. 2019.

BRASIL. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 30 de set. 2019.

BRASIL. Resolução Conama nº 275, de 25 de abril de 2001. *Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva*. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291>>. Acesso em 01 de nov. de 2019.

BREDA, A. *Avaliação do Reprocessamento de Copolímero SAN através de moldagem por injeção*. 66 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/865/4414.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 01 de nov. de 2019.

CAMPOLINA, J. M. *Inventário do Ciclo de Vida do Processo de Reciclagem de Plásticos de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE): um estudo de caso*. 115 f. Dissertação - Universidade federal de São Carlos, Sorocaba, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8348/CAMPOLINA_Juliana_Mendes_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 01 de nov. de 2019.

CARMO, C.B. *Mapeamento Tecnológico de Polímeros Furânicos a Partir de Biomassa*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.ladebio.org.br/download/mapeamento-tecnologico-de-polimeros-furanicos.pdf>>. Acesso em 01 de nov. de 2019.

Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Decisão de Diretoria nº.120/2016/C, de 01 de junho de 2016. *Procedimentos para o licenciamento ambiental de estabelecimentos envolvidos no sistema de logística reversa, para a dispensa do CADRI e para o gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp->

[content/uploads/2014/12/DD-120-2016-C-010616.pdf](#)>. Acesso em 30 de out. de 2019.

CRISTÓVÃO, F.H. Preparação e caracterização de blendas de PANI/ABS. 2009. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6116/2347.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

CRUZ, S. A. et al. *Polímeros reciclados para contato com alimentos*. Polímeros, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 340-345, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/po/2011nahead/aop_0759.pdf>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

EVORA, Maria C. et al. Caracterização da poliamida-6 reciclada irradiada por feixe de elétrons. *Rev. Bras. Pesq. Des.* São Carlos, v. 04, n. 3, parte 1, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/7437/094400001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

FACTORI, I. M. *Processamento e propriedades de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com fibra de vidro*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-29092010-163249/publico/Dissertacao_Irina_Marinho_Factori.pdf>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

FAVERA, E.C.D. *Lixo eletrônico e a sociedade*. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/artigo_favera.pdf>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

FERNANDES, I. S. M. *Proposta de um sistema de implantação de logística reversa para resíduos de equipamentos eletroeletrônicos da linha branca*. 118 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de edificações e saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Londrina, 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000203674>>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

FERREIRA, Dérick da Costa; SILVA, Josivan Bezerra da; GALDINO, Jean Carlos da Silva. *Reciclagem de lixo eletrônicos*. *Holos* [S.l.], v. 5, p. 105-113, mar. 2011. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/559/389>>. Acesso em: 03 nov. 201.

FERREIRA, J. M. B.; FERREIRA, A. C. *A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica*. *Revista de ciências exatas e tecnologia*, v.3, n.3. 2008.

FIORIO, R. *Síntese e caracterização de poliuretano termoplástico contendo poss via extrusão reativa*. 2011. 135 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio grande do sul. 2011.

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30866/000779302.pdf>

FRAGA, S. C. L. *Reciclagem de materiais plásticos: aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais*. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014

KASPER, A. C. *Caracterização e reciclagem de materiais presentes em sucatas de telefones celulares*. 105 f. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre, 2011.

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28926>

LUIZ, R.C.; MORAES, L. S. *Síntese de copolímero estireno-acrilonitrila argila*. In: 1º ENCONTRO DE ENGENHARIA, CIÊNCIAS DE MATERIAIS E INOVAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Nova Friburgo, Rio de Janeiro, 2015) Disponível em:

<<http://www.metaeventos.net/userfiles/file/iencontrodeengenharia,CienciadeMateriaiseinovacaodoestadodoRiodeJaneiro/pdfs/354.pdf>>. Acesso em 04 de nov. de 2019.

MALERE, Caroline Paganucci dos Reis. *Síntese e caracterização de padrão de poliestireno para cromatografia de permeação em gel através da polimerização via radical livre controlada mediada por radicais nítróxidos*. 2011. 74 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266829/1/Malere_CarolinePaganuccidosReis_M.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2019.

NATUME, R. Y.; SANT'ANNA, F. S. P. *Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. In: 3º INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEAR PRODUCTION, 18, 2011, São Paulo. Anais eletrônicos. Disponível em:

<www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/6/natume_ry%20-%20paper%20-%205b6.pdf> Acesso em: 08 de jun. 2019.

NUNES, L. R.; RODOLFO, A. Jr.; ORMANJI, W., *Tecnologia do PVC*. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2006. Disponível em:

<http://jovensbraskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Tecnologia%20do%20PVC%202a%20edi%C3%A7%C3%A3o_22.pdf>. Acesso em 08 de nov. de 2019.

Organização das Nações Unidas - ONU. *Meio Ambiente Alerta para Poluição Causada pela Queima de Lixo Plástico*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-meio-ambiente-alerta-para-poluicao-causada-pela-queima-de-lixo-plastico/>>. Acesso em 08 de nov. de 2019.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. *Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais*. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas. Maceió: EDUFAL, 2005.

.Disponível em: <http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf>.

Acesso em 13 nov. 2019

ROVERE, J. et al. *Caracterização morfológica do poliestireno de alto impacto (HIPS)*. *Polímeros*, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 12-19, Mar. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 03 Nov. 2019.

SILVA, E. A. *Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno/carbonato de cálcio (PP / CaCO₃) para possível utilização na indústria automobilística*. 2017. 61f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda. 2017. Disponível em: <http://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/ezequiel-silva.pdf>. Acesso em: 04 de nov. de 2019.

SILVA, Mateus et al. *Modelo de Estudo do impacto das taxas de recuperação de produtos em uma cadeia de suprimentos direta e reversa*. In: Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marina, 2011, Rio de Janeiro. XIV SPOLM, 2011. v. 1. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/spolm/sites/www.marinha.mil.br/spolm/files/89150.pdf>>. Acesso em 03 nov. 2019

SPINACE, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurélio. *A tecnologia da reciclagem de polímeros*. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-72, Feb. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>>. Acesso em 03 nov. 2019.

TRIGO, A. G. M.; ANTUNES, T. R.; BALTER, R. S. *Uma visão sustentável dos resíduos eletroeletrônicos de aparelhos de celular*. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 25, 2013, Salvador. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/VII-032.pdf>> Acesso em: 08 de jun. 2019.

UE - UNIÃO EUROPEIA. *Diretiva 2012/19/UE*, 2012. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>> Acesso em: 08 de jun. 2019.

UTIMURA, S. K. *Reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: separação de ABS e HISP por flotação*. 84 f. Dissertação - Escola politécnica da universidade de São Paulo, Departamento de engenharia química, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-29032017-153945/pt-br.php>>. Acesso em: 04 de nov. de 2019.

Verma R., Vinoda K. S., Papireddy M., Gowda A. N. S. *Toxic Pollutants from Plastic Waste - A Review*. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 701-708. India, 2016.

WIDMER, R. et al. *Global perspectives on e-waste*. *Environmental Impact Assessment Review*, New York, v. 25, p. 436-458, 2005.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. *Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia*. São Carlos, 2015.