



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica & Escola de Química

Programa de Engenharia Ambiental

Rafaela Gomes Correa

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE REMANUFATURA DE
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: o caso das máquinas de lavar roupas

Rio de Janeiro

2019



UFRJ

Rafaela Gomes Correa

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE REMANUFATURA DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: o caso das máquinas de lavar roupas

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Professor Eduardo Gonçalves Serra, DSc.

Co-orientador: Professor Estevão Freire, DSc.

Rio de Janeiro

2019

Correa, Rafaela Gomes.

Análise da sustentabilidade do processo de remanufatura de equipamentos eletroeletrônicos: o caso das máquinas de lavar / Rafaela Gomes Correa. – 2019.

146 f.: 31 il. 30 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2019.

Orientadores: Eduardo Gonçalves Serra e Estevão Freire.

1. Remanufatura. 2. Máquinas de lavar roupas. 3. REEE. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Serra, Eduardo Gonçalves. Freire, Estevão. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE REMANUFATURA DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: o caso das máquinas de lavar roupas

Rafaela Gomes Correa

Orientador: Professor Eduardo Gonçalves Serra, DSc.

Co-orientador: Professor Estevão Freire, DSc.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof. Eduardo Gonçalves Serra, DSc, UFRJ

Prof. Estevão Freire, DSc, UFRJ

Prof. Eduardo Linhares Qualharini, DSc, UFRJ

Prof. Marcos Barreto de Mendonça, DSc, UFRJ

Prof. Rafael Garcia Barbastefano, DSc, CEFET-RJ

Rio de Janeiro

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua infinita graça tantas vezes demonstrada ao longo desta trajetória.

Aos professores Dr. Eduardo Gonçalves Serra e Dr. Estevão Freire pelo apoio, paciência e sábias orientações.

A todos os professores do Programa de Engenharia Ambiental (PEA) da Escola Politécnica e da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) por todo o conhecimento adquirido ao longo do curso.

Aos colegas do PEA pelas experiências compartilhadas.

Aos profissionais das áreas de refrigeração e vendas de peças de equipamentos eletroeletrônicos cujas valiosas informações contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

À UFRJ, instituição que permitiu a concretização deste marco em minha vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Em especial, à minha família, que se fez fundamental nesta jornada por proporcionar os devidos meios para a realização deste projeto.

RESUMO

CORREA, Rafaela Gomes. **Análise da Sustentabilidade do Processo de Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos: o Caso das Máquinas de Lavar Roupas.** Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O consumo intensivo de matérias-primas não renováveis e a geração e disposição de resíduos sólidos constituem uma grande preocupação da sociedade em relação à sustentabilidade. Bens de consumo duráveis, como carros, televisores, refrigeradores e máquinas de lavar roupas estão entre os exemplos mais representativos de impactos ambientais gerados pela produção de novas unidades, pelo alto volume de ferro e outras matérias-primas utilizadas e pela contaminação do solo causada pela disposição final. Em 2016, a geração brasileira per capita de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) foi de 7,4 kg/hab, o que já superou a média mundial de 6,1 kg/hab. Diversas empresas buscam novas soluções para a recuperação desses materiais e sua reintrodução na cadeia produtiva. Na fase de projeto, estas organizações procuram desenvolver os seus produtos para facilitar a sua reintrodução no ciclo de produção, no âmbito da abordagem da economia circular que envolve recursos materiais e energéticos. A remanufatura é uma importante alternativa à disposição final de produtos, compreendendo a recuperação de REEE e a mitigação ou eliminação da contaminação do solo. Este trabalho analisa a viabilidade da remanufatura como uma estratégia sistemática para o caso das máquinas de lavar roupas no Brasil, assumindo que este tipo de equipamento possui características adequadas para a remanufatura. Ao utilizar metodologias de ACV, análise de custos e referências de mercado, além de aspectos culturais, legais e logísticos, foi possível concluir que a remanufatura de máquinas de lavar roupas possui viabilidade técnica e econômica nas condições analisadas e que, para o caso estudado, é uma alternativa preferível se comparada à reciclagem e à fabricação de um novo equipamento.

Palavras-chave: máquinas de lavar roupas, REEE, remanufatura, desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

CORREA, Rafaela Gomes. **Sustainability Analysis of the Remanufacturing Process of Electrical and Electronic Equipment**: the case of washing machines. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

The massive consumption of non-renewable raw materials and the generation and disposal of solid waste is a major worry of society concerning sustainability. Durable consumption goods such as cars, TV sets, refrigerators and washing machines are among the most representative examples of environmental impacts generated by the production of new units, for the high volume of iron and other raw materials used, and soil contamination caused by their final disposal. In 2016, the Brazilian per capita generation of waste electrical and electronic equipment (WEEE) was 7.4 kg/inh, what already exceeded the world average of 6.1 kg/inh. Several companies are searching for new solutions for the recovery of these materials and their reintroduction in the productive chain. At the design stage, these organizations seek to develop their products to make it easier for their reintroduction into the production cycle, within the frame of the circular economy approach involving material and energy resources. Remanufacturing is an important alternative to the final disposal of goods, comprising the recovery of WEEE and the mitigation or the elimination of soil contamination. This paper analyzes the feasibility of remanufacture as a systematic strategy for the case of washing machines in Brazil, assuming that this type of equipment has suitable characteristics for remanufacturing. By using LCA, cost analysis and market references, as well as cultural, legal and logistics aspects, it was possible to conclude that the remanufacturing of washing machines has technical and economic feasibility under the analysed conditions, and that for the case studied, it is a preferable alternative if compared to the recycling and the manufacturing of a new equipment.

Keywords: washing machine, WEEE, remanufacturing, sustainable development.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade global de REEE gerado.....	68
Tabela 2 – Composição de materiais em uma máquina de lavar	95
Tabela 3 – Componentes de uma máquina de lavar	96
Tabela 4 – Estudos de remanufatura de máquinas de lavar roupas identificados na literatura.....	98
Tabela 5 – Tempo de desmontagem de uma máquina de lavar	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenciação das atividades alternativas na preparação para reuso ...	37
Quadro 2 – Principais benefícios da EoL sob a ótica do desenvolvimento sustentável.....	38
Quadro 3 – Motivações empresariais para a implantação do processo de remanufatura.....	56
Quadro 4 - Principais indicadores da indústria eletroeletrônica no Brasil	66
Quadro 5 – Metais pesados presentes no REEE	69
Quadro 6 – Situação da Logística Reversa no Brasil	80
Quadro 7 – Máquinas de lavar roupas no mercado brasileiro	87
Quadro 8 – Resultados da ACV de máquinas de lavar	102
Quadro 9 – Peças mais propensas a defeitos em máquinas de lavar e os seus respectivos preços	110
Quadro 10 – Síntese dos custos identificados e premissas adotadas	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gestão ambiental empresarial – influências	2
Figura 2 – Modelo atual de desenvolvimento	12
Figura 3 – Modelo de desenvolvimento sustentável	13
Figura 4 – Geração e Coleta Anual de RSU.....	18
Figura 5 – Disposição final de RSU.....	18
Figura 6 – Índice de disposição final de RSU	18
Figura 7 – Tipos de logística reversa	21
Figura 8 – Logística reversa pós-consumo.....	22
Figura 9 – Canais diretos e reversos.....	22
Figura 10 – Logística reversa e a redução do ciclo de vida dos produtos	25
Figura 11 – Ciclo de vida de um produto conforme o fluxo de materiais	27
Figura 12 – Diagrama da Economia Circular.....	29
Figura 13 – Atividades na estratégia de reuso	36
Figura 14 – Ciclo de vida de um produto.....	39
Figura 15 – Hierarquia End-of-life	40
Figura 16 – Exemplo de um processo genérico de remanufatura	46
Figura 17 – Processo genérico de remanufatura.....	46
Figura 18 – Linhas de produto	62
Figura 19 – Produção física da indústria eletroeletrônica no Brasil	66
Figura 20 – Ciclo de Vida dos REEE.....	71
Figura 21 – Tratamento e disposição final de produtos	74
Figura 22 – Modelo europeu de logística reversa de eletroeletrônicos.....	84
Figura 23 – Ranking das marcas de máquina de lavar no mercado nacional.....	88
Figura 24 – Participação das máquinas de lavar nos domicílios do Brasil (%)	89
Figura 25 – Produção e vendas unitárias de máquinas de lavar no Brasil.....	90
Figura 26 – Estrutura interna de uma máquina de lavar	92
Figura 27 – Vista frontal de uma máquina de lavar	92
Figura 28 – Diagrama esquemático tridimensional de uma máquina de lavar	93
Figura 29 – Os principais recursos e emissões relacionados ao ciclo de vida de uma máquina de lavar	99
Figura 30 – Limites do sistema para o cenário de remanufatura de máquinas de lavar	101
Figura 31 – Custos da remanufatura nas instalações da Electrolux em Motala.....	107

LISTA DE SIGLAS

ABC	Agência Brasileira de Cooperação
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AMLURB	Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	Clorofluorcarbono
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CORI	Comitê Orientador para a Implantação de Sistemas de Logística Reversa
DfE	Design for Environment
DfRem	Design for Remanufacturing
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EEE	Equipamentos eletroeletrônicos
EndL	End of Life
FECOMERCIO-SP	Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
GEE	Gases de Efeito Estufa
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
GTT	Grupo de Trabalho Temático
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produto Industrializado
JICA	Japan International Cooperation Agency
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OEM	Original Equipment Manufacturer
PAH	Hidrocarboneto aromático policíclico
PBDE	Éter difenílico polibromado
PCB	Bifenila policlorada
PEV	Pontos de Entrega Voluntária
PHAH	Hidrocarboneto aromático polihalogenado
PIA-Produto	Pesquisa Industrial Anual-Produto
PIS	Programas de Integração Social
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RoHS	Restriction on the use of Harzadous Substances
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SMAC	Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Metodologia	7
1.3 Estrutura da dissertação	9
2 ASPECTOS GERAIS DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE REMANUFATURA.....	10
2.1 Desenvolvimento sustentável.....	10
2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	14
2.2.1 Resíduos Sólidos Urbanos	16
2.2.2 Logística reversa	19
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida	25
2.3.1 Economia circular	27
2.3.2 Ecologia industrial.....	31
2.3.3 Ecodesign (Design For Environment – DfE).....	32
3 ESTRATÉGIAS DE FIM DE VIDA	34
3.1 Alternativas de recuperação	34
3.2 Definições de reuso	35
4 REMANUFATURA.....	41
4.1 O processo de remanufatura	42
4.2 Atores da remanufatura	44
4.3 Etapas da remanufatura.....	45
4.4 Benefícios da remanufatura	48
4.5 Barreiras à remanufatura	51
4.5.1 Barreiras técnicas	51
4.5.2 Barreiras culturais.....	52
4.5.3 Barreiras econômicas	53
4.5.4 Barreiras de design.....	53
4.5.5 Barreiras de competição	54
4.6 Condições para a viabilidade da implantação de uma estratégia de remanufatura	54
4.7 Ações empresariais e fatores motivadores à remanufatura.....	56
4.8 Projeto para a remanufatura	58

5 A INDÚSTRIA ELETROELETRÔNICA E OS SEUS RESÍDUOS	61
5.1. Conceitos e tipologias de EEE	61
5.2 Caracterização do mercado brasileiro de EEE	63
5.3 Geração e descarte dos REEE	67
5.4 Composição dos REEE e os seus impactos ambientais	69
5.5 Tecnologias de tratamento de REEE	71
5.5.1 Ciclo de vida dos REEE	71
5.5.2 Tipos de tratamento e disposição final	73
5.5.3 Experiências nacionais na gestão de REEE	75
5.5.3.1 A logística reversa de REEE no Brasil	77
5.5.3.2 Motivações para a logística reversa de REEE no Brasil.....	81
5.5.4 Experiências internacionais na gestão de REEE	83
6. A INDÚSTRIA DE MÁQUINAS DE LAVAR E OS SEUS RESÍDUOS	86
6.1 Caracterização do mercado brasileiro de máquinas de lavar	86
6.2 Geração e descarte de resíduos de máquinas de lavar	89
6.3 Decomposição da máquina de lavar em seus elementos.....	91
6.4 Composição básica das máquinas de lavar	94
7 AVALIAÇÃO DA REMANUFATURA PARA O CASO DAS MÁQUINAS DE LAVAR	97
7.1 Características da remanufatura das máquinas de lavar.....	97
7.2 Casos especiais para a remanufatura das máquinas de lavar roupas	98
7.2.1 Aspectos técnicos.....	102
7.2.2 Aspectos econômicos	105
7.2.2.1 Custos de desmontagem	105
7.2.2.2 Custos em uma unidade de remanufatura	106
7.2.2.3 Custos dos componentes	108
7.2.2.4 Custos de transporte.....	111
7.2.2.5 Custo total identificado.....	113
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
8.1 Recomendações para trabalhos futuros.....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXO 1 – COMPONENTES DE UMA MÁQUINA DE LAVAR.....	131

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

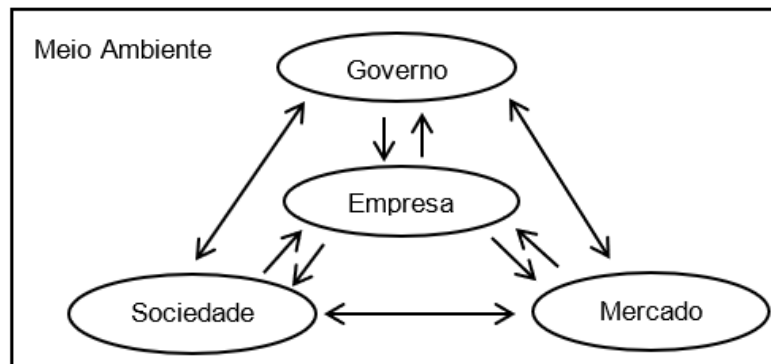
O planeta Terra é alvo de uma contínua pressão exercida pela humanidade por meio da crescente demanda por recursos materiais e energéticos, bem como pelo agravamento dos problemas ambientais (CALIJURI e CUNHA, 2013). Contribuem para este cenário o avanço do desmatamento gerado pela extração intensiva de matérias-primas e o consequente esgotamento dos recursos naturais, as elevadas taxas de emissão de gases poluentes oriundos do processo de fabricação de produtos que intensificam os fenômenos de mudanças climáticas e o aumento da geração de resíduos.

A poluição gerada pelo descarte de produtos pós-consumo ocasiona diversas consequências para a sociedade e as empresas, como os custos associados à destinação final de bens e o custo da repercussão negativa na imagem da organização, além dos chamados custos ambientais, ocasionados pelo impacto dos produtos no meio ambiente. A revalorização ambiental de um produto em fim de vida é caracterizada pela eliminação ou mitigação desse somatório dos custos dos impactos ambientais gerados. (LEITE, 2009).

Barbieri (2008) observa que a solução dos problemas ambientais (ou, ao menos, a sua minimização) requer uma mudança de atitude do setor empresarial, considerando o meio ambiente nas suas decisões estratégicas. Como resposta ao agravamento das questões ambientais, é necessário que as empresas migrem para a adoção de estratégias corporativas que promovam a preservação dos recursos naturais e energéticos e a redução da geração de resíduos.

Esta mudança de atitude com a introdução da preocupação ambiental raramente surge de maneira espontânea; ao contrário, em geral é motivada por três grandes conjuntos de forças que interagem entre si e exercem influência de forma recíproca, representadas na Figura 1: o governo, a sociedade e o mercado (BARBIERI, 2008).

Figura 1 – Gestão ambiental empresarial – influências



Fonte: Adaptado de Barbieri (2008)

Desta forma, a questão ambiental requer a coordenação de forças de todos os atores envolvidos, demandando, também, uma mudança significativa de comportamento dos consumidores e o estabelecimento de políticas governamentais que fomentem o desenvolvimento de práticas sustentáveis e tecnologias que contribuam para a preservação dos recursos naturais. Calijuri e Cunha (2013) observam que a sociedade moderna tem como grande desafio a garantia equilibrada da coexistência entre crescimento econômico, equidade social e qualidade ambiental.

O crescente envolvimento das organizações em relação às questões ambientais não seria observado caso não existissem medidas governamentais e pressões da sociedade nesta direção. Ainda que haja iniciativas empresariais voluntárias, individuais ou coletivas, que excedam os requisitos solicitados pela legislação vigente e acabem formando as diretrizes para as futuras leis, em geral, as legislações ambientais originam-se de uma demanda por parte da população, a qual exerce força sob os agentes governamentais para solucionar os problemas ambientais que observa (BARBIERI, 2008).

A legislação possui, portanto, um relevante papel como força motriz que estimula as empresas a adotarem uma postura de preservação dos recursos naturais. Soler et al. (2012) observam que o estabelecimento e a implantação de políticas públicas na esfera ambiental possuem uma função de elevada importância, uma vez que criam obrigações aos entes da cadeia de fabricação e comercialização de produtos. Calijuri e Cunha (2013) relatam que a mudança de postura do setor empresarial ao realizar ações de prevenção e minimização de danos ambientais decorre, principalmente, de medidas punitivas oriundas das legislações e de órgãos fiscalizadores ou, ainda, de prêmios recebidos por incrementos em produtividade,

imagem e melhor relação com as partes interessadas (clientes, fornecedores, entre outros).

Além disso, a preocupação com a fidelização dos clientes também é um fator que motiva a atuação das empresas, em virtude dos níveis crescentes de exigência que os consumidores vêm apresentando em relação às questões ambientais. O aumento da conscientização ambiental da população, motivado pela percepção dos inconvenientes e problemas urbanos oriundos da destinação inadequada dos resíduos, além do maior acesso à informação, contribuem para que as empresas adotem estratégias baseadas em princípios da sustentabilidade de forma a perenizar os seus negócios (LEITE, 2012).

Barbieri (2008) corrobora para este entendimento ao observar que uma fonte de pressão sobre as organizações tem origem no aumento da consciência da sociedade e que o novo tipo de consumidor busca diferenciar produtos e serviços pelo seu desempenho ambiental. Para o autor, a utilização em larga escala de selos ou rótulos verdes é um indicador da relevância da performance ambiental como critério de decisão para os consumidores atuais.

Os novos hábitos de consumo da população, caracterizados pela compra de quantidades crescentes de produtos em um ambiente de constantes lançamentos e elevada diversificação da oferta, têm exigido das empresas o desenvolvimento de estratégias para competir e inovar em condições cada vez mais globalizadas e com concorrência acirrada e, simultaneamente, obter valor perceptível aos clientes (LEITE, 2012).

A cultura do consumo, caracterizada pela ideia cíclica de “compre-use-disponha”, aceita sem questionamentos como padrão pela sociedade até recentemente, vem sendo substituída pela cultura ambientalista, baseada no ciclo “reduza-reuse-recicle” (LEITE, 2009). Neste sentido, a humanidade vem trilhando um caminho de transição para a sustentabilidade, que exigirá novos hábitos de consumo baseados em volumes mais baixos e práticas mais racionais de uso.

Esta nova postura preconiza um nível maior de responsabilidade da sociedade e das empresas em relação aos impactos dos produtos e processos no meio ambiente. Possibilita, também, o surgimento de um novo perfil de cliente, mais sensível às questões ambientais e aos impactos adversos ao planeta. De maneira gradativa, este novo consumidor passará a exigir uma responsabilidade mais ampla das organizações, além de legislações ambientais mais rigorosas e estratégias

empresariais que favoreçam o retorno de produtos. Desta forma, os clientes poderão realizar escolhas de consumo baseadas nas empresas que se enquadram nas novas condições desejadas, intensificando a competitividade no mercado (LEITE, 2009).

Novas teorias econômicas que introduzem os custos ambientais na contabilidade das organizações vêm sendo geradas a partir das críticas ambientais ao consumo. Empresas comprometidas quanto ao impacto dos seus produtos no meio ambiente têm incluído, cada vez mais, os custos ambientais na definição das suas estratégias corporativas, em um movimento proativo para a manutenção ou promoção da sua imagem e a continuidade dos seus negócios. Estas empresas, nas quais o aspecto ambiental já é uma preocupação considerada na sua tomada de decisão, buscam desenvolver produtos e processos que minimizem os impactos ambientais e promovam o desenvolvimento sustentável (LEITE, 2009).

A recuperação de produtos e materiais passou a ser visualizada pelas empresas como uma oportunidade de ampliar seus negócios. Os avanços tecnológicos impulsionaram a aceleração da degradação dos recursos naturais, em função do aumento do descarte de produtos manufaturados em desuso ou obsoletos. As indústrias, sob a forte pressão pela redução de custos e influência da concorrência e das organizações de preservação do meio ambiente, perceberam nesses produtos descartados uma próspera oportunidade de novos negócios (AMARO et al. 2016; MMA, 2009).

O modelo brasileiro de gestão de resíduos encontra-se, portanto, em um processo de transição, demonstrando a tendência de requalificação dos resíduos como recursos para a geração de produtos com valor agregado, em uma abordagem “do berço ao berço”. Neste cenário, os conhecimentos advindos da economia industrial linear não satisfazem mais às necessidades atuais e futuras da sociedade. Os sistemas de produção e consumo vêm sendo construídos dentro de uma lógica de economia circular, com a utilização de materiais reciclados e reutilizados, sob uma perspectiva de aumento da eficiência no uso dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais nas cadeias de produção (AMARO et al. 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015; MMA, 2009).

A implantação de um sistema de produção sustentável origina benefícios ambientais à medida que os processos passam a contemplar aspectos de produção mais limpa, economia na utilização de recursos naturais e redução das emissões.

Os avanços tecnológicos promovidos favorecem, ainda, a competitividade das empresas, visto que viabilizam ganhos de produtividade e eficiência.

Movidas pelos desafios impostos pela globalização dos mercados e pelas transformações sociais, muitas organizações têm investido em estratégias para o aumento da competitividade empresarial por meio da introdução destes novos valores à gestão dos seus negócios. Cada vez mais, é possível observar o desenvolvimento de produtos e serviços que respeitam os limites ambientais e os direitos do consumidor, em uma abordagem de relacionamento ético com as partes interessadas (clientes, funcionários, fornecedores, acionistas, órgãos públicos, entre outros) (SOLER et al., 2012).

A preocupação com o meio ambiente por parte do Poder Público e do setor empresarial vem crescendo continuamente nas últimas décadas, com a introdução de técnicas de processos produtivos que incentivam a utilização racional dos recursos naturais, a minimização da geração de resíduos e estratégias de combate às mudanças climáticas através da redução das emissões de gases de efeito estufa (AMARO et al., 2016; MMA, 2009).

Dentre as indústrias potencialmente poluidoras, o segmento de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) apresenta grande relevância. Muitos são os fatores que justificam a seleção desta indústria para estudo, destacando-se a tendência de crescimento do consumo destes produtos e, conseqüentemente, da geração de resíduos sólidos intensificada pelos ciclos de vida cada vez mais curtos. Além disso, a presença de contaminantes nos componentes de equipamentos eletroeletrônicos também é um fator que motiva o estudo desta indústria, uma vez que a destinação inadequada destes materiais pode gerar impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente.

Segundo Baldé (2015), a produção de EEE vem crescendo em todo o mundo e apresenta uma tendência de aumento para os próximos anos. Desta forma, a quantidade de resíduos desta natureza também tende a aumentar, potencializando os riscos envolvidos no seu descarte final. Portanto, soluções que envolvam a recuperação dos EEE e a sua reintrodução na cadeia produtiva apresentam o potencial não apenas de promover ganhos ambientais (ao reduzir o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos), como também, sociais (com a criação de postos de trabalho operacionais em atividades como triagem, limpeza e

desmontagem do produto) e econômicos (mediante a recuperação de componentes com elevado valor agregado presentes nos EEE e a geração de receita).

Este ramo da indústria já identifica que o padrão de industrialização caminhará rumo ao completo respeito ao meio ambiente e cada vez mais estarão presentes na sociedade temas como a sustentabilidade da produção, descarte adequado, logística reversa e responsabilidade compartilhada. O desenvolvimento sustentável do planeta requer uma mudança de comportamento da sociedade, repensando os seus valores e adotando uma nova consciência de consumo com componentes éticos, políticos, ambientais, sociais e econômicos (SOLER et al., 2012).

Na prática, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) são encaminhados à disposição final em aterros sanitários ou enviados, inadequadamente, a lixões, prática irregular em virtude da presença dos componentes tóxicos ao meio ambiente contidos nestes materiais.

Como alternativa ao esgotamento dos recursos naturais e à destinação inadequada dos resíduos, diversos processos de reuso de produtos vêm sendo estudados quanto às suas características, benefícios e limitações. A remanufatura apresenta-se como uma dessas soluções de fim de vida útil, com a reutilização de peças e componentes de produtos e a sua reintegração ao ciclo de produção.

Paterson et al. (2017) observam que a remanufatura é uma estratégia de recuperação de produtos em fim de vida útil em que estes retornam ao mercado com as mesmas especificações do produto original ou ainda melhores, e com uma garantia ao menos equivalente.

Esta pesquisa situa-se em um campo de estudo da mitigação sistêmica para a ampliação do ciclo de vida de produtos de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), avaliando a estratégia da remanufatura sistemática para a recuperação dos EEE pós-consumo, em fim de vida útil, do tipo máquinas de lavar roupas, contribuindo para a redução da utilização de recursos naturais e da geração de resíduos sólidos, haja vista a reintrodução destes materiais como matéria-prima nos ciclos produtivos em detrimento da sua disposição final em aterros sanitários e lixões.

O modelo de negócios analisado neste trabalho consiste na venda dos produtos remanufaturados, isto é uma empresa irá coletar os produtos em fim de vida útil, realizar o processo de remanufatura dos seus componentes, produzir as máquinas de lavar remanufaturadas e, por fim, comercializá-las.

As hipóteses levantadas nesta pesquisa são:

1. As máquinas de lavar possuem características adequadas à remanufatura;
2. A remanufatura das máquinas de lavar apresenta viabilidade técnica e econômica.

1.2 Metodologia

Esta pesquisa consistiu em uma investigação aplicada, com o propósito de desenvolver conhecimentos direcionados a um problema específico, concreto e prático. Do ponto de vista de seus objetivos, pode ser definida como explicativa, dotada de elementos exploratórios e descritivos, consistindo no levantamento de informações e definição de hipóteses. Em relação à forma de abordagem do problema, o método de pesquisa empregado utilizou componentes qualitativos e quantitativos.

Foram utilizadas informações coletadas em bases de dados de artigos científicos agregados no Portal da Fundação CAPES, tais como Science Direct e Emerald Insight, publicações em artigos, dissertações, teses e livros, além de consultas a normas e legislações vigentes referentes aos temas de resíduos sólidos urbanos, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e remanufatura. Associações dos setores de tratamento e destinação final de resíduos bem como da indústria eletroeletrônica também constituíram fontes de pesquisa. Foram realizadas consultas, também, em homepages de agências e órgãos governamentais, universidades, empresas fabricantes de máquinas de lavar, dentre outras.

Além da pesquisa bibliográfica, uma segunda técnica consistiu na realização de entrevistas não estruturadas com profissionais das áreas de manutenção, assistência técnica e vendas de componentes de máquinas de lavar. Esta técnica foi selecionada em virtude da vantagem que apresenta ao permitir a obtenção de dados que não são localizados nas fontes documentais (MARCONI E LAKATOS, 2003).

As entrevistas foram conduzidas segundo as orientações determinadas por Marconi e Lakatos (2003) para entrevistas não estruturadas. Neste tipo de entrevista há liberdade para que o entrevistador desenvolva cada situação na direção que considerar apropriada. O entrevistador possui um roteiro com os tópicos referentes ao problema analisado e possui liberdade para realizar as perguntas que desejar.

Em geral, as perguntas são abertas, possibilitando que o entrevistado fale livremente, e respondidas por meio de uma conversa informal, permitindo o desenvolvimento mais amplo de cada questão (MARCONI E LAKATOS, 2003). Desta forma, na realização das entrevistas, foram realizadas perguntas abertas em alinhamento com os tópicos previamente determinados.

Inicialmente, foram identificadas empresas e profissionais liberais com atendimento no estado do Rio de Janeiro por meio de indicações de referências e sites de busca. Em seguida, foram realizados os primeiros contatos para a apresentação da proposta de pesquisa e a condução das entrevistas com três profissionais (dois técnicos e um vendedor da área) de modos presencial e por telefonia com um tempo médio de vinte e cinco minutos cada.

Os entrevistados foram indagados quanto aos seguintes tópicos: a durabilidade das peças de máquinas de lavar; as peças que mais apresentam defeitos; a participação percentual destes defeitos em relação ao universo; e o nível de preços de comercialização destas peças de modo a se obter uma ordem de grandeza dos valores.

Desta forma, este trabalho envolveu a consulta a documentos acadêmicos de referência, pesquisa junto às empresas fabricantes (por meio de manuais e demais informações) e depoimentos de técnicos e profissionais de vendas do mercado de peças de máquinas de lavar.

Além disso, a participação em diversos seminários e palestras também contribuiu para a análise do estado da arte das questões relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos e desenvolvimento sustentável.

1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em oito capítulos, referências bibliográficas e um anexo.

No capítulo 1, é apresentada uma visão geral do assunto a ser abordado e da estrutura do trabalho, definindo as hipóteses levantadas, metodologia utilizada e limites de abordagem.

No capítulo 2, são fornecidos os aspectos gerais que embasaram a discussão da sustentabilidade do processo de remanufatura, sendo abordados os conceitos de desenvolvimento sustentável, Política Nacional de Resíduos Sólidos, resíduos sólidos urbanos, logística reversa, avaliação de ciclo de vida, economia circular, ecologia industrial e ecodesign.

No capítulo 3, são apresentadas as diferentes soluções de fim de vida e abordadas as alternativas de recuperação de produtos e os tipos de reuso.

No capítulo 4, a remanufatura é analisada enquanto estratégia de fim de vida de produtos sob a perspectiva da redução da extração de matérias primas e da geração de resíduos sólidos com vistas à preservação dos recursos naturais.

No capítulo 5, a indústria nacional de equipamentos eletroeletrônicos e os seus resíduos são caracterizados mediante as suas tipologias, dados do mercado, geração e descarte dos resíduos, composição, impactos ambientais e tecnologias de tratamento destes resíduos, além de experiências nacionais e internacionais relevantes.

No capítulo 6, são apresentados a indústria de máquinas de lavar e os seus resíduos, com o fornecimento de dados do mercado, a composição básica dos equipamentos, a decomposição em seus componentes, bem como a geração e o descarte dos resíduos gerados.

No capítulo 7, é conduzida uma avaliação da remanufatura para o caso das máquinas de lavar, de modo a verificar se este processo apresenta viabilidade técnica e econômica.

No capítulo 8, são apresentadas as considerações finais do trabalho de pesquisa e algumas recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros com base nos resultados obtidos.

No anexo, tem-se a identificação e localização de cada componente de uma máquina de lavar roupas.

2 ASPECTOS GERAIS DA SUSTENTABILIDADE DO PROCESSO DE REMANUFATURA

Nesta seção, serão abordados os aspectos gerais que contextualizam o estudo do processo de remanufatura sistemática como uma estratégia de recuperação de produtos fundamentada no conceito de desenvolvimento sustentável. A legislação ambiental brasileira é apresentada como uma importante força motriz para o estabelecimento de políticas públicas de preservação dos recursos naturais, com destaque para a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e um dos seus principais instrumentos: a logística reversa. Como um meio para possibilitar a implantação da responsabilidade compartilhada determinada pela PNRS, a avaliação do ciclo de vida é apresentada juntamente com os conceitos de economia circular, ecologia industrial e ecodesign, ferramentas importantes na gestão do ciclo de vida de produtos.

2.1 Desenvolvimento sustentável

A teoria do desenvolvimento sustentável alerta para a necessidade de novas maneiras de atingir o desenvolvimento econômico garantindo a preservação das condições ambientais adequadas às gerações vindouras. Se o nível de consumo de matérias-primas e energia nos países de primeiro mundo fosse estendido para toda a humanidade, não existiriam recursos naturais para todos, em virtude do limite do crescimento abordado no Relatório “The limits to growth”, de 1972. Desta forma, a adoção de tecnologias de redução do uso e reaproveitamento de produtos e materiais apresenta-se como uma importante medida para a preservação dos recursos naturais (LEITE, 2009).

Em 1987, a Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento, instituída pela Organização das Nações Unidas, definiu o consagrado conceito de desenvolvimento sustentável no Relatório Brundtland intitulado “Nosso Futuro Comum” como: “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (LIRA et al., 2013). O documento alertava sobre a importância da busca por novos modelos alternativos de consumo e produção, baseados nos três pilares do

desenvolvimento sustentável: crescimento econômico, proteção ambiental e equidade social.

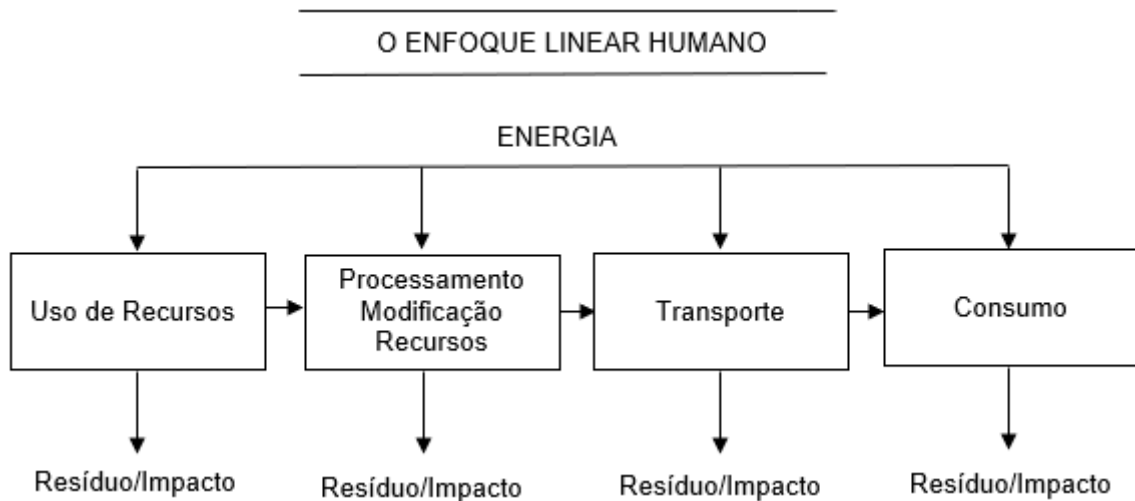
A promoção crescente do desenvolvimento sustentável dentro das organizações alterou substancialmente a tomada de decisão dos agentes econômicos (como empresários, governantes e trabalhadores). Se por muitos anos estes agentes baseavam-se somente em critérios econômicos, com esta nova realidade passaram a adotar modelos de multicritérios que abordam também as dimensões sociais e ambientais (Triple Bottom Line) e as relações entre elas (MENDONÇA et al., 2014).

Anos após a consagração do conceito de desenvolvimento sustentável, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida como Rio-92 ou ECO-92, consolidou o interesse de cerca de cento e oitenta países participantes em busca de um modelo sustentável de desenvolvimento. As diretrizes oriundas desta conferência internacional realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992 originaram a elaboração de um documento conhecido como Agenda 21, um instrumento de planejamento participativo com a definição de diretrizes globais operacionalizadas em âmbito nacional e efetivadas em âmbito local, utilizando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica na construção de sociedades sustentáveis (CAPAZ e NOGUEIRA, 2015).

Em continuidade ao evento Rio-92, foram realizados os encontros da Cúpula Mundial do Desenvolvimento Sustentável (conhecida como Rio+10) na África do Sul em 2002 e a Cúpula dos Povos para o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) no Rio de Janeiro em 2012. Nestas reuniões, em um ambiente envolto pelas críticas em relação aos resultados e compromissos sem eficácia, foi discutida a contribuição de uma “economia verde” para o desenvolvimento, a erradicação da pobreza e os meios necessários para a implantação do desenvolvimento sustentável (CAPAZ e NOGUEIRA, 2015).

De acordo com Braga et al. (2005), o modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade atual pode ser representado como um sistema aberto que, para garantir a sobrevivência humana, depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia, as quais são devolvidas ao meio ambiente após utilizadas. O modelo, que prevê uma capacidade infinita do meio em reciclar matéria e absorver resíduos, é demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Modelo atual de desenvolvimento



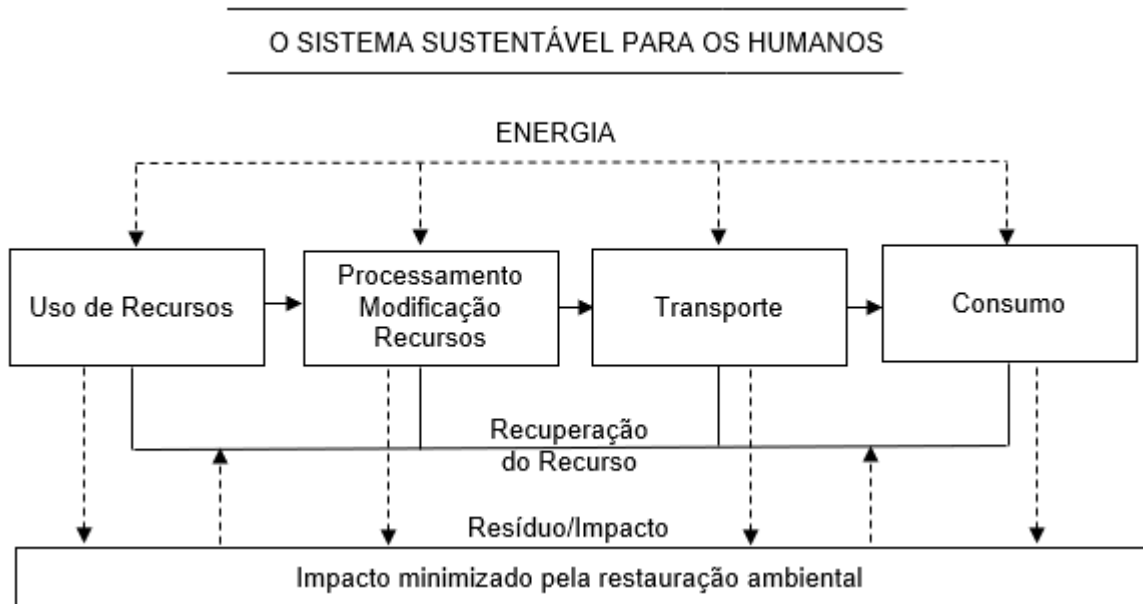
Fonte: Adaptado de Braga (2005)

Este modelo linear considera que o uso de recursos é inesgotável (dada a capacidade do Sol em fornecer energia à Terra por mais 5 bilhões de anos), mas a quantidade de matéria é finita, bem como a também limitada capacidade de absorção e reciclagem de materiais e resíduos. Há, portanto, limites no meio ambiente que, quando ultrapassados, resultam em poluição ambiental e degradação da qualidade de vida. Desta forma, o modelo de desenvolvimento humano atual (em que o crescimento populacional contínuo é incompatível com a finitude do meio) pode resultar em um colapso do planeta com graves consequências à sobrevivência humana (BRAGA et al., 2005).

Tendo em vista que a economia possui recursos finitos, Braga et al. (2005) propõem um modelo de desenvolvimento sustentável representado por um sistema fechado no qual há adoção de processos de reciclagem e reuso, conforme apresentado na Figura 3, utilizando como base as seguintes premissas:

- a) dependência do suprimento externo contínuo de energia (Sol);
- b) uso racional da energia e da matéria, visando a conservação em detrimento do desperdício;
- c) promoção da reciclagem e do reuso dos materiais;
- d) controle da poluição, com a consequente minimização da geração de resíduos a serem absorvidos pelo ambiente;
- e) controle do crescimento populacional em níveis aceitáveis, com perspectivas de estabilização da população.

Figura 3 – Modelo de desenvolvimento sustentável



Fonte: Adaptado de Braga (2005)

A sustentabilidade é um estado dinâmico que prevê o equilíbrio entre os impactos ocasionados pelas atividades antrópicas, as perturbações ambientais oriundas da existência humana e a capacidade do meio ambiente de se autorregular e de se comportar de modo elástico. Para que a sustentabilidade seja alcançada, é essencial que haja equilíbrio entre os seguintes fatores: espacialidade (análise da capacidade suporte do meio em relação a atributos físicos, biológicos e antrópicos), temporalidade (atendimento das necessidades das gerações presentes e futuras) e participação pública (o envolvimento da sociedade nas decisões acerca do meio ambiente assegura legitimidade a esse processo e corresponsabilidade aos indivíduos).

Estratégias de recuperação de produtos em fim de vida útil e a sua reintrodução nos ciclos produtivos apresentam-se como práticas efetivas para a preservação dos recursos naturais e a promoção da sustentabilidade, uma vez que reduzem o esgotamento dos recursos materiais e energéticos e a geração de resíduos. Dentre as soluções possíveis, a remanufatura consiste em uma solução de transição da sustentabilidade de um modelo de mitigação primária (baseada na remediação dos impactos ambientais) para uma mitigação sistemática, ao reduzir o consumo de recursos naturais e prolongar a vida útil dos produtos, diminuindo o volume de resíduos destinados em aterros sanitários.

De modo a orientar as diretrizes para a recuperação destes materiais, a legislação ambiental brasileira vem evoluindo mediante o estabelecimento de políticas públicas que incentivam a redução do consumo de recursos naturais e a utilização de tecnologias que promovam a extensão do ciclo de vida dos produtos. Este trabalho destacará a Lei Federal nº 12.305/2010, conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, caracterizando os resíduos sólidos urbanos e apresentando a logística reversa como um instrumento para a operacionalização do retorno dos materiais aos ciclos produtivos.

2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), estabeleceu os instrumentos necessários para a gestão e o planejamento ambiental, enquanto a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305/2010, estabeleceu um novo marco regulatório para os resíduos sólidos, trazendo avanços importantes integrados à PNMA, como o fomento à reciclagem, a responsabilidade compartilhada, o incentivo ao desenvolvimento de catadores de materiais recicláveis e a logística reversa.

Estudos da Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013) indicaram que a instituição da PNRS conduziu a uma série de avanços no cenário ambiental brasileiro, ao estabelecer medidas como a erradicação dos lixões a céu aberto, a fiscalização de aterros sanitários, o incentivo à reciclagem de resíduos e a determinação da responsabilidade compartilhada entre indústria, comércio, poder público e usuários (ABDI, 2013).

A PNRS estabeleceu um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo federal, de forma isolada ou em cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, para a promoção da gestão integrada e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. A responsabilidade pós-consumo passou a ser compartilhada pelo ciclo de vida do produto, envolvendo os fabricantes, distribuidores, importadores, comerciantes, consumidores e poder público. O sistema de logística reversa é um dos principais instrumentos introduzidos pela PNRS, tendo como objetivo a restituição dos resíduos sólidos às empresas geradoras para o reaproveitamento no ciclo de produção ou destinação final ambientalmente adequada.

Reconhecendo a necessidade da participação e responsabilização de todos os atores envolvidos na cadeia produtiva, a PNRS instituiu a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos implementada de forma individualizada e encadeada pelos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e poder público, com o objetivo de reduzir a geração de resíduos sólidos e rejeitos e os impactos à saúde humano e ao meio ambiente (BRASIL, 2010b).

Um dos objetivos da PNRS consiste em estimular a integração de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010b), aspecto observado pela ABDI (2013) como um ponto de inclusão social e valoração econômica da atividade dos catadores.

Com a aplicação da PNRS, planos de metas de redução, reutilização e reciclagem passaram a ser exigidos nos âmbitos nacional, estadual e municipal, com o objetivo de diminuir a quantidade de rejeitos encaminhados para os aterros sanitários. A referida lei estabeleceu diretrizes nacionais orientadas pelos princípios de prevenção e precaução, propondo padrões sustentáveis de produção e consumo (BECHARA, 2013).

A PNRS apresenta instrumentos importantes para viabilizar o enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Esta lei estipula a prevenção e redução na geração de resíduos mediante a adoção de hábitos de consumo sustentável e de um conjunto de instrumentos que favoreçam o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (em virtude do seu valor econômico) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (os quais não pode ser reciclados ou reutilizados) (MMA, s/d).

O estabelecimento da hierarquia de atuação na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos é uma importante contribuição advinda da PNRS, ao determinar que a seguinte ordem de prioridade deve ser observada: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010b).

A reciclagem corresponde à transformação do resíduo modificando sua característica original, enquanto na reutilização o resíduo mantém as suas características originais (BECHARA, 2013). A remanufatura consiste em um destes

processos de reutilização de produtos em fim de vida útil em atendimento à aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Santos (2017) observa que rejeitos são resíduos sólidos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade além da disposição final ambientalmente adequada, isto é, disposição ordenada em aterros sanitários, de modo a evitar riscos ou danos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Antes da promulgação da PNRS, todos os materiais que já não possuíam utilidade em seu ciclo produtivo eram denominados “resíduos”, conforme classificação da Norma ABNT NBR 10004:2004. Com a introdução deste novo modelo de pensamento, o conceito de resíduo passou a ser associado a materiais que podem ser reintroduzidos em outros ciclos de vida produtivos, tendo em vista o valor que ainda possuem em termos energéticos ou econômicos. Em contrapartida, os materiais que já não possuem a capacidade de aproveitamento em outras cadeias produtivas passaram a ser designados “rejeitos” (AMARO et al., 2016).

Bechara (2013) observa que o legislador classifica como “rejeito” aquilo que não é possível reciclar ou reutilizar. Para o autor, a lei demonstra que a reciclagem ou o reuso é uma obrigação do produtor e, portanto, a transformação em rejeito deve ocorrer somente após serem esgotadas as possibilidades de tratamento e recuperação do resíduo. Para o Ministério do Meio Ambiente (MMA, s/d), os resíduos sólidos são aqueles materiais que possuem valor econômico e podem ser reciclados ou reaproveitados, enquanto os rejeitos são aqueles que não podem ser reciclados ou reutilizados.

2.2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) correspondem aos resíduos domiciliares e de limpeza urbana (constituído por resíduos de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e demais serviços de limpeza urbana) (MMA, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), do total de 78,4 milhões de toneladas de RSU gerados no Brasil no ano de 2017, 71,6 milhões de toneladas foram coletados (representando um índice de cobertura de coleta de 91,2% e um incremento de 1,25

% em relação ao ano anterior), enquanto cerca de 6,9 milhões de toneladas de resíduos foram encaminhados a destinos inadequados. A coleta seletiva apresentou um aumento de 1,16% em relação ao ano anterior, totalizando 70,4% ou 3.923 municípios brasileiros apresentando alguma iniciativa de coleta seletiva.

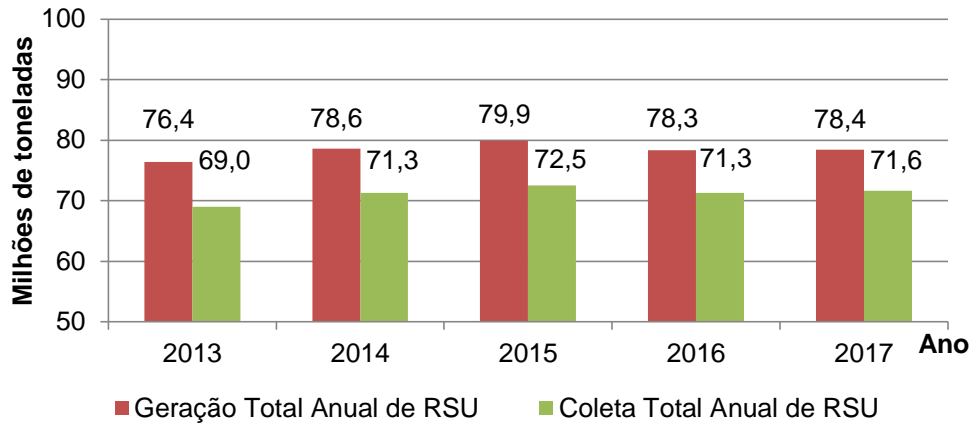
A disposição final dos RSU coletados não demonstrou avanço expressivo em relação ao cenário do ano anterior, permanecendo praticamente a mesma proporção entre o que seguiu para locais próprios e impróprios, com 59,1% dos RSU coletados sendo encaminhados para aterros sanitários, o que representa, aproximadamente, 42,3 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2018).

Os 29 milhões de toneladas de RSU restantes, correspondentes a 40,9% do coletado em 2017 foram despejados por 3.352 municípios brasileiros em lixões ou aterros controlados, formas de disposição inadequada por não possuírem o conjunto de sistemas e medidas necessários para a proteção do meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2018).

Os dados da ABRELPE (2018) indicam que, entre os anos de 2016 e 2017, a população brasileira cresceu 0,75%, enquanto a geração total de RSU cresceu 1,0 %, mesmo avanço observado na atividade econômica do país no período, medida pelo Produto Interno Bruto (PIB). Em termos de recursos financeiros utilizados nos serviços de limpeza urbana em 2017, os municípios do Brasil aplicaram, em média, aproximadamente R\$ 10,37 por habitante por mês e o mercado de serviços de limpeza urbana movimentou aproximadamente R\$ 28,5 bilhões no mesmo período.

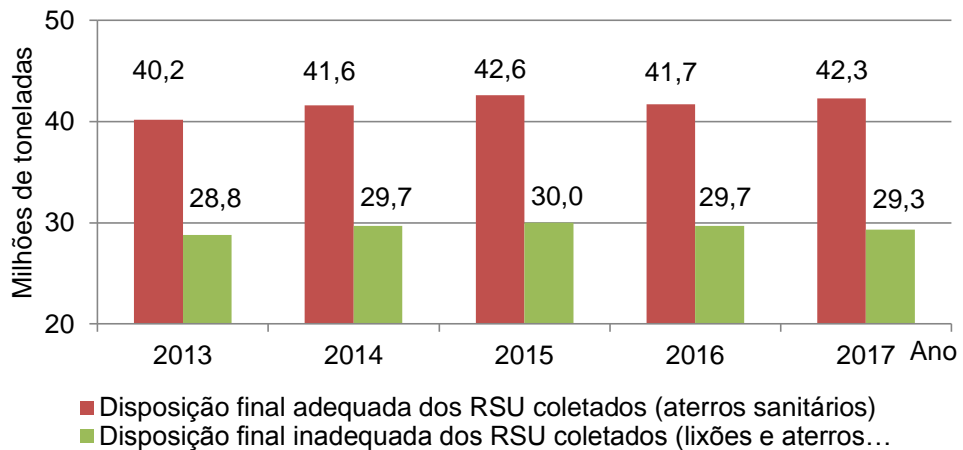
Os gráficos apresentados nas Figuras 4, 5 e 6 demonstram a evolução temporal dos dados relativos aos RSU nos últimos cinco anos e apresentam o panorama do seu gerenciamento no Brasil, com a geração e coleta anual no país, bem como a distribuição por tipo de disposição final de RSU (em toneladas e em percentual).

Figura 4 – Geração e Coleta Anual de RSU



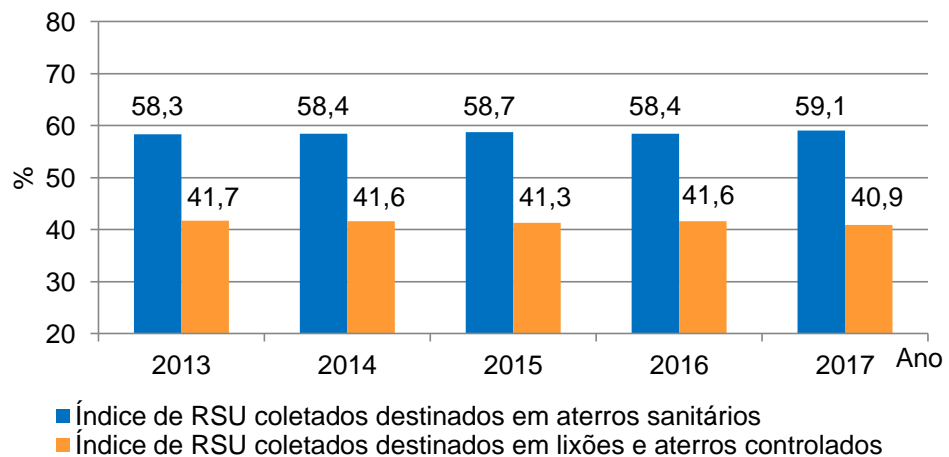
Fonte: A autora (2018), a partir de ABRELPE (2014, 2015, 2016, 2017 e 2018)

Figura 5 – Disposição final de RSU



Fonte: A autora (2018), a partir de ABRELPE (2014, 2015, 2016, 2017 e 2018)

Figura 6 – Índice de disposição final de RSU



Fonte: A autora (2018), a partir de ABRELPE (2014, 2015, 2016, 2017 e 2018)

Do universo de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, o subconjunto de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos foi selecionado para estudo em virtude da tendência de crescimento na sua geração e descarte motivado pelo consumo elevado de produtos desta natureza e pelos ciclos de vida cada vez mais curtos. Além disso, observou-se que, apesar dos REEE constituírem um tema de grande impacto sob o ponto de vista ambiental, trata-se de um assunto que ainda apresenta um elevado potencial de desenvolvimento na literatura acadêmica. Em particular, observou-se a necessidade de se abordar o tema em virtude do mesmo compor uma das linhas de atuação do Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ ainda pouco estudada, mas dotada de elevadas oportunidades de análise e contribuição científica.

2.2.2 Logística reversa

A logística reversa é um dos instrumentos estabelecidos pela PNRS para a aplicação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, de forma a viabilizar um conjunto de ações que promovam a coleta e restituição dos produtos e resíduos sólidos ao setor empresarial (ABRELPE, 2018 e MMA, s/d.). Estes materiais podem ser reaproveitados no seu ciclo produtivo ou em outros, ou ainda serem encaminhados para a destinação final adequada, reduzindo o envio para a disposição final em aterros sanitários (ABRELPE, 2018).

Valle e Souza (2014) observam que a promulgação da PNRS constituiu-se em um marco para a logística reversa no Brasil, uma vez que, sendo um país que vem se desenvolvendo no cenário mundial como uma economia emergente, necessita de uma logística reversa compatível com a relevância que a sustentabilidade e a economia verde obtiveram nos aspectos político, econômico, social e legal. Leite (2009) destaca que a logística reversa agrega valor ambiental ao produto pós-consumo, recapturando o valor, nem sempre tangível, correspondente aos custos dos impactos dos bens no meio ambiente.

A PNRS define logística reversa como um instrumento de promoção do desenvolvimento econômico e social composto por um conjunto de ações, procedimentos e meios para possibilitar a viabilidade da coleta e restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, com vistas ao reaproveitamento em seu ciclo

produtivo ou em outros, ou ainda outra destinação final adequada sob o ponto de vista ambiental (BRASIL, 2010b).

Para a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014), a logística reversa consiste no “processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de materiais, bens e informações do ponto de consumo até o ponto de origem, visando recapturar seu valor ou dar a correta destinação”.

A logística reversa pode ser entendida, portanto, como o conjunto de operações relacionadas à recuperação e reutilização de produtos e materiais, por meio de canais de distribuição reversos com o objetivo de recapturar valor ou direcioná-los à destinação final ambientalmente adequada.

Leite (2012) observa que a logística reversa engloba o retorno de produtos ainda não consumidos (pós-venda) e de produtos usados (pós-consumo). Para o autor, a logística reversa de pós-venda consiste no retorno de produtos que não foram utilizados porque tiveram as suas embalagens abertas ou foram encaminhados à assistência técnica, isto é, não foram consumidos. Já a logística reversa de pós-consumo aborda o retorno de produtos para a reutilização por terem exaurido a sua vida útil, além dos resíduos industriais em geral. Os canais reversos de pós-consumo subdividem-se em canais de reuso de produtos duráveis e semiduráveis¹, de remanufatura de bens duráveis, e de reciclagem de produtos e materiais que os constituem (LEITE, 2009).

A presente pesquisa aborda a remanufatura de produtos pós-consumo do tipo equipamentos eletroeletrônicos. O estabelecimento de uma rede de logística reversa destes produtos apresenta-se como uma das condições necessárias para estruturar a operação sistêmica da remanufatura.

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014) inclui, ainda, a possibilidade do retorno de produtos em sua pré-venda, diferenciando, portanto, três tipos de logística reversa, descritos a seguir e demonstrados na Figura 7.

¹ Leite (2009) classifica como: durável, aquele produto cuja vida média varia de alguns anos a algumas décadas e para os quais há possibilidade de reutilização; semidurável, aquele com vida útil que varia de poucas semanas a poucos anos, havendo, ainda a possibilidade de reutilização; e descartável, aquele com vida útil de horas ou semanas, não havendo possibilidade de reutilização. Um bem durável é caracterizado por uma série de componentes com durações variadas e que poderão ser substituídos ao longo da vida do bem, originando o fluxo dos produtos descartados após o encerramento da sua vida útil e o fluxo dos componentes (LEITE, 2009).

- a) Logística reversa pré-venda ou pré-consumo: consiste no retorno de peças que não chegaram a ser comercializadas em virtude de expiração do prazo de validade, avarias no transporte ou falhas no processamento do pedido de compra.
- b) Logística reversa pós-venda: compreende o retorno do produto nos casos de itens defeituosos, por livre iniciativa do cliente dentro do prazo de devolução ou ainda mediante “recall” feito pela empresa ao detectar um problema ou defeito de fabricação.
- c) Logística reversa pós-consumo: consiste no retorno de produtos após o uso pelo cliente, motivado pelo fim da sua vida útil ou por aspectos ambientais, para que sejam encaminhados à correta destinação, preferencialmente o reuso e a reciclagem.

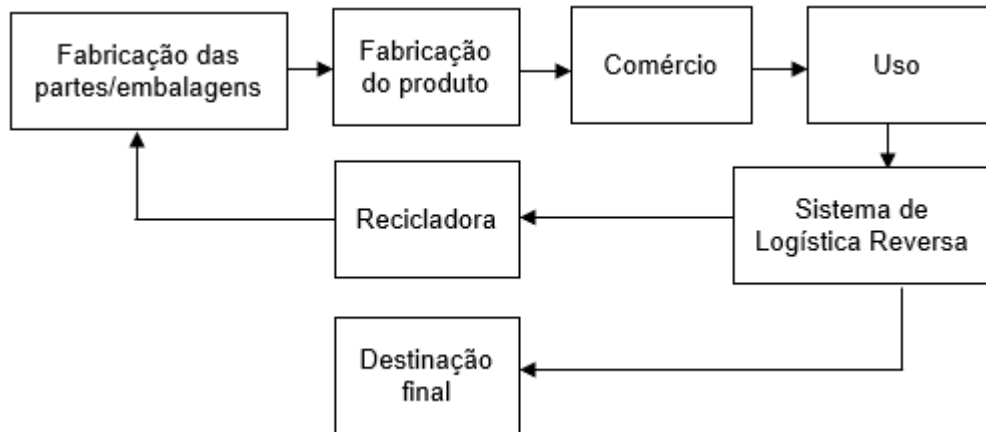
Figura 7 – Tipos de logística reversa



Fonte: Adaptado de Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014)

A Figura 8 ilustra o retorno dos resíduos pós-consumo aos ciclos produtivos para reuso / reaproveitamento (como por exemplo, as garrafas retornáveis de bebidas) ou para reciclagem (como por exemplo, as latas de alumínio), ou ainda na situação da inexistência de tecnologia ou viabilidade econômica, em que se deve assegurar aos resíduos a destinação final ambientalmente mais adequada.

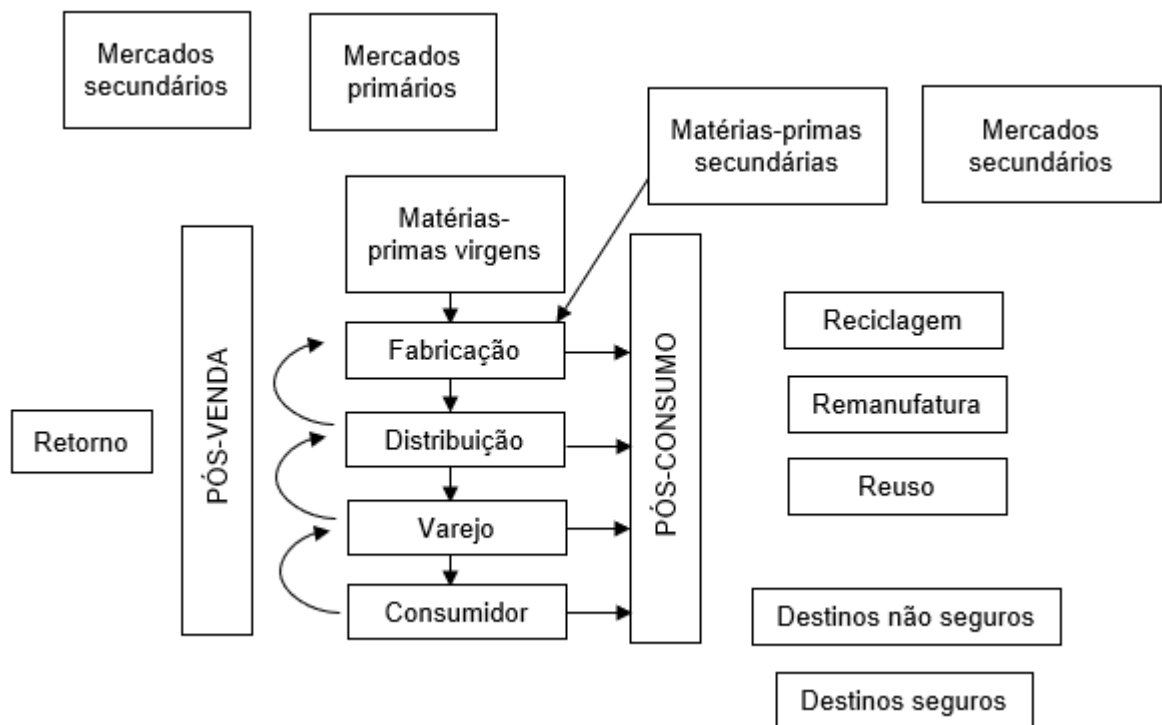
Figura 8 – Logística reversa pós-consumo



Fonte: Adaptado de Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014)

Os canais de distribuição diretos e reversos através dos quais os produtos fluem na direção do mercado e no retorno são representados na Figura 9.

Figura 9 – Canais diretos e reversos



Fonte: Adaptado de Leite (2009 e 2012)

É possível observar o fluxo dos produtos nos canais de distribuição diretos, desde a extração das matérias-primas virgens ou primárias, passando pela fabricação e distribuição, chegando ao varejo e ao consumidor final no mercado

primário de produtos (LEITE 2009). Os produtos pós-consumo que não retornarem podem ser encaminhados a destinos seguros (como aterros sanitários) e inseguros (como lixões e outros locais inadequados). Os produtos pós-venda que retornarem irão compor a logística reversa de pós-venda e, muitas vezes, retornam através das mesmas empresas que os colocaram no mercado. Já os produtos de pós-consumo que retornarem o fazem, na maioria das vezes, por meio de empresas variadas e irão constituir a logística reversa de pós-consumo. Todos os produtos retornados (de pós-venda e pós-consumo) serão enviados aos mercados secundários de produtos, componentes ou matérias-primas (LEITE, 2012).

O fluxo de produtos nos canais de distribuição reversos de pós-consumo é composto pelo retorno de uma parcela de produtos e seus materiais constituintes descartados segundo um dos três subsistemas reversos: reuso², remanufatura e reciclagem. Há, ainda, a possibilidade de encaminhamento de uma parcela desses produtos pós-consumo a formas seguras de destinação (sistemas controlados que não provocam poluição) ou não seguros (que geram impactos negativos ao meio ambiente). Com relação aos canais de distribuição de produtos pós-venda, o seu fluxo segue o sentido inverso do consumidor ao varejista ou ao fabricante e do varejista ao fabricante, retornando ao ciclo de negócios devido a problemas de qualidade ou questões comerciais entre empresas (LEITE, 2009).

Os produtos pós-venda podem retornar ao mercado primário ou a mercados diferenciados denominados secundários, onde serão revalorizados e comercializados. Já os produtos pós-consumo podem ser encaminhados a mercados de segunda mão até atingirem o fim da sua vida útil. Havendo condições logísticas, econômicas e tecnológicas, retornam pelos canais reversos para serem desmontados objetivando o reaproveitamento dos seus componentes, com ou sem remanufatura, podendo, então, retornar ao mercado secundário ou à própria indústria para reutilização. Observa-se que uma fração residual de materiais é encaminhada para o canal reverso de reciclagem para o reaproveitamento. Caso não possuam as condições citadas anteriormente, seguirão para destinos seguros, como aterros sanitários, ou inseguros, como lixões e aterros não controlados (LEITE, 2012).

² O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

O rápido desenvolvimento tecnológico na concepção dos produtos e o seu consumo exponencial aliados aos sistemas logísticos de elevada velocidade de resposta contribuem para tornar os produtos cada vez mais “descartáveis”. Neste contexto, a logística reversa apresenta-se como um meio para minimizar os efeitos adversos oriundos do uso excessivo ou indevido dos recursos naturais (LEITE, 2012).

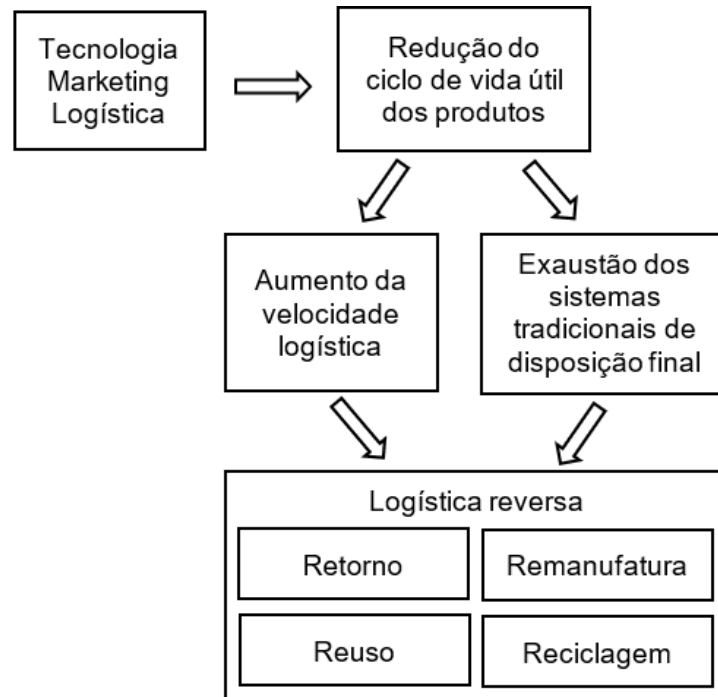
A grande variedade de produtos associada aos ciclos de vida cada vez mais curtos resultam na geração de quantidades crescentes de produtos que se tornam obsoletos sob o ponto de vista do mercado sem, em muitos casos, terem sido utilizados. Neste cenário de crescimento exponencial das quantidades produzidas e elevada diversidade de produtos, a logística reversa apresenta-se como uma forma de possibilitar o retorno e a destinação de produtos, de modo a recapturar o seu valor (LEITE, 2012) e gerar revalorização financeira do resíduo pós-consumo mediante o reaproveitamento de seus materiais e das economias oriundas da sua utilização (SARAIVA, 2012).

A tecnologia, o marketing e a própria logística contribuem para a diminuição do ciclo de vida dos produtos. O aumento da obsolescência, devido ao consumo de novos produtos ocupando com rapidez o espaço dos anteriores, promove ciclos de vida cada vez mais curtos. Com a redução do ciclo de vida, os produtos duráveis são descartados em ciclos menores, adotando características de produtos semiduráveis, enquanto os produtos até então denominados semiduráveis passarão a ser considerados descartáveis, evidenciando uma forte tendência à “descartabilidade” dos produtos (LEITE, 2009).

O aumento intensivo das quantidades descartadas de produtos pós-consumo ocasiona a redução do ciclo de vida útil dos produtos e a exaustão dos sistemas tradicionais de disposição final, requerendo o retorno de quantidades maiores de produtos e materiais pós-consumo e o desenvolvimento de soluções de logística reversa mais eficientes, conforme demonstrado na Figura 10³ (LEITE, 2009).

³ O retorno expresso na Figura 10 é compreendido como o fluxo de retorno de produtos na estrutura da logística reversa.

Figura 10 – Logística reversa e a redução do ciclo de vida dos produtos



Fonte: Adaptado de Leite (2002)

2.3. Avaliação do Ciclo de Vida

A PNRS estabelece a gestão integrada dos resíduos com base na visão sistêmica de ciclo de vida e responsabilidade compartilhada entre os seus atores. As organizações que anteciparem-se ao cumprimento destas novas demandas podem obter inovações em seus processos, produtos e modelos de negócios (CALIJURI e CUNHA, 2013).

Leite (2009) relata que a avaliação do ciclo de vida (ACV) dos produtos, também conhecida como “análise do produto do berço ao túmulo”, analisa o impacto gerado ao meio ambiente pelos produtos desde a etapa de extração dos recursos naturais utilizados em sua produção (matérias-primas e outros insumos), o transporte, a distribuição direta e reversa, o uso, a manutenção até a sua disposição final.

A série de normas ISO 14000, a qual trata de sistemas de gestão ambiental, apresenta os procedimentos relativos ao inventário, avaliação do impacto e interpretação do ciclo de vida dos produtos. Através do emprego da metodologia de ACV, busca-se obter um instrumento de medição que tenha a capacidade de determinar o nível de impacto ambiental de um produto ao longo da sua vida, de

forma a comparar estes resultados entre os variados produtos e processos, em prol de alternativas que minimizam os danos ao meio ambiente (LEITE, 2009).

A norma ABNT NBR ISO 14040:2009 define a ACV como uma técnica de “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

Calijuri e Cunha (2013) descrevem que a metodologia de ACV envolve a execução de, pelo menos, quatro etapas:

- a) Definição de objetivos, alternativas a serem avaliadas, limites dos sistemas e escopo (por exemplo, comparativos entre a disposição de resíduos em aterro e a possibilidade reciclagem);
- b) Elaboração de um inventário contendo as entradas (matérias-primas e energia) e saídas (emissões atmosféricas, na água e no solo) significativas para cada alternativa analisada;
- c) Verificação da magnitude e relevância dos impactos potenciais associados a cada uma das entradas e saídas identificadas;
- d) Interpretação dos resultados para a escolha da alternativa, alterações a serem incorporadas pelas atividades e determinação de medidas mitigadoras.

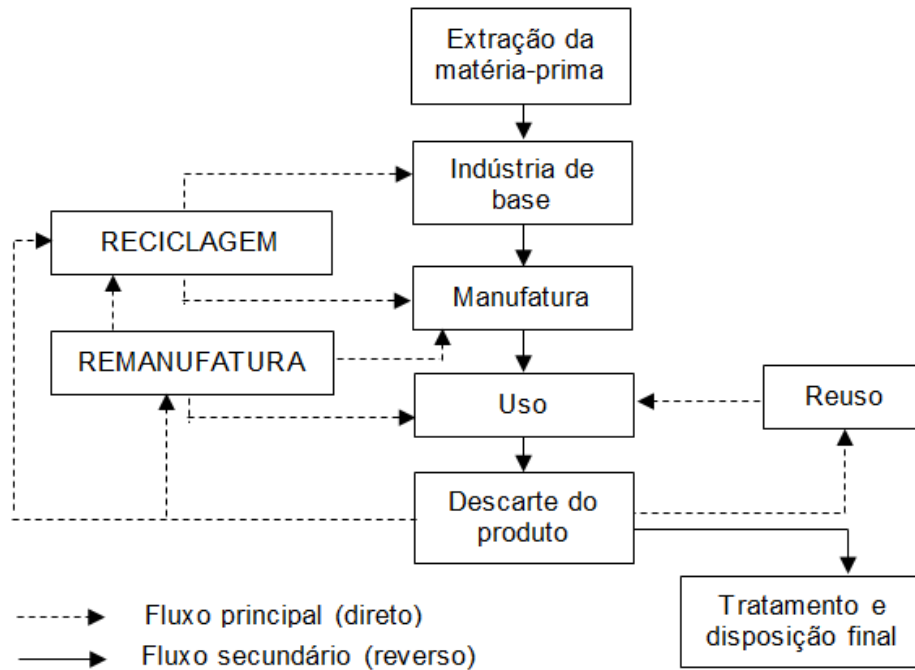
A técnica de ACV tem sido cada vez mais adotada pelas empresas para aprimorar o projeto de novos produtos e adaptar os existentes às novas condições de competição segundo as normas internacionais de rotulagem e denominações de produtos, como os selos verdes e os produtos amigáveis (LEITE, 2009).

Na Figura 11, é possível observar uma representação do ciclo de vida de um produto do ponto de vista dos fluxos direto e reverso de materiais, apresentando algumas alternativas ao fim de vida do produto (remanufatura, reuso⁴ e reciclagem). Na remanufatura, os produtos usados são restaurados à condição de novos, dotados da mesma função, garantia e qualidade fornecidas pelo fabricante original. As partes que não podem ser remanufaturadas ou reutilizadas, podem ser encaminhadas à reciclagem (CALIJURI E CUNHA, 2013).

⁴ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

Uma premissa adotada é a de que a remanufatura tende a melhorar o desempenho ambiental dos produtos em termos de consumo de matérias-primas e energia.

Figura 11 – Ciclo de vida de um produto conforme o fluxo de materiais



Fonte: Adaptado de Calijuri e Cunha (2013)

Diante da perspectiva de que os recursos naturais são finitos, é essencial o desenvolvimento de soluções que analisem o ciclo de vida dos produtos como um todo de forma a promover a sua ampliação. Neste contexto, surge a economia circular, como uma abordagem de redução, recuperação e reaproveitamento de matéria e energia, evitando que os resíduos sólidos sejam descartados no meio ambiente e preservando os recursos naturais finitos.

Além da economia circular, a ecologia industrial e o ecodesign possibilitam o desenvolvimento de soluções sustentáveis ao longo do ciclo de vida dos EEE, considerando a recuperação dos seus componentes e a sua reintrodução nos ciclos produtivos.

2.3.1 Economia circular

A logística reversa incentiva o desenvolvimento de soluções de gerenciamento de resíduos além do conceito de “fim da linha” (end-of-pipe), no qual

o ciclo de vida dos produtos possui começo (projeto e produção), meio (uso) e fim (aterros e lixões). O conceito linear de ciclo de vida tornou-se um círculo: o fim coincide com o início e os materiais dos produtos usados, até então denominados “lixo”, passaram a ser utilizados como matérias-primas para a geração de novos produtos (VALLE e SOUZA, 2014).

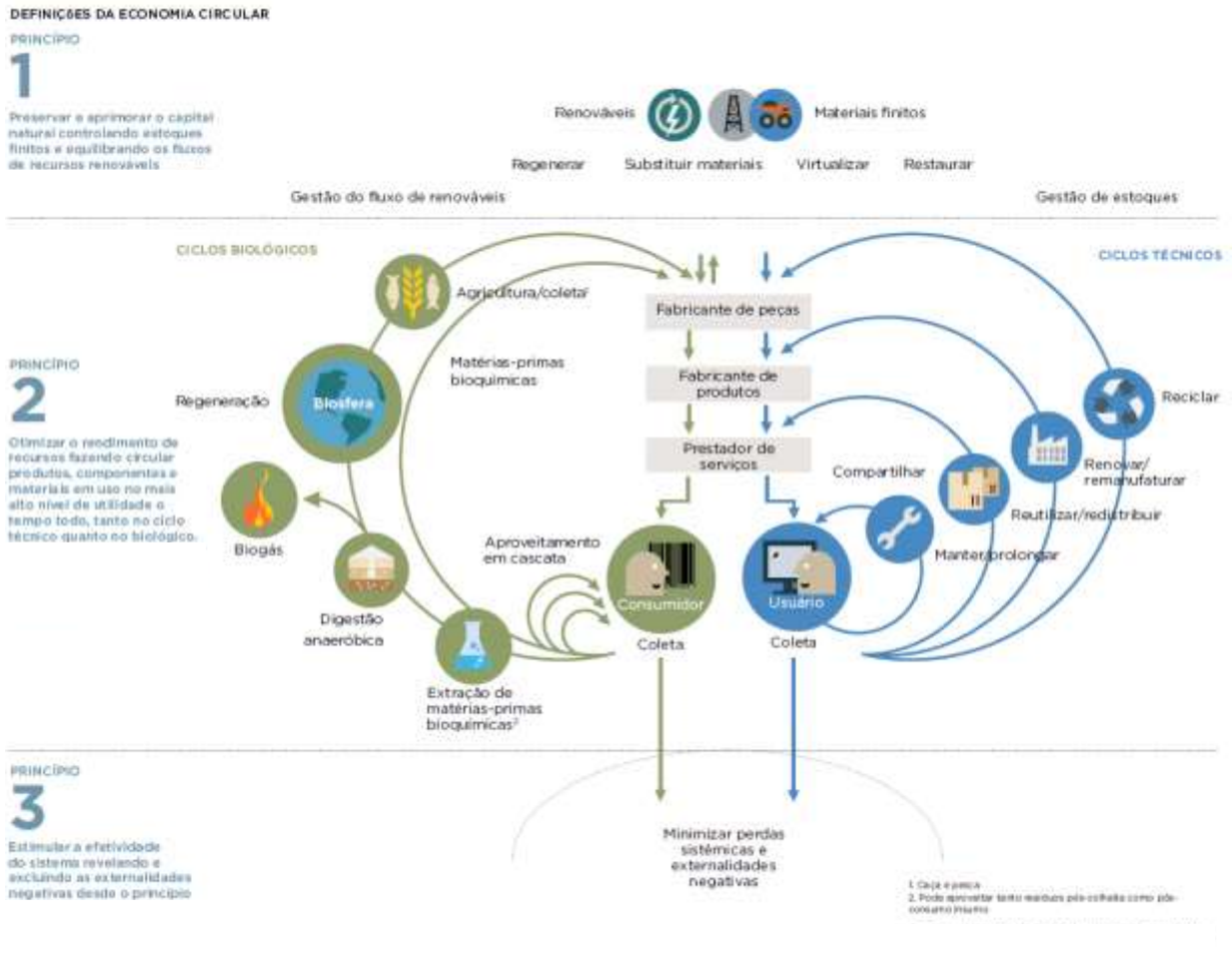
O modelo econômico “extrair, transformar, descartar” da atualidade, fortemente dependente da extração de matérias-primas, água e energia, criou as bases para o desenvolvimento industrial atual. No entanto, a crescente pressão sobre os recursos naturais vem alertando o setor empresarial a repensar o uso dos recursos para um modelo de economia circular, com o potencial de redução dos impactos ambientais, incluindo as emissões de carbono (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Segundo a organização Ellen MacArthur Foundation (2017), uma economia circular é regenerativa e restaurativa por princípio, tendo como objetivo manter produtos, materiais e componentes em seu mais alto nível de utilidade e valor todo o tempo, por meio da aplicação de ciclos técnicos e biológicos ilustrados na Figura 12. Com essa abordagem, o desenvolvimento econômico é dissociado do consumo de recursos finitos e as externalidades negativas da economia são eliminadas.

A Figura 12 permite observar que os ciclos internos orientados para processos baseados em remanufatura, reforma e reutilização demandam menos energia e são mais eficazes na retenção da utilidade e preservação do valor de produtos, materiais e componentes, se comparados aos ciclos externos de reciclagem (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

A remanufatura de produtos do tipo equipamentos eletroeletrônicos é, portanto, uma forma de se aplicar na prática a economia circular. Através desta estratégia, observa-se o fechamento dos ciclos de produção, uma vez que o produto é recuperado e reintroduzido na cadeia produtiva, diminuindo a utilização de matérias-primas e energia possibilitando a redução da geração de resíduos.

Figura 12 – Diagrama da Economia Circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2017)

A transição do conceito de economia linear de extração, transformação e descarte para o modelo circular de negócios possibilita a redução da dependência de materiais finitos e fontes não renováveis de energia. Além disso, este novo modelo de negócios pode proporcionar oportunidades que estimulem a inovação e criação de valor no Brasil. Estudos da organização Ellen MacArthur Foundation (2017) indicam que uma trajetória baseada na economia circular pode aumentar o PIB europeu em € 1,8 trilhão até 2030, além do potencial de geração de US\$ 624 bilhões em benefícios anuais em 2050 à Índia, o que representa 30% do seu PIB atual.

Para Baptista (2016), as principais motivações para a mudança do modelo linear de produção e consumo (no qual há a extração de matérias-primas virgens, produção, distribuição, consumo e descarte dos resíduos) para o modelo circular de pensamento sistêmico são, dentre outras:

- a) O uso ineficiente dos recursos ambientais, que originam impactos ambientais negativos, tais como a emissão de gases de efeito estufa, o esgotamento dos recursos, impactos sobre a paisagem e a poluição da água;
- b) As influências sociais impulsionadas pela classe média global, a qual atingirá quase 5 bilhões em 2030, o que implicará o aumento do consumo e da pressão sobre os recursos;
- c) O acesso a matérias-primas que podem se encontrar em condições de escassez ou esgotamento, bem como a dependência das importações de países politicamente instáveis em algumas situações.

O modelo econômico circular possui, ainda, um elevado potencial de criação de postos de trabalho. Estas oportunidades de emprego não estão limitadas apenas à atividade de remanufatura em si, mas sim a todos os setores industriais por meio do desenvolvimento de uma rede de logística reversa local, com pequenas e médias empresas, através de inovação e empreendedorismo e com a perspectiva de uma nova economia baseada em serviços. Em uma análise realizada na Dinamarca, constatou-se que dez oportunidades de negócios baseadas na economia circular têm o potencial de gerar entre 7.300 e 11.300 vagas de trabalho até o ano de 2035, o equivalente a uma variação de 0,4 a 0,6% comparado ao cenário atual (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Na transição para o cenário de economia circular, a organização Ellen MacArthur Foundation (2015) observa que um novo modelo de negócios está emergindo. As transações comerciais estão migrando para uma estrutura que permite aos indivíduos acessarem os serviços em detrimento de possuírem os produtos que permitiriam a efetivação do serviço, tornando-se, portanto, usuários.

Na identificação dos novos arranjos necessários para os fluxos de materiais e energia orientados para a preservação dos recursos naturais, a ecologia industrial apresenta-se como uma ferramenta de análise importante ao identificar e sugerir novos modelos a partir de analogias dos sistemas industriais com os sistemas naturais (COSTA, 2002).

2.3.2 Ecologia industrial

A ecologia industrial constitui-se em uma área de elevada importância para a gestão do ciclo de vida de produtos ao buscar adequar o funcionamento equilibrado dos sistemas antrópicos ao sistema natural (CALIJURI e CUNHA, 2013).

Nos ecossistemas naturais, a energia é oriunda do Sol e armazenada em vegetais que alimentam os herbívoros, os quais, por sua vez, alimentam os carnívoros que, por fim, sofrem decomposição e desempenham o papel de nutrientes aos vegetais. A sustentabilidade dos ecossistemas naturais consiste na constante oferta de energia solar e na reciclagem de nutrientes, que ocorre através da utilização dos resíduos de um nível trófico como matéria-prima em outro, além dos ciclos biogeoquímicos, como enxofre, nitrogênio e carbono (CAPAZ e NOGUEIRA, 2015).

No estudo da ecologia industrial, as unidades produtivas são analisadas como sistemas integrados nos quais ocorrem o aproveitamento interno de resíduos e a diminuição de entradas e saídas de matéria e energia. Esta estrutura encontra-se em oposição ao caso do sistema composto por unidades isoladas entre si, consumidoras de matérias-primas e geradoras de poluição, sem a adoção de práticas de reuso ou reciclagem (CAPAZ e NOGUEIRA, 2015).

A ecologia industrial tem como origem, portanto, a visão de que as atividades industriais são analisadas como ecossistemas, nos quais as etapas ou unidades de produção equivalem a níveis tróficos dotados de constantes fluxos de matéria e energia entre si (CAPAZ e NOGUEIRA, 2015). Neste sentido, Barbieri (2008) observa que um conjunto de empresas pode formar uma comunidade empresarial, como, por exemplo, em um parque industrial, em que os resíduos da produção de uma empresa constituem-se em matéria-prima para outra.

Costa (2002) classifica os princípios da ecologia industrial em três categorias: otimização dos fluxos de energia e materiais na produção (como prevenção de poluição e eficiência no uso de energia e materiais); fechamento dos ciclos de materiais (como reuso⁵, remanufatura e reciclagem de produtos e/ou materiais); e desmaterialização (como redução do uso de energia e materiais e maior vida útil dos produtos).

⁵ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

Na remanufatura de produtos do tipo equipamentos eletroeletrônicos observa-se a aplicação prática destes três princípios da ecologia industrial. Ao reduzir o consumo de matéria e energia na fabricação de novos produtos, bem como a geração de resíduos sólidos, a remanufatura promove o aumento da eficiência na utilização de recursos naturais e prolonga a vida útil dos produtos, reduzindo os impactos ao meio ambiente.

2.3.3 Ecodesign (Design For Environment – DfE)

Calijuri e Cunha (2013) observam que a gestão do ciclo de vida de produtos demanda a adequação das principais áreas de uma organização de forma a considerar as dimensões ambiental e social. O planejamento estratégico e o desenvolvimento de produtos, bem como os demais processos de negócios da empresa devem contemplar a visão de ciclo de vida e sustentabilidade no seu processo de tomada de decisão.

O ecodesign ou Design for Environment – DfE (Projeto para o Ambiente) é uma ferramenta de inclusão do componente ambiental que permite, durante o processo de desenvolvimento do produto, identificar e reduzir os impactos ambientais negativos do seu ciclo de vida (CALIJURI e CUNHA, 2013). Paiva (2013) relata que, por meio da aplicação do ecodesign, é possível avaliar todo o ciclo de vida de um produto e propor modificações no projeto que minimizem os impactos ambientais desde a produção até o seu descarte, possibilitando o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

Consiste, portanto, em um modelo de gestão centrado na etapa de concepção dos produtos e dos seus processos de produção, distribuição e uso. O ecodesign tem como base a realização de modificações de produtos e processos que diminuam a poluição em todas as etapas do ciclo de vida. Sua ideia central reside na solução dos problemas ambientais ainda na etapa de projeto, visto que as dificuldades e, portanto, os custos para realizar modificações aumentam à medida que as fases do processo vão sendo estabelecidas (BARBIERI, 2008).

Comumente, os projetistas enfatizam a otimização de um produto para a etapa de uso, mas não priorizam a facilidade de desmontagem deste produto após o seu uso. Ao incluir o modelo circular à etapa de design de produtos, em particular de equipamentos eletroeletrônicos, é possível recuperar o seu valor e manter a

circulação de componentes técnicos nos mais altos valores e patamares de utilidade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Muitas empresas têm adotado o ecodesign em suas operações. A HP, por exemplo, consolidou-se como uma das referências no tema ao desenvolver o seu programa de DfE em 1992, com base em três prioridades: eficiência no consumo de energia (reduzir a necessidade de energia na fabricação e uso dos produtos); inovação de materiais (reduzir a quantidade de materiais usados no produtos e desenvolver materiais que apresentem menor impacto ambiental e maior valor em seu fim de vida); e projeto para reciclagem (projetar o equipamento de forma a facilitar a atualização e/ou reciclagem) (CALIJURI e CUNHA, 2013).

O ecodesign pode ser desenvolvido de acordo com os objetivos ambientais que a empresa deseja alcançar, tais como: aumentar a quantidade de material reciclado no produto, reduzir o consumo de energia na fase de uso, favorecer a manutenção ou facilitar a separação dos materiais após o uso (BARBIERI, 2008).

Na presente pesquisa, o processo de concepção e produção de máquinas de lavar foi analisado de modo a facilitar a desmontagem do produto, possibilitando a separação e recuperação dos seus componentes e, desta forma, projetar o equipamento para favorecer a sua remanufatura ao fim da vida útil.

3 ESTRATÉGIAS DE FIM DE VIDA

3.1 Alternativas de recuperação

No momento da definição da estratégia mais adequada de reuso (reutilização) de um produto, Gehin et al. (2008) ressaltam a importância das empresas integrarem as soluções de fim de vida (End of Life – EoL) às fases iniciais do projeto (de forma a prover as informações relevantes aos projetistas), além de desenvolverem ferramentas que permitam a combinação de estratégias de recuperação baseadas na filosofia “3R” (Reuso⁶, Remanufatura e Reciclagem).

Mediante o conceito de que o desenvolvimento de uma estratégia de recuperação bem sucedida requer agir antecipadamente e, portanto, durante a fase de projeto, Gehin et al. (2008) propõem que as empresas concentrem seus esforços em desenvolver outras estratégias além das soluções de fim de vida útil (End of Pipe, caracterizadas pelo aterro e incineração), evitando-as sempre que possível. Os autores relatam a existência de estratégias EoL, como a remanufatura, que permitem às empresas obterem lucros e aprimorarem o desempenho ambiental do produto, inclusive em níveis superiores ao exigido pela legislação em alguns casos.

Gehin et al. (2008) observam que a fase de projeto deve contemplar as características que viabilizam a remanufatura do produto, idealizando-o de forma passível de ser remanufaturado, isto é, o produto deve ser projetado de modo a facilitar a remanufatura, com características que favoreçam a desmontagem e o reaproveitamento dos seus componentes.

Produtos na fase final do seu ciclo de vida podem ser recuperados de várias formas e com diferentes níveis de eficiência na exploração dos recursos naturais. O processo de reciclagem encontra-se no nível mais baixo de eficiência de recuperação, permitindo recuperar apenas matérias-primas, mas não o valor adicionado ao ciclo produtivo. O condicionamento e a remanufatura são exemplos de alternativas que apresentam maior eficiência, em virtude da recuperação de todo o produto, suas partes ou componentes, enquanto o reparo e o reuso⁷ constituem-se em opções intermediárias (GALLO et al., 2012). Estas soluções EoL compõem as

⁶ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

⁷ Ídem ao anterior.

estratégias de reuso de produtos e as suas características são apresentadas a seguir.

3.2 Definições de reuso

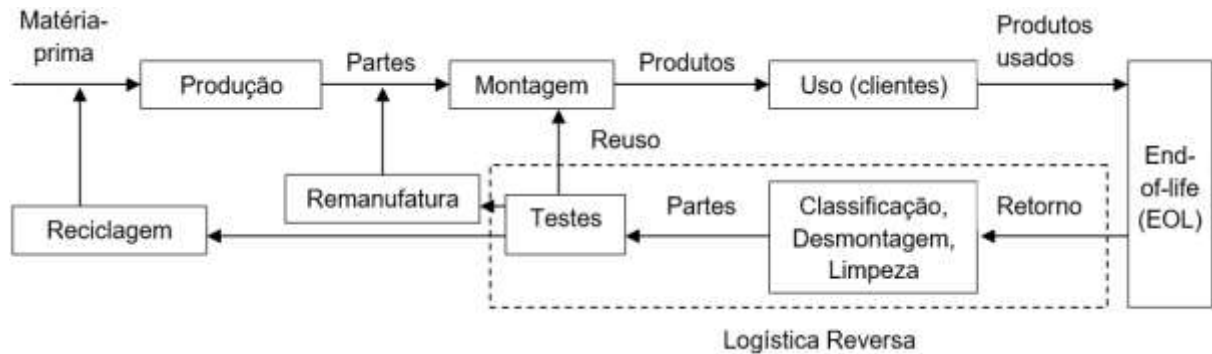
O potencial para reuso dos equipamentos eletroeletrônicos pode ser definido como a capacidade que estes produtos ou os seus componentes possuem para serem reutilizados (UNU, 2009).

É necessário observar que o termo reuso é empregado de duas formas na literatura: para expressar a ideia de reuso direto de um produto; ou com um significado mais amplo, no sentido de estratégia de reutilização ou recuperação de um produto, isto é, as variadas soluções EoL. Este item tratará do emprego do termo em seu sentido mais abrangente (como estratégias EoL). Nos momentos em que o conceito de reuso é compreendido em seu sentido mais restrito (como reuso direto do produto), esta consideração é realizada no trabalho por meio de notas explicativas.

Segundo o relatório StEP – Solving the E-Waste Problem desenvolvido pela United Nations University (UNU), a preparação para o reuso compreende as seguintes etapas: desmontagem, limpeza, testes de inspeção, substituição, recuperação e reprocessamento de componentes, remontagem e testes finais. Este conjunto de operações tem como objetivo possibilitar que os equipamentos eletroeletrônicos ou seus componentes cumpram os requisitos do próximo proprietário em potencial (UNU, 2009),

Para Anityasari e Kaebernick (2008), o reuso de um produto é realizado mediante as seguintes etapas: desmontagem, triagem, limpeza, testes e avaliação da qualidade e confiabilidade dos componentes, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13 – Atividades na estratégia de reuso



Fonte: Adaptado de Anityasari e Kaebernick (2008)

Nota: O termo reuso nesta figura é compreendido como o reuso das partes de um produto retornado, que, após a fase de testes a que são submetidas, são encaminhadas para a montagem de um novo produto.

O relatório StEP (UNU, 2009) descreve o preparo para o reuso distinguindo-o em quatro atividades possíveis de reutilização dos produtos: remanufatura, recondicionamento, reparo e atualização.

Remanufatura: compreende as ações necessárias para gerar novos produtos utilizando componentes retirados dos equipamentos eletroeletrônicos antigos, mantendo o atendimento à funcionalidade e às especificações de confiabilidade do produto novo. Na remanufatura, o equipamento é desmontado, são realizados testes e substituídos todos os componentes que não atendam às especificações (UNU, 2009). Ijomah et al. (2007) observam que a remanufatura apresenta-se como um processo de retorno do produto pelo menos às especificações de desempenho do fabricante com garantias iguais aos produtos novos equivalentes.

Recondicionamento: compreende as ações necessárias para restaurar um equipamento até uma condição definida em função e forma, que pode ser inferior a uma nova unidade, e atendendo às especificações de funcionalidade original. No recondicionamento, apenas os componentes que não atendam às especificações são desmontados e substituídos. A composição e o projeto do equipamento não são significativamente alterados, visto que a desmontagem do equipamento é parcial (UNU, 2009). Paterson et al. (2017) relatam que o recondicionamento envolve restaurar ou substituir todos os componentes que falharam ou estão prestes a falhar resultando no retorno do produto a um padrão aceitável (tipicamente inferior ao virgem padrão). Todas as garantias emitidas são tipicamente inferiores à garantia

fornecida ao produto original. O autor menciona, ainda, que o recondicionamento envolve menos trabalho do que a remanufatura, mas mais do que o reparo.

Reparo: compreende as ações necessárias para corrigir os defeitos de funcionamento de um equipamento, o qual retorna às condições de operação. No reparo, são realizados somente processos que visam à restauração das especificações de operação do equipamento, não apresentando necessidade de desmontagem completa. A composição e o projeto do equipamento, portanto, não são significativamente alterados (UNU, 2009). Segundo Paterson et al. (2017), quase todos os produtos reparados não são restaurados ao padrão original e qualquer garantia emitida cobre, geralmente, apenas a falha corrigida, isto é, a garantia não se aplica ao produto na sua totalidade, mas apenas ao componente reparado. Este processo envolve menos trabalho do que a remanufatura e o recondicionamento.

Atualização: compreende as ações realizadas no hardware ou software de equipamentos eletroeletrônicos para aumentar o seu desempenho e/ou a sua funcionalidade. A composição e o projeto do equipamento são significativamente alterados.

O Quadro 1 apresenta uma síntese das características de cada alternativa de preparação para o reuso identificada no relatório StEP (UNU, 2009).

Quadro 1 – Diferenciação das atividades alternativas na preparação para reuso

Estratégia	Amplitude da Desmontagem	Especificação de saída do produto	Grau de alteração na composição e projeto do equipamento
Remanufatura	Completa	Funcionalidade original e confiabilidade	Pode ser significativamente alterado
Recondicionamento	Parcial (apenas para garantir a especificação requerida)	Funcionalidade original	Alteração significativa não
Reparo	Parcial (apenas para substituir ou reprocessar componentes defeituosos)	Condição de funcionamento	Alteração significativa não
Atualização	Depende da operação de atualização	Desempenho funcionalidade e/ou atualizados	Significativamente alterado

Fonte: UNU (2009)

Saavedra (2010) observa que a recuperação de produtos mediante estratégias EoL vem sendo adotada pelas empresas como uma medida para a redução dos impactos ambientais e dos resíduos gerados a partir do descarte destes produtos. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais benefícios que podem ser obtidos através de cada estratégia EoL no contexto do desenvolvimento sustentável sob as dimensões ambiental, econômico e social, compreendendo as seguintes alternativas: remanufatura, reuso direto, reparo, recondicionamento e reciclagem. É possível observar que apenas a estratégia da remanufatura atende a todos os critérios elencados para a promoção da sustentabilidade.

Quadro 2 – Principais benefícios da EoL sob a ótica do desenvolvimento sustentável

Área	Benefícios	Remanufatura	Reuso ⁸	Reparo	Recondicionamento	Reciclagem
Ambiental	Redução no consumo de água	X	X	X	X	X
	Redução no uso de energia	X	X	X	X	
	Redução de emissões ao meio ambiente	X	X	X	X	
	Redução no consumo de materiais	X	X	X	X	X
	Extensão no ciclo de vida do produto ou componentes	X	X	X	X	X
	Extensão por mais de um ciclo de vida completo do produto ou componente	X				
	Redução na geração de resíduos e áreas de disposição final	X	X	X	X	X
Econômica	Conservação da geometria original do produto	X	X	X	X	
	Redução de custos de materiais	X	X	X	X	X
	Entrada em novos mercados	X	X	X	X	X
Social	Geração de empregos	X	X	X	X	X
	Aquisição de produtos a menor custo	X	X	X	X	
	Aquisição de produtos a menor custo, com a mesma garantia e qualidade de um produto novo	X				

Fonte: Modificado de Saavedra (2010)

⁸ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

Saavedra (2010) relata que a reciclagem apresenta-se como uma alternativa de reutilização dos produtos ou de seus componentes em que se observa a recuperação dos materiais, mas a energia e a funcionalidade dos produtos e componentes são perdidas.

A Figura 14 apresenta as variadas formas de recuperação sob a perspectiva do ciclo de vida de um produto considerando as opções End-of-Life descritas por Sundin e Lee (2011): remanufatura, recondicionamento, reuso⁹ e reciclagem.



Fonte: Adaptado de Sundin e Lee (2011)

Convém observar que, após alguns ciclos, a remanufatura de um produto atinge a sua capacidade máxima de processamento, a partir da qual, o produto pode ser submetido a uma decomposição em suas partes e os materiais encaminhados à reciclagem.

Sundin e Lee (2011) destacam a remanufatura como uma alternativa preferível à reciclagem quando analisada a hierarquia de alternativas End-of-life, dados os benefícios ambientais advindos que apresenta, tais como: o adiamento da disposição de resíduos em aterros sanitários; a desaceleração do esgotamento dos recursos naturais; e a economia de matéria e energia utilizada para a produção de novos produtos. Neste modelo de hierarquia, representado na Figura 15, as opções são ordenadas de acordo com os respectivos impactos ambientais gerados, sendo preferíveis as soluções localizadas mais acima no diagrama.

⁹ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

Figura 15 – Hierarquia End-of-life



Fonte: Adaptado de Sundin e Lee (2011)

Segundo Gehin et al. (2008), ainda que, tradicionalmente, a reciclagem seja a estratégia mais utilizada para a recuperação de produtos em fim de vida útil, esta solução está distante de alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável. Os autores indicam que, para convencer os empresários de que a remanufatura é a melhor solução, é preciso demonstrar que a implementação dessa estratégia é rentável sob os aspectos ambiental e econômico.

Sundin e Lee (2011) realizaram uma análise comparativa do desempenho ambiental da remanufatura em comparação à reciclagem de materiais e a fabricação de novos produtos. Os resultados demonstraram que a remanufatura é, em geral, a alternativa preferível devido aos ganhos ambientais de redução do esgotamento de recursos naturais, diminuição do potencial de aquecimento global e a possibilidade de manipulação mais segura de materiais tóxicos.

Para Bernard (2011), a remanufatura é um tipo específico de reciclagem em que os produtos duráveis usados são submetidos a características de produtos novos, sendo que o material reciclado pode ser redirecionado a qualquer tipo de indústria e o material remanufaturado retorna ao mesmo tipo de indústria. Para a autora, ainda que, tanto a remanufatura quanto a reciclagem evitem o desperdício pós-consumo reduzindo o uso de matérias-primas, a reciclagem é um processo que consome muita energia e conserva apenas o valor material, enquanto a remanufatura preserva a maior parte do valor agregado, possibilitando uma segunda vida ao produto e a redução do consumo energético, já que elimina a etapa de fabricação do produto, intensiva na utilização de energia.

4 REMANUFATURA

A remanufatura é uma importante atividade industrial, impulsionada, principalmente, pelas regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas impostas pelos órgãos governamentais, pela conscientização crescente da sociedade em relação às questões ambientais e pelos potenciais benefícios econômicos que apresenta (ANDREW-MUNOT et al., 2015).

A definição original do conceito de remanufatura remonta ao professor da Universidade de Boston, Robert Lund, referência na área, cuja pesquisa iniciada na década de 1980 contribuiu de forma decisiva para o estudo sistemático do tema (GALLO et al., 2012).

A remanufatura constitui-se em uma das diferentes alternativas de reuso de um produto usado além do ponto em que as suas especificações já não atendem mais aos requisitos do proprietário atual, o qual cessa o seu uso. O produto é recuperado às mesmas condições do produto novo equivalente e permanece sendo utilizado com o mesmo propósito para o qual foi projetado (UNU, 2009).

A remanufatura possibilita a manutenção das mesmas funções, especificações e garantias do produto novo correspondente. Garante, também, a preservação da matéria e energia necessárias à extração de recursos naturais e à fabricação de um produto novo.

A remanufatura pode ser aplicada tanto ao produto como um todo quanto aos seus componentes separadamente (UNU, 2009). Os produtos duráveis usados ou os seus componentes que são encaminhados ao processo de remanufatura são denominados “cores”, “núcleos” ou “carcaças” (SUNDIN, 2004 e LEITE, 2009).

Sundin (2004) relata que o termo “produto remanufaturado” é muitas vezes utilizado para definir um produto desgastado, quebrado ou usado que foi restaurado às suas especificações originais ou foi modernizado e atualizado para novas especificações. Desta forma, segundo o autor, a remanufatura não só promove a reutilização múltipla de materiais, como também permite a atualização constante da qualidade e das funções dos produtos, sem a necessidade de fabricação de produtos completamente novos (em relação àqueles que serão remanufaturados) nem o descarte dos usados.

O canal reverso de remanufatura é composto por empresas industriais, comerciais e de serviços que executam ações para o retorno dos “núcleos” com a

recaptação de algum tipo de valor. Os agentes desta cadeia reversa coletam os bens duráveis de pós-consumo e providenciam a sua classificação, segregação e transporte aos centros de remanufatura. Nestes locais, os produtos são limpos, desmontados e encaminhados para testes nos seus componentes. Ao final destes processos, um novo produto é montado e distribuído para comercialização (LEITE, 2009).

4.1 O processo de remanufatura

Em janeiro de 2003, a União Europeia emitiu a Diretiva 2002/96/EC, conhecida como a primeira Diretiva WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment” ou “Resíduos de Equipamentos Elétricos Eletrônicos”), que tem como objetivo evitar o acúmulo de resíduos contendo produtos eletroeletrônicos e, ao mesmo tempo, promover a reutilização e reciclagem de materiais desses tipos de produtos. Esta norma visa, ainda, melhorar o desempenho ambiental em todas as partes interessadas que lidam com estes produtos, dentre eles os fabricantes, distribuidores e clientes. De acordo com esta diretiva, os membros da União Europeia devem incentivar a concepção e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos que facilitem a desmontagem para o reuso e a reciclagem de componentes e materiais desses produtos (SUNDIN, 2004).

A Norma ABNT NBR 15296:2005, que trata do vocabulário de peças de veículos rodoviários automotores – ramo da indústria em que a remanufatura de materiais encontra-se mais desenvolvida – define peça remanufaturada como:

“peça ou componente de produção original usado, caracterizado por ter sido submetido a processo industrial pelo próprio fabricante original ou em estabelecimento autorizado por esse fabricante, para o restabelecimento de funções e requisitos técnicos originais”.

Dentro da perspectiva de promoção do desenvolvimento sustentável das suas operações, as empresas de fabricação vêm caminhando na direção de satisfazer as necessidades dos clientes em uma abordagem de ciclo de vida dos seus produtos, conduzindo à redução na extração e no consumo de matéria-prima e energia. Um dos meios para atingir este objetivo, é adaptando os seus produtos para facilitar a sua recuperação, cenário em que o produto ou parte do mesmo pode ser reutilizado mais uma vez. Ao proceder desta forma, o fluxo de materiais ao longo da economia

ocorre em um sistema circular, em detrimento da linearidade que ainda hoje domina a sociedade de consumo (SUNDIN, 2004).

Ao atingir o fim de sua vida útil, os produtos duráveis (máquinas, veículos, aparelhos, ferramentas ou outros sistemas mecânicos) são, tradicionalmente, encaminhados para destinação em aterros sanitários ou descartados para recuperação de seu material. Em quaisquer destas opções, os custos associados à coleta e operação do aterro sanitário ou à trituração, triagem e beneficiamento dos materiais recuperáveis excedem os benefícios econômicos diretos dessas operações (LUND, 1984).

O principal objetivo de um fluxo reverso de remanufatura é o reaproveitamento de parte de um produto, através da coleta dos “núcleos”, substituindo outros componentes de modo a prover ao produto remanufaturado a capacidade de cumprir as mesmas funções do produto original. As partes não inteiramente aproveitadas são recicladas, podendo ser adicionadas aos produtos remanufaturados, com reduções adicionais dos custos e, conseqüentemente, dos preços de comercialização (LEITE, 2009).

Sundin (2004) descreve a remanufatura como um processo industrial em que os produtos usados, desgastados ou avariados (“núcleos”) são restaurados à sua vida útil. Lund (1984) apresenta a remanufatura como uma alternativa muitas vezes economicamente vantajosa por prolongar consideravelmente a vida útil de um produto, reduzindo a quantidade de material encaminhado ao aterro ou à reciclagem. O autor define a remanufatura como a restauração de produtos usados para uma condição semelhante à nova, fornecendo-lhes características de desempenho e durabilidade no mínimo tão boas quanto as do produto original.

Por meio de uma série de processos industriais, os produtos descartados como resíduos são completamente desmontados, seus componentes utilizáveis são limpos e remodelados, novas peças são fornecidas quando necessário, e as peças são remontadas e testadas para produzir unidades que atendam aos padrões de desempenho do produto (SUNDIN et al., 2000). Lund (1984) relata que os produtos resultantes da remanufatura podem ser comercializados com preços competitivos no mercado porque esse processo recupera uma fração considerável de materiais, bem como o valor agregado a um produto em sua primeira fabricação, a um custo adicional baixo.

4.2 Atores da remanufatura

Diferentes tipos de empresas desenvolvem a remanufatura. As classificações são realizadas de acordo com a sua relação com o fabricante do produto original (SUNDIN, 2004). A atividade de remanufatura pode ser realizada por empresas fabricantes originais dos bens duráveis (denominadas OEM, Original Equipment Manufacturer), empresas independentes e empresas especializadas terceirizadas. Estas organizações podem trabalhar de forma cooperada no mercado desde a etapa de captação dos produtos pós-consumo (“núcleos”) até a sua redistribuição ao mercado de produtos remanufaturados (LEITE, 2009). Lund (1984) descreve os três tipos de remanufaturadores, distinguindo a forma de organização das empresas:

- a) Remanufaturador fabricante de equipamentos originais (OEM): aquele cujo principal negócio é a fabricação de novos produtos, enquanto remanufatura os seus próprios produtos como um negócio adicional. Fabrica e vende tanto as versões novas quanto as remanufaturadas dos produtos (LUND, 1984). Sundin (2004) observa que os OEM dispõem de todas as informações necessárias sobre o design do produto, a disponibilidade de peças sobressalentes e o conhecimento técnico da atividade;
- b) Remanufaturador independente: aquele cujo único negócio é a remanufatura de itens produzidos por outros. Compra produtos que estão fora de funcionamento (“núcleos”) e os remanufatura para revenda, comercializando-os sob seu próprio nome ou sob rótulos de terceiros (LUND, 1984);
- c) Remanufaturador do contrato: aquele que, por meio de um contrato, reabilita um produto de um cliente (podendo esta empresa ser tanto do tipo OEM quanto independente), o qual detém a titularidade do mesmo. A principal característica desta categoria consiste no fato de que remanufatura é realizada como um serviço para alguma outra organização que possui o produto. Esse tipo de empresa de remanufatura é contratada para remanufurar produtos em nome de outras empresas. Alguns remanufaturadores independentes operam apenas sob contrato para outros

que fornecem os “núcleos” e mantêm a propriedade dos mesmos (LUND, 1984).

Leite (2009) destaca a importância do estabelecimento de uma integração empresarial nas cadeias reversas de remanufatura. O autor observa que, em muitos setores da indústria, as empresas OEM possuem pontos de vista diferentes acerca da competição quando consideram as atividades de remanufatura. Algumas dessas empresas adotam a integração da remanufatura como parte da sua estratégia empresarial. No entanto, o autor relata que, em algumas situações, as empresas assumem uma posição de adversárias das organizações que remanufaturam os seus produtos e implantam medidas para a criação de obstáculos à remanufatura, como modificações constantes nos modelos, captação e destruição dos produtos pós-consumo, limitações de serviços aos clientes, entre outros.

4.3 Etapas da remanufatura

O ciclo da remanufatura começa no ponto em que um usuário renuncia a um produto (através do abandono, venda ou contrato), o qual é coletado e o seu “núcleo” é encaminhado a um remanufaturador (LUND, 1984).

Sundin (2004) relata que, ao serem recebidos pelo remanufaturador, os “núcleos” são submetidos às etapas de processamento apresentadas na Figura 16: desmontagem, limpeza, inspeção, recondicionamento¹⁰, remontagem e testes finais para garantir o atendimento aos padrões desejados do produto.

Dependendo do tipo de produto e do volume da remanufatura, uma ou mais fases podem ser omitidas ou, ainda, ocorrerem em uma ordem diferente. Andrew-Munot et al. (2015) relatam que o número exato de processos e a sequência dependem, em grande parte, dos tipos de produtos usados que estão sendo remanufaturados.

¹⁰ Neste caso, o termo recondicionamento é compreendido como a situação em que a reconstrução de um produto não é extensa, isto é, com a substituição de poucas peças (SUNDIN, 2004).

Figura 16 – Exemplo de um processo genérico de remanufatura

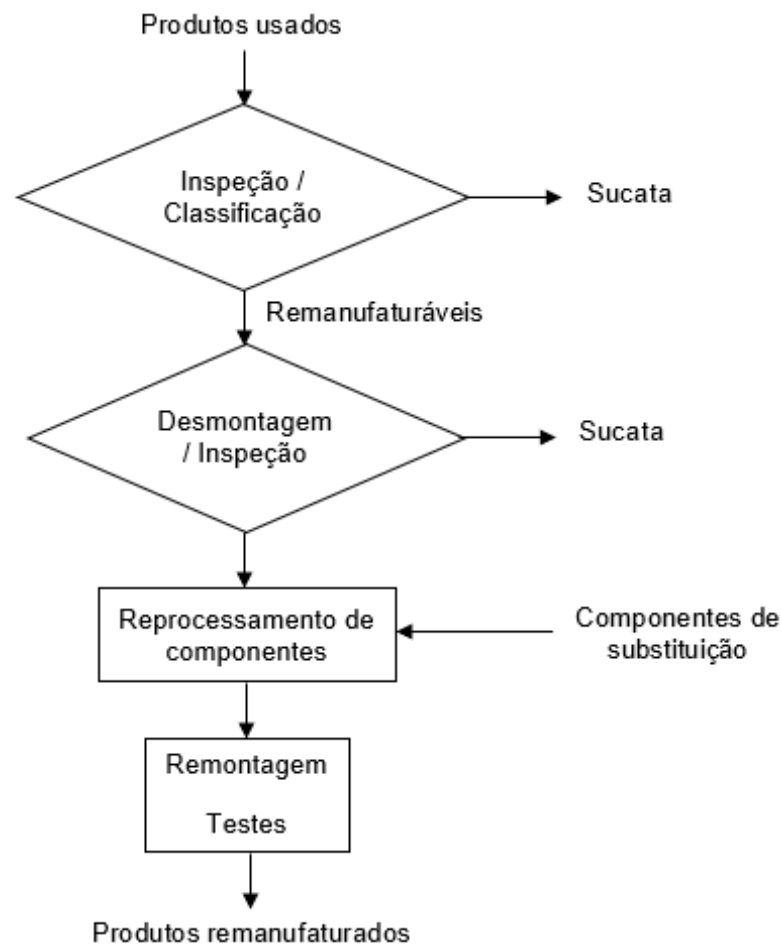


Fonte: Adaptado de Sundin (2004)

Com base em Lund (1984), Andrew-Munot delimita o processo da remanufatura agrupando estes passos nas seguintes etapas descritas na Figura 17:

- a) Inspeção e classificação;
- b) Desmontagem e inspeção;
- c) Reprocessamento de componentes;
- d) Remontagem e testes

Figura 17 – Processo genérico de remanufatura



Fonte: Adaptado de Andrew-Munot et al. (2015)

Andrew-Munot (2015) relatam que a remanufatura inicia a partir da inspeção visual completa e classificação dos produtos, etapa em que as aparas são descartadas ou comercializadas para vendedores de sucata, enquanto as partes remanufaturáveis são encaminhadas para o processo de desmontagem / inspeção.

Durante a inspeção, cada unidade do componente constituinte pode ser classificada como remanufaturável ou refugo (ANDREW-MUNOT, 2015). Após uma limpeza inicial e o exame de cada núcleo para determinar a sua condição, modelo e ano de fabricação, o núcleo é desmontado. Este processo pode ser feito em etapas, primeiro por submontagem e em seguida em partes individuais cuidadosamente limpas. Peças corroídas ou descoloridas são submetidas a processos abrasivos para restaurar a sua superfície. Ao longo da desmontagem e limpeza, todas as peças são inspecionadas quanto a danos ou falhas que exijam reparação ou rejeição (LUND, 1984).

A quantidade real de etapas de reprocessamento e o tempo necessário dependem da qualidade do componente. É possível que componentes bem conservados necessitem apenas de um processo simples (como limpeza e acabamento de superfície) e um tempo curto de reprocessamento. Em contrapartida, espera-se que componentes dotados de baixa qualidade requeiram etapas de reprocessamento mais complexas (como limpeza, reparo e acabamento de superfície) e maior tempo de reprocessamento. Para o projeto de componentes complexos, diversas etapas de reparo, como soldagem e corte, podem ser necessárias para restaurar os componentes à sua condição original (ANDREW-MUNOT et al., 2015).

Segundo Lund (1984), as peças reprocessadas são catalogadas em um inventário para posterior montagem. Substituições de itens que devem ser descartados (vedações, arruelas, rolamentos, juntas, pinos, entre outros) são encomendadas a fornecedores ou fabricados pela remanufaturador e também colocados em estoque.

Após a montagem, cada unidade é testada e ajustada. Pode haver uma operação final de pintura e rotulagem, seguida de embalagem e envio. O controle de qualidade ao longo do processo de remanufatura é um fator de extrema importante, visto que a reputação do remanufaturador depende, em grande parte, da qualidade do produto acabado. Todos os funcionários que atuam nesta operação devem receber capacitação em temas como medições apropriadas, equipamentos de

inspeção e técnicas para a identificação de falhas nas peças, de forma a manter padrões elevados de qualidade (LUND, 1984).

4.4 Benefícios da remanufatura

Leite (2009) observa que, por se tratar de uma atividade de reaproveitamento imediatamente após à recuperação do bem durável, a remanufatura conserva, não apenas os materiais que constituem o produto, como também parte do valor adicionado durante a fabricação do produto original. Quando a sua utilização é possível, os principais materiais constituintes são reaproveitados, gerando a diminuição da extração de recursos e economia financeira às empresas (LEITE, 2009).

Lund (1984) relata que a remanufatura fornece uma impressionante variedade de ganhos para a sociedade e o empresário. O autor destaca os seguintes benefícios sociais e econômicos:

- a) Conservação de recursos (energia, materiais, capital e trabalho);
- b) Redução dos custos de produtos duráveis;
- c) Geração de oportunidades de emprego, particularmente para trabalhadores com baixa e moderada qualificações;
- d) Redução da quantidade de resíduos sólidos gerados e dos seus custos de processamento.

Para Gehin et al. (2008), as vantagens da prática da remanufatura incluem a redução do consumo de matéria-prima, a redução dos preços dos produtos, a maior conformidade com os regulamentos, a redução do custo de disposição final e a criação de empregos.

Sendo a remanufatura um processo bastante intensivo em mão de obra em comparação com outras estratégias de recuperação, um benefício social relevante diz respeito ao potencial de geração de empregos proporcionada por esta operação. A etapa de desmontagem, por exemplo, é essencialmente manual (ainda que o emprego de algumas máquinas possa auxiliar a atividade). Trabalhadores com variados níveis de qualificações e habilidades são necessários nas diferentes etapas

da remanufatura, de modo a recuperar as peças de maior valor (AYRES et al., 1997).

Para Paiva (2013), além da obtenção do lucro gerado com a comercialização dos produtos remanufaturados, a atividade de remanufatura aprimora a imagem da empresa. A autora relata que, tradicionalmente, a remanufatura emprega muitos indivíduos com qualificações ou habilidades mais modestas, em comparação à área de fabricação de produtos, contribuindo positivamente nas regiões onde o índice de desemprego de trabalhadores menos qualificados é elevado.

Quanto aos benefícios para o remanufaturador, Lund (1984) enfatiza a presença de baixas barreiras de entrada em termos do capital necessário, habilidades de negócios e conhecimento técnico (know-how). Paiva (2013) observa que o investimento de capital necessário à remanufatura é relativamente baixo devido a dois fatores: o insumo principal é um produto usado descartado, e os equipamentos utilizados na fabricação de peças, geralmente de elevado custo, não são necessários na remanufatura, sendo utilizadas apenas ferramentas de baixo custo, essencialmente manuais, como jatos de vapor para limpeza e equipamentos para os testes de desempenho.

Do ponto de vista econômico, Lund (1984) chama atenção à possibilidade de obtenção de bons níveis de rentabilidade, devido à ampla diferença entre o valor de mercado de um núcleo inoperante e o seu valor econômico para o remanufaturador. Segundo o autor, o preço de um produto remanufaturado corresponde, em média, a aproximadamente 60% do preço do produto original. O autor também estima que a energia utilizada na remanufatura de um produto é de somente 20 a 25% da energia requerida na sua produção original.

Neste sentido, Leite (2009) observa que as empresas que desenvolvem a remanufatura de componentes reportam ganhos de 40 a 60% nos custos com a utilização de apenas 20% do esforço de fabricação de um produto novo. Este aproveitamento possibilita a diminuição no preço de venda do produto remanufaturado de 30 a 50% comparado ao produto original, segundo o autor.

Há, ainda, benefícios adicionais para o OEM. Dependendo do efeito elasticidade-preço do seu mercado de produtos, este tipo de empresa pode oferecer versões remanufaturadas de seus produtos a preços consideravelmente mais baixos do que os originais que comercializa. Além disso, ao controlar a remanufatura dos seus produtos, a empresa protege a reputação da sua marca. Por fim, quando o

produto retorna para a remanufatura, o fabricante passa a dispor de informações valiosas sobre o uso, os modos de falha e as condições do seu produto. Com esse conhecimento adquirido, o OEM pode corrigir as falhas e aperfeiçoar o desempenho dos seus novos produtos (LUND, 1984).

Ainda com relação aos possíveis benefícios para as empresas, Sundin et al. (2000) observam que um contato mais próximo entre o fabricante e o cliente pode melhorar a interação e a relação entre eles. Os autores relatam que quando um produto é devolvido ao fabricante para o processo de remanufatura, é possível avaliar o seu desempenho ao longo do ciclo de vida e os pontos que necessitam de aperfeiçoamento. Este conhecimento permite que o fabricante melhore a conformidade dos seus produtos, reduzindo a necessidade de prestação de serviços de assistência técnica durante toda a fase de utilização, segundo os autores.

Leite (2009) destaca os benefícios da economia de recursos de naturezas variadas, a diminuição nos preços dos produtos comercializados e as garantias equivalentes aos produtos originais. No entanto, observa que as empresas que integram a remanufatura às suas atividades devem conferir a devida atenção ao projeto dos produtos, com vistas à sua desmontagem e reaproveitamento dos componentes, à integração da remanufatura à estratégia de marketing da organização, à adaptação dos meios de produção e seus controles logísticos, à alteração de sistemas contábeis de depreciação, dentre outros fatores.

Sundin (2004) ressalta o Design for Remanufacturing (DfRem) como um benefício potencial à remanufatura. Os projetistas alcançam o conhecimento de quão bem os seus desenhos funcionam nas fases de uso e final de vida, e novos projetos podem ser desenvolvidos para evitar possíveis problemas de uso e remanufatura no futuro.

Muitas empresas líderes no seu segmento de atuação procuram agregar valor às suas atividades adotando ações responsáveis em relação ao impacto ambiental dos seus produtos, dentre as quais é possível destacar a concepção dos produtos objetivando a redução dos impactos sobre o meio ambiente e facilitando o ciclo reverso do pós-consumo.

O projeto dos produtos constitui-se na fase mais adequada para a avaliação dos impactos ambientais dos produtos e dos materiais que os constituem. Nesta etapa, é possível favorecer a facilidade na desmontagem, separação dos materiais constituintes e identificação de cada um. O projeto das linhas de desmontagem de

produtos como automóveis, computadores e eletrodomésticos possibilita economia financeira e redução dos impactos ao meio ambiente (LEITE, 2009) e, ao introduzir o ecodesign em sua estratégia de negócios, estas empresas conseguem adaptar seus processos e produtos de forma a minimizar os impactos ambientais e favorecer a atividade de remanufatura dos produtos.

4.5 Barreiras à remanufatura

A implantação de uma atividade de remanufatura conta como uma série de barreiras de naturezas técnica, cultural, econômica, de design e de competição. Estas barreiras devem ser identificadas e tratadas de forma a possibilitar o sucesso da operação de remanufatura.

4.5.1 Barreiras técnicas

A fase de design, na qual, comumente, os projetistas priorizam a otimização do produto para o uso, mas não o projetam de forma a facilitar a sua desmontagem (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017) pode constituir um obstáculo à implantação de uma operação de remanufatura.

Além disso, a falta de “núcleos” de alta qualidade e a um custo razoável pode limitar a escala de produção da remanufatura (LUND, 1984). Uma das maiores dificuldades no estabelecimento de fluxos reversos é o fornecimento dos produtos pós-consumo em quantidades constantes e suficientes, de forma a garantir que as atividades se desenvolvam em uma escala econômica aceitável pelos empresários (LEITE, 2009). A escala de fornecimento de matéria-prima (“núcleos”) bem planejada é, portanto, determinante para o estabelecimento de um processo de remanufatura, e a sua insuficiência pode se constituir em uma barreira técnica relevante.

Desta forma, a garantia do fornecimento de “núcleos”, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo, é fundamental para a promoção da sustentabilidade da operação de remanufatura, de forma a evitar rupturas na produção de remanufaturados e garantir o equilíbrio entre a demanda e a oferta de “núcleos”. Para atingir este objetivo, é fundamental o estabelecimento de uma estrutura de

logística reversa capaz de viabilizar o retorno dos “núcleos” na frequência e qualidade necessárias à operação da remanufatura.

Esta incerteza da garantia de fornecimento da matéria-prima (núcleos) em uma linha de produção passa não somente pela questão da estruturação de um sistema de logística reversa, como também é diretamente afetada pela disponibilidade que o consumidor possui em devolver o seu produto usado. Se ele não se dispuser a proceder a devolução, os canais de logística reversa, ainda que devidamente implantados, não registrarão o retorno destes produtos para posterior envio à remanufatura.

Observa-se, também, que não é possível remanufaturar de forma sistemática um produto que tenha uma escala de produção muito baixa, em virtude da necessidade de se manter a oferta de matéria-prima nas quantidades e qualidades requeridas pelo processo. No caso específico da máquina de lavar, a sua elevada escala de produção e consumo, com tendências de crescimento no mercado brasileiro, favorecem a implantação de um processo de remanufatura sistemática.

4.5.2 Barreiras culturais

A atitude do mercado em relação aos produtos remanufaturados, isto é, a percepção dos compradores em relação à qualidade destes produtos, também pode representar um problema à remanufatura. O preço mais competitivo dos produtos remanufaturados pode ser um argumento persuasivo, mas se os compradores estão convencidos de que estes produtos são inferiores e implicam alto risco, não irão comprá-los (LUND, 1984).

O fornecimento de uma garantia idêntica a de um produto novo pode eliminar esta resistência cultural que ocorre quando o consumidor apresenta desconfiança se o produto remanufaturado possui a mesma qualidade, confiabilidade e durabilidade do produto novo. O consumidor poderá se sentir mais seguro em realizar a compra ao verificar que o produto remanufaturado apresenta o mesmo desempenho do produto original equivalente.

4.5.3 Barreiras econômicas

Os remanufaturadores independentes podem, ainda, enfrentar outro obstáculo ao sucesso das suas operações: a oposição dos OEMs. Estes podem recusar-se a vender peças de reposição ou mesmo realizar a venda a preços não razoáveis. Podem, também, negar-se a divulgar o design e as informações de especificações necessárias aos remanufaturadores independentes. Há, ainda, maneiras mais sutis de causar problemas para o remanufaturador independente, como a realização de mudanças frequentes no design do produto, fazendo com que as peças para os modelos mais novos sejam incompatíveis com os equipamentos antigos, desencorajando, desta forma, a remanufatura (LUND, 1984).

Uma parcela importante no valor total da economia reversa atual é oriunda do mercado secundário de bens remanufaturados, embora, muitas vezes, seus números são pouco documentados e baseados em estimativas. Ainda que a remanufatura apresente elevadas possibilidades de economia de recursos e ganhos de produtividade, é pouco utilizada pelas empresas fabricantes originais, devido à falta de conhecimento dos empresários acerca do potencial de benefícios e os desafios existentes (LEITE, 2009).

Ainda com relação aos aspectos econômicos, para Lund (1984), as barreiras deste tipo à remanufatura são baixas, pois o montante de capital necessário para o investimento é relativamente modesto e pode ser dimensionado em função da economia de escala adotada. Além disso, as habilidades necessárias para a realização das tarefas da remanufatura podem ser facilmente desenvolvidas por meio de treinamento dos trabalhadores.

4.5.4 Barreiras de design

Os obstáculos de design podem ser verificados quando a decisão de compra do consumidor é influenciada pelo design do produto. No caso de uma máquina de lavar remanufaturada, acredita-se que o aspecto estético não seja um critério decisivo para a escolha de compra deste equipamento. Portanto, as barreiras de design não são significativas no caso analisado.

4.5.5 Barreiras de competição

A competição em um mercado pode se dar por critérios de inovação e preço. No caso da remanufatura de uma máquina de lavar, o preço tende a ser o fator decisivo. A remanufatura sistemática dificulta a inovação do produto como um todo, mas a cada ciclo de remanufatura, é possível realizar melhorias incrementais.

Na ausência de grandes inovações tecnológicas, uma forma dos empresários buscarem melhorias nos produtos remanufaturados é através da modernização dos seus produtos, como, por exemplo, uma atualização da tecnologia embarcada, a utilização de luzes, entre outras alterações que não modifiquem o modelo do produto.

4.6 Condições para a viabilidade da implantação de uma estratégia de remanufatura

Praticamente todos os produtos fabricados podem ser remanufaturados ao final do seu ciclo de vida. No entanto, aspectos como o modelo de negócios ou o design do produto tornam a remanufatura de um determinado produto mais rentável do que outros, ou em alguns casos, não conveniente (GALLO et al., 2012).

Lund (1984) relata que, embora a gama de produtos remanufaturados seja ampla, a maior parte compartilha de determinadas características comuns. O autor afirma que é imperativo que o produto possua as seguintes características essenciais que possibilitem a sua remanufatura:

- a) Deve haver um “núcleo”;
- b) O produto não pode ser consumido em seu uso, isto é, deve ser um bem durável;
- c) O produto deve ser passível de desmontagem, inclusive nas partes mais “intratáveis”, como juntas soldadas e selos herméticos;
- d) Suas partes devem ser capazes de reparar, renovar ou substituir a economia;
- e) A remanufatura deve restaurar a função original do produto e o seu nível de desempenho;

- f) O “núcleo” deve conter um alto valor agregado (representado pela utilização de mão-de-obra, energia e capital), mesmo ao fim da sua vida útil. Outra maneira de afirmar isso é que o valor realizável do núcleo, medido pelo valor recuperável ainda incorporado nele, é muito superior ao seu valor de mercado como um produto que não funciona;
- g) Deve haver um mercado ao nível dos preços que devem ser cobrados para um produto remanufaturado;
- h) O produto não deve ser alvo de rápidas mudanças na sua tecnologia.

Lund (1984) observa a importância de se considerar o aspecto da estabilidade tecnológica do produto, visto que mudanças constantes em um produto podem dificultar o seu processo de remanufatura. O autor relata o exemplo de que, a despeito de uma calculadora eletromecânica ser capaz de satisfazer todos os outros critérios físicos e econômicos para a remanufatura, o advento da calculadora eletrônica extinguiu o seu mercado.

Sundin et al. (2000) observam que se houver uma pequena parte do produto que possua um rápido desenvolvimento de tecnologia, o mesmo pode ser estruturado como um módulo. Esta estrutura pode ser colocada dentro do produto de modo a facilitar a sua substituição e, portanto, o produto seria passível de remanufatura com maior facilidade.

Como requisitos à implantação de uma operação de remanufatura, destacam-se, ainda, a necessidade de estabelecimento de uma rede de logística reversa que possibilite o retorno dos “núcleos” aos centros de operação, além da garantia da oferta constante de “núcleos”, de modo a atender à demanda por produtos remanufaturados e não gerar rupturas no processo de remanufatura.

Na definição das pré-condições necessárias ao desenvolvimento de um processo de remanufatura no longo prazo, observa-se, ainda, a possibilidade de um fabricante de máquinas de lavar encerrar a sua produção. Neste caso, a garantia de fornecimento de peças e componentes, bem como a elaboração de um contrato de longo prazo para tal são fatores essenciais que devem ser levados em consideração no planejamento do processo de remanufatura de modo a garantir a continuidade das suas atividades.

4.7 Ações empresariais e fatores motivadores à remanufatura

Diversas são as forças motrizes que geram incentivos para uma empresa iniciar um negócio de remanufatura. O desempenho do negócio em uma instalação de remanufatura depende muito das características do produto e de como funciona o seu sistema de remanufatura em relação aos seus stakeholders (SUNDIN, 2004).

Remanufuradores de cartuchos de toner no Canadá, por exemplo, possuem a demanda do mercado por produtos remanufaturados como o seu principal indutor. Já os remanufuradores da Suécia possuem um fluxo constante de produtos descartados em virtude da existência de forças legislativas intensas que os responsabilizam pelo tratamento de fim de vida dos seus produtos. Como os fabricantes suecos devem seguir leis específicas de devolução de produtos, a atuação dos remanufuradores e recicladores é de grande relevância, visto que possibilitam as soluções End of Life. No Japão, uma importante motivação para a remanufatura de câmeras descartáveis tem origem ambiental, com a redução da geração de resíduos. Todas essas empresas possuem benefícios econômicos como forças motrizes diretas ou indiretas para as suas operações de remanufatura (SUNDIN, 2004).

Ayres et al. (1997) analisaram os motivos que impulsionaram diversas empresas a iniciarem uma operação de remanufatura. Os autores observaram que, para a maioria das empresas analisadas, a legislação ambiental em vigor ou a legislação esperada constituiu-se em um fator determinante. Em alguns casos, a antecipação de legislação futura motivou as empresas a desenvolverem alternativas de recuperação interna. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos principais fatores motivadores para os casos analisados.

Quadro 3 – Motivações empresariais para a implantação do processo de remanufatura

EMPRESA	FATORES MOTIVACIONAIS	ESTRATÉGIA	RESULTADOS
Rank Xerox	Concorrência de fornecedores secundários e potenciais danos à reputação.	Início de uma operação de recuperação de ativos nas plantas de manufatura na Europa.	Economia de matérias-primas estimada em US\$ 69,4 milhões em 1995.

DEC	Antecipação da regulação sobre a devolução de resíduos eletroeletrônicos na Alemanha.	Início de uma operação interna de remanufatura / reciclagem de computadores.	Não disponíveis.
IBM SEMEA	Redução dos custos de descarte de resíduos, aumentando a reciclagem. Fornecimento de peças para fins de manutenção.	Criação de uma subsidiária para recuperação e logística.	A operação apresentou rentabilidade em 1995.
Dow SafeChem	Manutenção do market-share em um mercado em declínio. Regulamentações em relação ao uso de solventes CFC.	Venda de todo pacote de serviços, no qual o custo de devolução e destinação está incluso no preço, em vez da venda do solvente virgem.	Após operação com perdas durante os três primeiros anos, a empresa obteve lucro em 1995.
BASF Corp. (subsidiária dos EUA)	Cultura interna de desenvolvimento de novos processos ou produtos para manutenção da empresa à frente da competição.	Desenvolvimento de um programa para coletar e reciclar tapetes em fim de vida útil, resultando em fibras da mesma qualidade que o material virgem.	Não disponíveis.
Aurora Eletronics	Identificação de um nicho de mercado potencial para circuitos integrados usados que poderia ser usado em outras indústrias (por exemplo, indústria de brinquedos ou eletrodomésticos).	Início de uma operação de reciclagem de circuitos integrados utilizando o estado da arte da tecnologia.	Operação rentável.
BMW	Minimização da geração de resíduos oriundos da reutilização de carros antigos, antecipando a legislação alemã de retirada de veículos em fim de vida.	Criação de uma rede de reciclagem na Europa, com a identificação de desmontadores de carros de acordo com os padrões da BMW.	A remanufatura e revenda de peças de alto valor (motores, água e transmissões de bombas) viabiliza economicamente a operação.

Siemens Nixdorf (SIN)	O fator motivador foi o aumento dos custos de destinação em aterros na Alemanha. Uma solução apropriada deveria ser encontrada para minimizar os custos de descarte.	Centralização das instalações de reciclagem e criação de uma relação entre os desmontadores e os engenheiros de projeto, para fabricar equipamentos mais facilmente recicláveis no futuro.	A desmontagem e as instalações de reciclagem são custos para a empresa, enquanto a revenda e o reuso de componentes geram receita.
Alpha Metals	Publicação de uma portaria alemã que obriga as empresas a devolução de embalagens usadas. O alto custo de destinação em aterros de resíduos perigosos também foi um fator motivador	Comercialização de produtos acondicionados em latas (que podem ser recicladas).	Apesar do preço mais elevado, esta solução apresentou-se como mais rentável para a empresa.

Fonte: Modificado de Ayres et al. (1997)

4.8 Projeto para a remanufatura

O projeto para Remanufatura ou Design for Remanufacturing (DfRem) pode ser analisado como uma parte do Projeto para o Meio Ambiente (DfE) e tem o potencial de impactar consideravelmente a eficiência da remanufatura. As etapas do processo de remanufatura podem ser desenvolvidas com maior eficiência quando no projeto do produto é considerada a facilidade para desmontagem, triagem, limpeza, reparo e substituição de peças, remontagem e testes (PAIVA, 2013).

Para favorecer o processo de remanufatura de produtos, Sundin e Bras (2005) observam que os designers devem se concentrar em projetar produtos dotados das seguintes propriedades: facilidade de acesso, facilidade de manuseio, facilidade de separação e resistência ao desgaste.

Sundin (2004) destaca o benefício que a aplicação do Design for Remanufacturing oferece ao facilitar as operações da remanufatura. Os autores observam que, no momento em que os designers alcançam o conhecimento de quão bem os seus projetos funcionam nas fases de uso e final de vida, novos

projetos podem ser desenvolvidos para evitar possíveis problemas de uso e remanufatura do produto no futuro.

Através da aplicação do DfRem, é possível corrigir alguns problemas que ocorrem no processo da remanufatura por meio da execução de modificações importantes no projeto, como: a utilização de componentes modulares (pois permitem a desmontagem e montagem dos produtos, garantindo maior facilidade e agilidade); a padronização de fixadores dos componentes (com a utilização de conectores que não utilizem soldagens); parafusos e outros tipos de fixação que possibilitem a utilização de ferramentas simples que facilitem a desmontagem e montagem do produto; e a padronização das interfaces dos componentes a fim de que uma quantidade menor de peças seja necessária para produzir uma grande quantidade de produtos semelhantes (PAIVA, 2013).

Saavedra e Ometto (2010) elaboraram um conjunto de diretrizes com o objetivo de auxiliar os designers na etapa de projeto de produtos que possam ser recuperados na sua fase pós-consumo e cujos materiais, partes e componentes possam ser reintegrados ao ciclo produtivo. Segundo os autores, o objetivo da elaboração deste guia é permitir que os projetistas possam desenvolver produtos concebidos para serem recuperados ao fim do seu ciclo de vida, com a consequente redução dos impactos ambientais.

As diretrizes identificadas pelos autores para o processo de desenvolvimento de produtos baseado na recuperação de materiais, componentes e o próprio produto são as seguintes (SAAVEDRA e OMETTO, 2010):

- a) Para a atividade de recuperação de partes e componentes, projetar:
 - i. A minimização da mistura de materiais de modo a facilitar a reciclagem de partes e componentes;
 - ii. Produtos com alta durabilidade de partes e componentes de modo a facilitar o reuso¹¹, remanufatura e reciclagem;
 - iii. Produtos modulares para facilitar a atualização, adaptação, troca de componentes por desgaste e corrosão e reuso de componentes e partes;
 - iv. Produtos de forma a minimizar a limpeza para evitar o desgaste de partes e componentes.

¹¹ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

- b) Para a atividade de desmontagem do produto, projetar:
- i. A menor quantidade de soldas entre as partes;
 - ii. A utilização de conexões plásticas e metálicas para diminuir o uso de soldas;
 - iii. A menor quantidade de fixações entre as partes;
 - iv. A identificação de partes e componentes com conteúdo de substâncias tóxicas;
 - v. A sequência de prioridade na desmontagem, iniciando pelos componentes e partes de alto valor agregado;
 - vi. A otimização do tempo de desmontagem de partes e componentes;
 - vii. Produtos com partes e componentes de fácil separação.

5 A INDÚSTRIA ELETROELETRÔNICA E OS SEUS RESÍDUOS

5.1. Conceitos e tipologias de EEE

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) define equipamentos eletroeletrônicos (EEE) como sendo todos aqueles cujo funcionamento depende da utilização de corrente elétrica ou campos magnéticos. Estes produtos podem ser classificados em quatro grandes categorias, conforme ilustrado na Figura 18 (ABDI, 2013):

- a) Linha Verde: computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares;
- b) Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;
- c) Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, máquinas de lavar roupas, lavadoras de louça, secadoras, condicionadores de ar;
- d) Linha Azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras.

Para cada linha de eletroeletrônicos, a Figura 18 apresenta, também, a vida útil média, o peso médio e a composição principal dos produtos que a compõem. A linha branca, de interesse específico em virtude das máquinas de lavar, registra a maior vida útil média (aproximadamente, 10 a 15 anos) e é formada por equipamentos de grande porte (30 a 70 kg, aproximadamente), essencialmente compostos por metais.

Figura 18 – Linhas de produto



Fonte: ABDI (2013)

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) apresenta, ainda, uma divisão da indústria eletroeletrônica em grupos e classes industriais. No grupo de materiais eletrônicos, estão contemplados os componentes eletrônicos, equipamentos de informática e periféricos, equipamentos de comunicação, aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo, e aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle, cronômetros e relógios. Já no grupo de materiais elétricos estão contidos os geradores, transformadores e motores elétricos, pilhas, baterias e acumuladores elétricos, equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica, lâmpadas e outros equipamentos de iluminação, eletrodomésticos, equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente. A Associação classifica, ainda, os eletroeletrônicos em dez áreas setoriais. O setor de utilidades domésticas eletroeletrônicas, em particular, é composto por eletrodomésticos portáteis, ferramentas elétricas manuais, eletrotécnica embarcada, entre outros (ABINEE, s/d).

Já a legislação europeia, por meio da Diretiva 2002/96/CE, classifica os equipamentos eletroeletrônicos em dez categorias (European Commission, 2003):

- Grandes eletrodomésticos (refrigeradores, fogões, máquinas de lavar roupas, etc);
- Pequenos eletrodomésticos (torradeiras, aspiradores de pó, etc);

- c) Equipamentos de informática e telecomunicações (computadores, impressoras, telefones, etc);
- d) Equipamentos de consumo (televisão, rádio, etc);
- e) Equipamentos de iluminação (lâmpadas, etc);
- f) Ferramentas elétricas e eletrônicas, com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões (serras, máquinas de costura, etc);
- g) Brinquedos e equipamentos de esporte e lazer (videogames, equipamentos esportivos, etc);
- h) Aparelhos médicos, com exceção de todos os produtos implantados e infectados (equipamentos de medicina nuclear, etc);
- i) Instrumentos de monitoramento e controle (detectores de fumaça, termostatos, etc);
- j) Distribuidores automáticos (aparelhos que forneçam automaticamente todos o tipo de produtos).

5.2 Caracterização do mercado brasileiro de EEE

Os dados ainda não consolidados pela ABINEE no momento da pesquisa (em 01 de janeiro de 2019) demonstraram uma projeção de encerramento do ano de 2018 com o emprego de 236 mil trabalhadores de forma direta no setor de eletroeletrônicos brasileiro. Ainda que o saldo tenha aumentado em 2.065 empregados no período de agosto de 2017 a agosto de 2018, o setor apresentou demissões ao longo do ano de 2018. Contribuíram negativamente para este cenário o ambiente de incerteza política em que o país se encontrou em decorrência das eleições, as oscilações do dólar, o aumento no preço dos insumos e a diminuição de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) (ABINEE, 2018).

Em um movimento de reversão da tendência de resultados negativos nos três anos anteriores, a indústria eletroeletrônica apresentou um faturamento de R\$ 136,0 bilhões no ano de 2017, representando um crescimento de 5% em comparação com o ano de 2016, cujo faturamento foi de R\$ 129,4 bilhões. Do faturamento total em 2017, R\$ 18,4 bilhões correspondem apenas à área de utilidades domésticas, significando um acréscimo de 12% em relação ano anterior (ABINEE, 2018).

Entre os anos de 2016 e 2017, a produção do setor apresentou um incremento de 6%, impulsionada pelo aumento de 20% na indústria eletrônica em

função do aumento no segmento de bens de consumo, ainda que a indústria elétrica tenha apresentado uma queda de 3%. No ano de 2017, os investimentos no setor totalizaram R\$ 2,5 bilhões, representando um aumento de 5%. A capacidade instalada da indústria eletroeletrônica cresceu de 71% para 77% e 1,4 mil vagas de trabalho foram criadas, passando de 232,8 mil para 234,2 mil empregados. Alguns fatores podem explicar este cenário promissor de aumento de produção e vendas de eletroeletrônicos. O baixo índice de inflação, de 3% no ano de 2017, favoreceu o aumento da renda real da população e a redução das taxas de juros, estimulando o consumo (ABINEE, 2018).

Ao final do ano de 2017, dados da ABINEE projetavam um aumento de 7% na produção da indústria eletroeletrônica para 2018 e um acréscimo de 7% no seu faturamento de 2018 comparado ao ano anterior. A Associação estimava que os investimentos no setor totalizariam R\$ 2,76 bilhões em 2018, representando um incremento de 10 % em relação a 2017. Para atender a este aumento da produção, a Associação estimava que a capacidade instalada aumentaria de 77% para 80% entre os anos de 2017 e 2018, além de um acréscimo de 3,8 mil trabalhadores, totalizando 241 mil empregados no setor. Além disso, eram esperados aumentos de 5% nas importações e 3% nas exportações do setor em 2018 (ABINEE, 2017).

No entanto, dados preliminares divulgados pela ABINEE estimam números diferentes dos previstos para o setor no ano de 2018. O faturamento da indústria eletroeletrônica é esperado em 146,1 bilhões, apresentando um crescimento real (isto é, descontada a inflação) de 2% em relação ao ano de 2017. Os segmentos de bens de consumo influenciaram de forma positiva a atividade do setor, principalmente as áreas de informática e utilidades domésticas, os quais experimentaram acréscimos de 14% e 10% em seus respectivos faturamentos. Além disso, no ano de 2018, ocorreu a liberação dos recursos das contas inativas do FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), utilizado, em parte, para a compra de bens de consumo (ABINEE, 2018).

A utilização da capacidade produtiva em 2018 deve ser mantida em 77%, mesmo nível do ano de 2017, enquanto a produção deve crescer 2%, patamar muito abaixo dos 7% projetados para 2018, quando a previsão de crescimento do PIB era acima de 3% (frente ao crescimento de apenas 1,1% que o PIB apresentou em 2018, segundo O GLOBO, 2019). O nível de emprego também observou os efeitos do desempenho abaixo do esperado, com o aumento de apenas 1.800

trabalhadores em relação aos 4.000 projetados para 2018. Em relação às exportações, houve um aumento de apenas 1% em relação ao ano de 2017 (passando de US\$ 5,7 bilhões para US\$ 5,8 bilhões), enquanto as importações aumentaram de US\$ 29,6 bilhões para US\$ 32,4 bilhões, totalizando um acréscimo de 9% (ABINEE, 2018).

Com as expectativas de melhora econômica do país em 2019, o setor eletroeletrônico prevê um crescimento de 8% no seu faturamento anual, alcançando R\$ 157,3 bilhões, além de 7% de aumento na produção e o incremento da mão de obra, totalizando 240.000 trabalhadores diretos no setor ao final de 2019. São também aguardados incrementos de 3% e 9% nas exportações e importações de eletroeletrônicos, respectivamente. O desempenho da área de utilidade doméstica, em particular, deve aumentar 10%, visto que os setores ligados ao consumo devem corresponder ao crescimento econômico esperado (ABINEE, 2018).

O Quadro 4 e a Figuras 19 apresentam, respectivamente, os principais indicadores da indústria eletroeletrônica entre os anos de 2016 e 2019 com as variações percentuais em relação ao ano anterior e o comportamento da produção física entre os anos de 2013 e 2018. No Quadro 4, é possível observar um declínio na produção de equipamentos eletroeletrônicos no mercado brasileiro entre os anos de 2014 a 2016, situação que pode ser justificada pelo momento de crise econômica vivenciada pelo país. Com a retomada econômica a partir do ano de 2017, a produção da indústria eletroeletrônica apresentou recuperação.

Em virtude da expectativa de crescimento tanto da produção quanto da importação de produtos eletroeletrônicos, a tendência é o aumento na geração de resíduos desta natureza. Neste sentido, faz-se necessário desenvolver soluções tecnológicas para a reintrodução destes materiais e componentes nas cadeias produtivas, em particular, por meio do processo de remanufatura.

Quadro 4 - Principais indicadores da indústria eletroeletrônica no Brasil

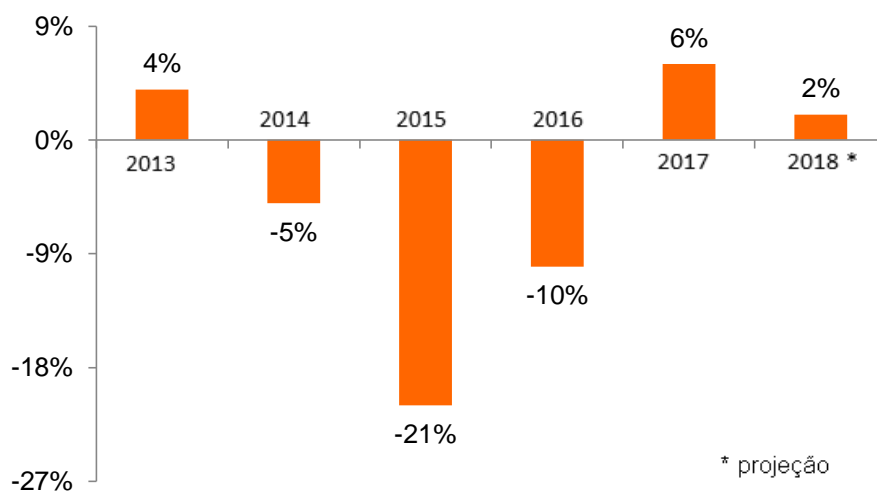
Principais indicadores	2016	2017	2018 ⁽¹⁾	2019 ⁽¹⁾	$\frac{2018^{(1)}}{2017}$	$\frac{2019^{(1)}}{2018}$
Faturamento (R\$ bilhões)	129,4	136,0	146,1	157,3	7%	8%
Faturamento (US\$ bilhões)	37,2	42,6	41,2	42,5	-3%	3%
Produção física (variação percentual anual) ⁽²⁾	-10,3	6,3	2,0	7,0	-	-
Número de empregados (e mil) ⁽¹⁾	232,8	234,2	236,0	240,0	1%	2%
Exportações (US\$ milhões)	5.615	5.844	5.882	6.050	1%	3%
Importações (US\$ milhões)	25.587	29.633	32.416	35.260	9%	9%
Déficit comercial setorial (US\$ milhões)	-19.972	-23.789	-26.534	-29.210	12%	10%
Investimentos (R\$ milhões)	2.381	2.508	2.694	2.989	7%	11%
Investimentos (porcentagem sobre o faturamento)	1,8	1,8	1,8	1,9	-	-
Utilização da capacidade instalada (%) (considerando capacidade total 100%)	71	77	77	79	-	-

(1) Projeção

(2) PM - PF - Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física do IBGE / Agregação ABINEE

Fonte: Modificado de ABINEE (2018)

Figura 19 – Produção física da indústria eletroeletrônica no Brasil



Fonte: Adaptado de ABINEE (2018)

Desta forma, devido à expansão na produção e nas vendas dos eletroeletrônicos e ao aumento do poder aquisitivo das classes C, D e E motivado

pelo crescimento econômico no país, observa-se uma elevação na geração de resíduos eletroeletrônicos, fenômeno intensificado pelo fato de que a indústria eletroeletrônica exerce um efeito multiplicador sob a economia, em virtude do seu aporte tecnológico. (SARAIVA, 2012).

ABINEE (2010) destaca que a perspectiva de aumento do consumo de produtos eletroeletrônicos nos próximos anos traz à luz preocupações como o descarte dos resíduos eletroeletrônicos, a intensa participação do mercado informal, o armazenamento inadequado, a identificação de locais apropriados para o armazenamento e a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos eletroeletrônicos. Neste sentido, Saraiva (2012) observa que os padrões de industrialização caminham na direção da sustentabilidade da produção, educação ambiental e do adequado descarte dos materiais, em uma abordagem que contemple a logística reversa e a responsabilidade compartilhada.

5.3 Geração e descarte dos REEE

Ao fim da sua vida útil, uma vez esgotadas todas as possibilidades de reuso, reparo ou atualização, os equipamentos eletroeletrônicos passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) (ABDI, 2013).

Segundo a Diretiva 2002/96/CE emitida pelo Parlamento Europeu, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos são definidos como os equipamentos elétricos ou eletrônicos que constituem resíduos, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte do produto no momento em que este é descartado (European Commission, 2003).

Por meio de um relatório elaborado pela United Nations University, Baldé et al. (2015) calcularam a geração total mundial em 41,8 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos no ano de 2014. Somente no Brasil foram gerados 1,4 milhão de toneladas de REEE, o equivalente 7,0 kg por habitante no ano de 2014, segundo o autor. Esta geração nacional de REEE per capita excede a geração mundial no mesmo período de 5,9 kg por habitante, conforme pode ser observado na Tabela 1, constituindo-se com um ponto de atenção no gerenciamento dos REEE no cenário brasileiro. Cada vez mais, são necessárias novas soluções para a recuperação destes materiais e a sua reintrodução na cadeia produtiva, em detrimento da sua disposição final em aterros sanitários e lixões.

Já a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial estimou a geração nacional total em 1,1 milhão de tonelada de REEE no ano de 2014. Para 2018, a previsão é de 1,3 milhão de tonelada, com a predominância de REEE de pequeno porte¹² (ABDI, 2013).

Para o ano de 2018, Baldé et al. (2015) estimaram a geração mundial total de aproximadamente 50 milhões de toneladas de REEE, sendo 6,7 kg por habitante, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade global de REEE gerado

Ano	Geração de REEE (Mt)	População mundial (bilhões)	Geração de REEE (kg/habitante)
2010	33,8	6,8	5,0
2011	35,8	6,9	5,2
2012	37,8	6,9	5,4
2013	39,8	7,0	5,7
2014	41,8	7,1	5,9
2015 *	43,8	7,2	6,1
2016 *	45,7	7,3	6,3
2017 *	47,8	7,4	6,5
2018 *	49,8	7,4	6,7

Fonte: Baldé et al. (2015)

* previsão de dados

Em um novo relatório publicado no ano de 2017, Baldé et al. (2017) calcularam as gerações de REEE no ano de 2016, até então estimadas na publicação realizada em 2015. Os autores identificaram que a geração total mundial de resíduos eletroeletrônicos foi de 44,7 milhões de toneladas no ano de 2016, o equivalente a 6,1 kg por habitante.

Baldé et al. (2017) calcularam, também, a geração brasileira de REEE em 1,5 milhão de toneladas no ano de 2016, o equivalente a 7,4 kg por habitante, superando a média nacional per capita no período de 6,1 kg por habitante.

Neste relatório, os autores indicaram, ainda, que a geração mundial de resíduos eletroeletrônicos deve aumentar para 52,2 milhões de toneladas no ano de

¹² Para efeito de simplificação da análise, a ABDI classificou os REEE em dois grandes grupos: resíduos de grande porte (correspondendo à soma de todos os REEE oriundos da linha branca, sendo eles: refrigeradores, fogões, máquinas de lavar roupas e ar condicionado) e resíduos de pequeno porte (representando a soma de todos os demais REEE analisados no estudo) (ABDI, 2013).

2021 (com uma taxa de crescimento anual de 3 a 4%), o equivalente a 6,8 kg por habitante.

Tendo em vista que a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) foi de 78,3 milhões de toneladas no Brasil no ano de 2016, a geração de REEE representou, aproximadamente, 1,9% do total de RSU gerado no mesmo período.

Na prática, os consumidores descartam os seus produtos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo conjuntamente com os RSU gerados em seus domicílios, sem qualquer tipo de segregação, o que dificulta o posterior processo de triagem, desmontagem, separação das peças e componentes e remanufatura do produto. Esta prática configura-se como um reflexo da falta de informação a respeito dos impactos gerados à saúde humana e ao meio ambiente ocasionados pela disposição inadequada dos RSU, bem como da ainda incipiente estrutura de coleta seletiva de REEE e logística reversa de produtos.

5.4 Composição dos REEE e os seus impactos ambientais

Diversos materiais estão presentes na composição dos REEE, tais como plásticos, vidros e mais de vinte tipos de metais pesados, com o potencial de contaminação das pessoas que os manipulam e do meio ambiente em condições inadequadas de disposição final (ABDI, 2013). O Quadro 5 apresenta a caracterização dos principais metais pesados presentes na composição dos REEE e os seus respectivos danos à saúde humana (ABDI, 2013). A Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2003) inclui, ainda, outras substâncias perigosas que podem estar presentes nos REEE, como o CFC (clorofluorcarbono) e PCB (bifenila policlorada).

Quadro 5 – Metais pesados presentes no REEE

Elemento	Principais danos causados à saúde humana
Alumínio	Há uma possível relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.
Bário	Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; possui meia-vida de 30 anos nos rins; sua intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar e efeitos teratogênicos e carcinogênicos.

Chumbo	É o mais tóxico dos elementos; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce ação tóxica na biossíntese do sangue, no sistema nervoso, no sistema renal e no fígado; em intoxicações crônicas provoca alterações gastrintestinais, neuromusculares e hematológicas, podendo levar à morte.
Cobre	Ocasiona intoxicações com lesões no fígado.
Cromo	Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer do pulmão.
Mercúrio	Atravessa com facilidade as membranas celulares, sendo absorvido imediatamente pelos pulmões. Modifica as configurações das proteínas, podendo causar um colapso circulatório no paciente, levando à morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito acumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos.
Níquel	Possui efeito carcinogênico, com atuação direta na mutação genética.
Prata	10g na forma de nitrato de prata são letais ao homem.

Fonte: Modificado de ABDI (2013)

Na composição dos resíduos eletroeletrônicos é possível verificar, além de metais valiosos (como cobre e platina), potenciais contaminantes ambientais, principalmente chumbo, antimônio, mercúrio, cádmio, níquel, éteres difenílicos polibromados (PBDEs) e bifenilas policloradas (PCBs). A queima indevida destes resíduos pode gerar compostos como cloreto de hidrogênio e potenciais carcinogênicos, como dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) e hidrocarbonetos aromáticos polihalogenados (PHAHs) (ROBSON, 2009).

Muitos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos são descartados no resíduo domiciliar comum e dispostos em aterros sanitários ou lixões, causando o lançamento de substâncias perigosas no meio ambiente de forma não controlada (EEA, 2003). Além disso, Robinson (2009) relata que, embora ilegal, diversos países desenvolvidos exportam uma quantidade desconhecida de resíduos eletroeletrônicos para os países pobres, nos quais são, muitas vezes, submetidos à queima e dissolução em ácidos fortes com poucas medidas para proteger a saúde humana e o meio ambiente.

Como consequências, observa-se a contaminação local, seguida pela migração dos contaminantes para as águas receptoras e cadeias alimentares, além de danos à saúde dos trabalhadores envolvidos por contato com a pele e inalação. Toda a população é exposta aos contaminantes por meio da fumaça, poeira, água e alimentos, havendo, inclusive, evidências de que os contaminantes associados aos

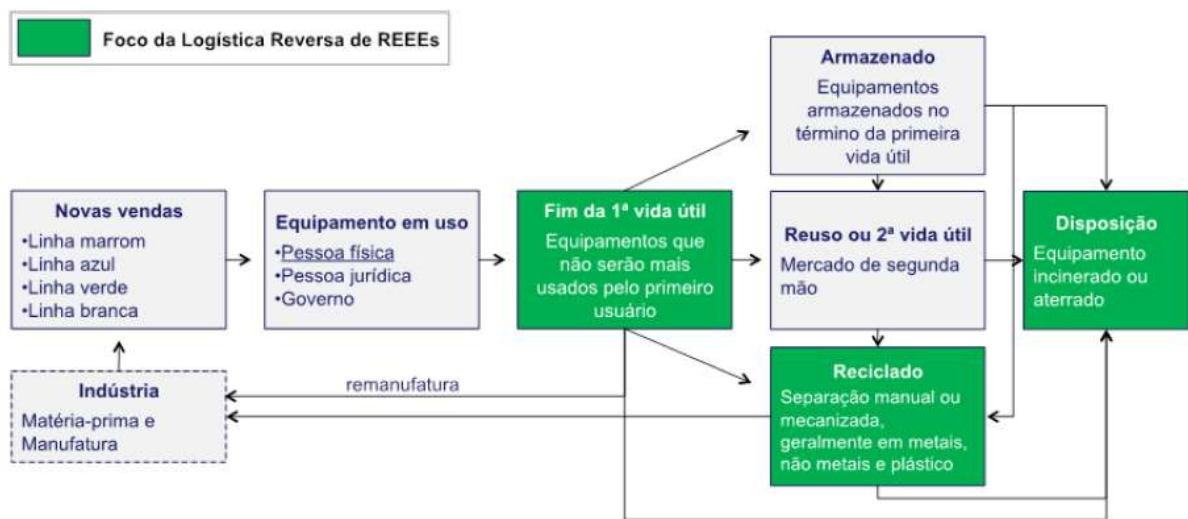
resíduos eletroeletrônicos estão presentes em alguns produtos agrícolas ou manufaturados para exportação (ROBINSON, 2009).

5.5 Tecnologias de tratamento de REEE

5.5.1 Ciclo de vida dos REEE

A indústria de equipamentos eletroeletrônicos tem como característica a realização de lançamentos frequentes de novos produtos, com incrementos tecnológicos, funcionais e de design, reduzindo a vida média dos seus produtos. Como consequência desta prática, observou-se o desenvolvimento de um mercado de segunda mão, no qual o equipamento ainda em funcionamento é vendido informalmente ou doado para reuso¹³. O equipamento eletroeletrônico passa, então, à chamada “segunda vida útil”, podendo se estender, inclusive, a uma terceira, quarta ou quinta vida útil (ABDI, 2013). A Figura 20 apresenta o ciclo de vida dos REEE considerando as possibilidades ao fim da sua primeira vida útil: reuso¹⁴, remanufatura, reciclagem e disposição final.

Figura 20 – Ciclo de Vida dos REEE



Fonte: ABDI (2013)

¹³ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

¹⁴ Idem ao anterior.

Os produtos eletroeletrônicos podem ser descartados após o seu consumo por diferentes motivos, tais como: não atendem mais às necessidades do consumidor; não são mais utilizados; ou são substituídos por produtos mais novos, eficientes ou econômicos. O consumidor brasileiro não tem o hábito de encaminhar os seus REEE para a destinação adequada, especialmente pela falta de informação e estrutura necessária para coleta. Estes resíduos são, frequentemente, depositados juntamente com o resíduo domiciliar comum ou, devido à cultura de reuso¹⁵, guardados, doados ou vendidos (ABDI, 2013).

Segundo relatório emitido pela Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2003), para reduzir as quantidades geradas de REEE e as emissões provenientes do seu tratamento, o foco de atuação deve ser orientado para o gerenciamento dos REEE, para o produto e para o consumidor. O estudo indica a adoção das seguintes medidas:

a) Gerenciamento dos REEE:

- i. Coleta segregada dos REEE para permitir o tratamento adequado;
- ii. Desmontagem e separação em instalações de pré-tratamento, onde deverá ser realizada a remoção de partes contendo substâncias perigosas;
- iii. Aprimoramento das tecnologias de reciclagem.

b) Produto:

- i. Projetos de design do produto a fim de facilitar a sua desmontagem e reciclabilidade;
- ii. Substituição de substâncias perigosas, principalmente retardantes de chama bromados, cádmio, mercúrio, chumbo e PCBs.

c) Consumidor:

- i. Os serviços ecoeficientes, baseados na locação de produtos ou na venda de serviços, apresentam-se como uma abordagem favorável à economia de matérias-primas e demais recursos.

¹⁵ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

5.5.2 Tipos de tratamento e disposição final

Os variados tipos de produtos, em particular os equipamentos eletroeletrônicos, serão, em algum momento, disponibilizados como pós-consumo. Na disposição final segura, estes produtos são encaminhados a um meio controlado que não ocasione danos ao meio ambiente ou ao ser humano. Por outro lado, na disposição não segura, os produtos são submetidos a meios não controlados e dispostos em locais inadequados, como lixões, terrenos baldios, corpos hídricos, entre outros. Caso sejam empregados processos não controlados, a disponibilização de produtos e materiais residuais poderá gerar impactos adversos ao meio ambiente, tendo em vista o potencial de liberação de contaminantes que os REEE apresentam (LEITE, 2009).

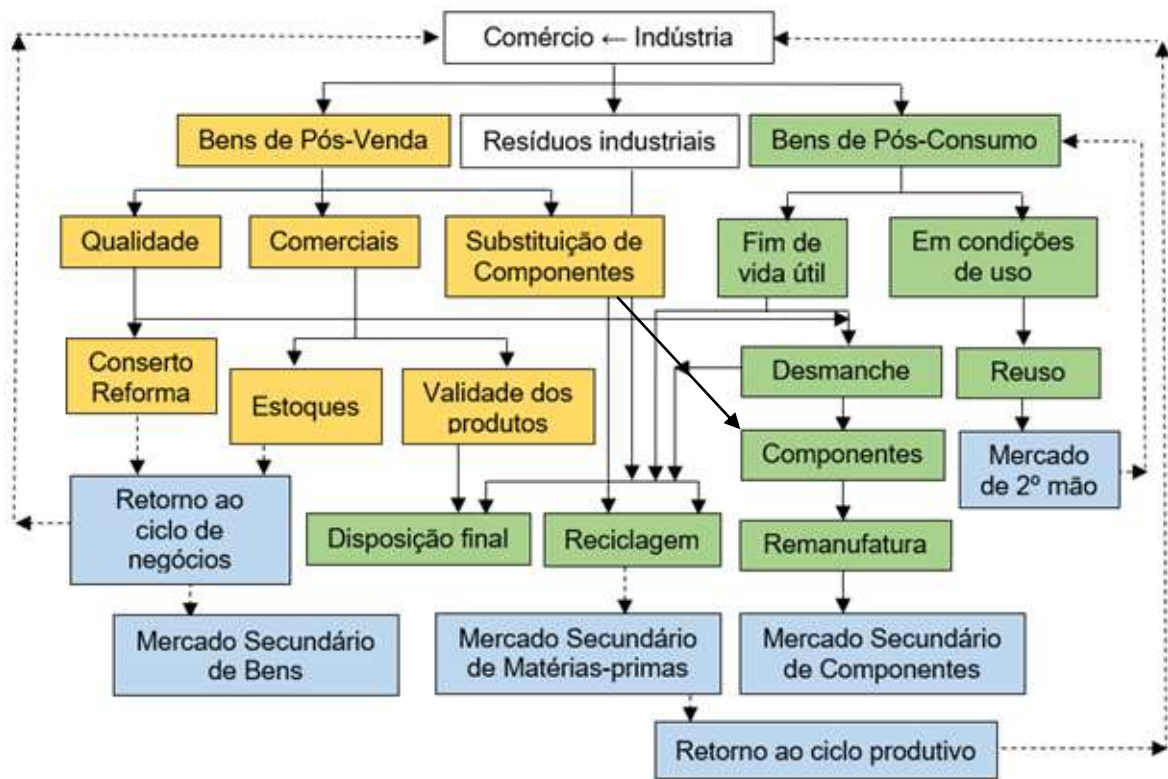
A literatura dispõe de uma série de possibilidades de recuperação dos produtos descartados, com destaque para quatro subsistemas principais: reuso¹⁶, remanufatura, reciclagem de materiais e incineração, os quais irão abastecer as vias de disposição final em aterros sanitários seguros ou a reintrodução dos materiais ao ciclo de produção. Os sistemas de remanufatura e reciclagem proporcionam as condições necessárias para que os componentes e materiais possam ser reintegrados ao ciclo produtivo em substituição às matérias-primas originais, gerando a agregação de valor econômico, ambiental e logístico. Já o sistema de reuso¹⁷ favorece a agregação de valor de reutilização ao produto de pós-consumo, enquanto o sistema de incineração agrega valor econômico em virtude da produção de energia elétrica a partir dos resíduos (LEITE, 2009).

Por meio da Figura 21, é possível observar as principais alternativas de tratamento e disposição final de produtos, destacando-se, na presente pesquisa, as soluções existentes para os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo do tipo máquinas de lavar.

¹⁶ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

¹⁷ Idem ao anterior.

Figura 21 – Tratamento e disposição final de produtos



Fonte: Adaptado de Leite (2002)

Os produtos pós-consumo duráveis (caso das máquinas de lavar) ou semiduráveis no fim de vida útil podem ser encaminhados ao fluxo reverso de remanufatura e reciclagem industrial, sendo submetidos à desmontagem na fase de desmanche e os seus componentes podem ser aproveitados ou remanufaturados, retornando ao mercado secundário ou à própria indústria, que os reutilizará e enviará uma parcela ao fluxo reverso de reciclagem. Com relação aos produtos pós-consumo descartáveis em fim de via útil, se houver condições tecnológicas, econômicas e logísticas, retornam através do fluxo reverso de reciclagem industrial, ocasião em que os materiais que os constituem são reaproveitados e se configuram como insumos que regressam ao ciclo de produção do mercado secundário de matérias-primas. Caso não haja as condições relacionadas anteriormente, os produtos pós-consumo descartáveis são direcionados à disposição final, caracterizada pelos aterros sanitários e incineração. Já os produtos pós-consumo em condições de uso (nos quais há interesse de reutilização, com a extensão da sua vida útil) são

direcionados ao fluxo reverso de reuso¹⁸ em mercado de segunda mão até alcançar o fim da sua vida útil (LEITE, 2009).

5.5.3 Experiências nacionais na gestão de REEE

Em virtude dos grandes volumes gerados e da elevada toxicidade presente em muitos dos seus componentes, o gerenciamento dos REEE é fundamental para a preservação da saúde humana e do meio ambiente.

Algumas cidades brasileiras possuem projetos de coleta e reciclagem, com destaque para o estado de São Paulo por já possuir uma legislação específica para o descarte dos equipamentos eletroeletrônicos. A Lei Estadual nº 13576/09, conhecida como a Lei do Lixo Tecnológico determina que os fabricantes de produtos eletrônicos sejam responsáveis pela reciclagem, gerenciamento, e destinação final do resíduo eletrônico (MAZZOLI, DOMICIANO e VIEIRA, 2013).

Um projeto piloto de cooperação técnica acordado entre os governos do Brasil e Japão possibilitou a implantação de um programa de logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, no bairro da Lapa, na cidade de São Paulo, no mês de abril de 2016. O programa inédito intitulado “Descarte On” foi desenvolvido pela Japan International Cooperation Agency (JICA), órgão do governo japonês responsável por ações que apoiam o crescimento e a estabilidade socioeconômica de países em desenvolvimento e contou com o apoio do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Brasileira de Cooperação (ABC) e a prefeitura de São Paulo, através da Secretaria de Serviços e da AMLURB (Autoridade Municipal de Limpeza Urbana). A iniciativa teve como objetivo proporcionar apoio à implementação da Logística Reversa de REEE no Brasil, em alinhamento com o conceito de responsabilidade compartilhada, promovendo a conscientização da população quanto à destinação adequada dos resíduos. O programa contou com a participação de varejistas, cooperativas e associações do setor eletroeletrônico, e as informações e experiências adquiridas puderam ser utilizadas como referência para a implementação da logística reversa no Brasil (RMAI, 2016a e 2016b).

¹⁸ O termo reuso é compreendido como o reuso direto do produto.

Dois tipos de coleta foram contemplados: um para os REEE de pequeno e médio porte e outro para os REEE de grande porte. Os equipamentos eletroeletrônicos de pequeno e médio porte com dimensões até 0,50 x 0,60 x 0,75 cm (aparelhos de áudio e vídeo, notebooks, celulares, liquidificadores, espremedores de frutas, ferros de passar, entre outros) eram depositados pelo próprio consumidor em caixas de coleta identificadas no interior das lojas participantes no bairro da Lapa. O ineditismo deste projeto consistiu no descarte dos equipamentos eletroeletrônicos de grande porte (televisões, geladeiras, freezers, máquinas de lavar roupas, secadoras e aparelhos de ar condicionado). Ao adquirir um equipamento eletrônico novo, o consumidor poderia agendar a coleta em domicílio do equipamento antigo (do mesmo tipo e na mesma quantidade) mediante o pagamento de uma taxa de R\$ 10,00. Este valor remunerava uma parte do custo de transporte para a coleta, sendo os demais custos cobertos pela JICA (RMAI, 2016a e 2016b).

Com relação aos resultados obtidos, foram coletadas 3.781 unidades de equipamentos eletroeletrônicos de pequeno porte em dez lojas, totalizando 4.050,02 kg, no período de 28 de abril a 31 de dezembro de 2016. Também foram coletados 19 equipamentos eletroeletrônicos de grande porte em residências, totalizando 873,4 kg, no período de 27 de junho a 31 de dezembro de 2016. Os organizadores concluíram que a cooperação das lojas de varejo é fundamental para o funcionamento do programa, já que estas atuam na interface com os consumidores em ambos os tipos de coleta. Além disso, outra conclusão do programa diz respeito à necessidade da utilização de um armazenamento temporário dos equipamentos coletados antes do transporte às empresas recicladoras, em virtude da ampla extensão territorial que o país apresenta (RMAI, 2017).

Em uma pesquisa realizada no mês de janeiro de 2019, observou-se que as informações mais recentes acerca do Projeto On datam do ano de 2016. Não há registros da continuidade deste projeto após este período. O site do programa (<http://descarteon.jica.eco.br/>) encontra-se fora do ar. Não é possível, portanto, verificar a efetividade do programa na atualidade.

5.5.3.1 A logística reversa de REEE no Brasil

A PNRS determina que, na estruturação e implementação dos sistemas de logística reversa, compete aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes garantirem a devolução dos produtos e embalagens após o uso pelos consumidores.

Segundo a PNRS, sempre que os sistemas de logística reversa estiverem estabelecidos, os consumidores são obrigados a acondicionarem os resíduos sólidos gerados de forma apropriada e diferenciada, além de disponibilizarem adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução.

A logística reversa constitui-se em uma ferramenta que viabiliza técnica e economicamente a remanufatura em larga escala. O Decreto nº 7.404 (BRASIL, 2010a), que regulamentou a PNRS, criou o Comitê Orientador para a Implantação de Sistemas de Logística Reversa (CORI), composto pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, que desempenha as funções de Presidência e Secretaria Executiva), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério da Fazenda e Ministério da Saúde. Sua estrutura inclui o Grupo Técnico de Assessoramento (GTA), composto por técnicos dos ministérios que compõem o Comitê Orientador. O CORI e o GTA promovem ações de governo para a implantação de sistemas de logística reversa, implementando a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos através da elaboração de acordos setoriais, regulamentos expedidos pelo Poder Público ou termos de compromisso. (SINIR, s/d; BRASIL, 2010b).

Estes são os três instrumentos que implementam e operacionalizam os canais de retorno nos sistemas de logística reversa. Os acordos setoriais são atos de natureza contratual, firmados entre o Poder Público e os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, objetivando a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto. Os sistemas de logística reversa também podem ser implantados diretamente por regulamento, mediante decreto editado pelo Poder Executivo. Por fim, o Poder Público pode celebrar termos de compromisso com os fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes nas hipóteses em que não houver, em uma mesma área de abrangência, acordo setorial

ou regulamento específico ou ainda para a fixação de compromissos e metas mais exigentes que o previsto em acordo setorial ou regulamento (BRASIL, 2010b).

O CORI criou cinco Grupos de Trabalho Temáticos (GTTs) para discutir as bases de implantação dos sistemas de logística reversa por meio de Acordos Setoriais para as seguintes cadeias (MMA, s/d):

- a) Embalagens plásticas de óleos lubrificantes;
- b) Lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- c) Produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
- d) Embalagens em geral; e
- e) Resíduos de medicamentos e suas embalagens.

O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) indica que os GTTs possuem as tarefas de elaborar as minutas de edital de chamamento para a realização de acordos setoriais e coletar subsídios para a realização de estudos de viabilidade técnica e econômica para implantação de sistemas de logística reversa.

Em 2013, o Ministério do Meio Ambiente publicou o chamamento de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes, para a elaboração de proposta de acordo setorial com objetivo de implantar um sistema de logística reversa dos produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes (MMA, 2013).

Esta proposta de acordo setorial contempla a responsabilização dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes quanto à estruturação e implementação de um sistema de logística reversa mediante o retorno dos produtos após o seu uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos. Considera, também, a obrigação de destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, por meio de reutilização, reciclagem, recuperação ou demais formas de destinação (MMA, 2013).

Dentre as dez propostas de acordo setorial recebidas, quatro foram validadas e uma proposta única foi consolidada em janeiro de 2014, seguindo para fase de consulta pública.

No mês de outubro de 2017, um termo de compromisso para a logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico foi assinado pela Secretaria

de Estado do Meio Ambiente (SMA), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Associação Brasileira Indústria Elétrica Eletrônica (ABINEE) e Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de São Paulo (FECOMERCIO-SP). O compromisso gerado possui uma duração prevista de quatro anos e conta com a empresa Green Eletron como entidade gestora do sistema (SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA, 2017).

O modelo prevê que empresas e lojas recebam, gratuitamente, os equipamentos eletroeletrônicos diretamente dos consumidores em um dos trinta e dois pontos de entrega voluntária (PEV's) localizados no Estado de São Paulo¹⁹. A operadora do sistema encaminha os resíduos coletados para empresas licenciadas pela Cetesb, nas quais os resíduos eletroeletrônicos são submetidos aos processos de desmontagem, descaracterização, segregação por tipo de material, reciclagem, reintrodução da matéria-prima na cadeia produtiva e fabricação de novos produtos para o uso (SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA, 2017 e GREEN ELETRON, s/d).

Os PEV's recebem resíduos como notebooks, impressoras, eletrônicos de escritório, eletrônicos de pequeno porte, celulares, tablets, acessórios de informática, entre outros. A entidade gestora disponibiliza a lista completa dos eletrônicos que podem ser descartados no PEV's²⁰, mas o descarte de equipamentos eletroeletrônicos da linha branca, em particular, das máquinas de lavar, não foi verificado. (GREEN ELETRON, s/d).

Mediante análise dos dados disponibilizados pelos órgãos MMA, SINIR, Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC) da Prefeitura do Rio de Janeiro e Sistema Ambiental Paulista foi elaborada uma síntese da situação de implantação dos sistemas de logística reversa no Brasil, apresentada no Quadro 6.

¹⁹ Em uma pesquisa realizada no site <https://www.greeneletron.org.br/descartegreen> em 06 de janeiro de 2018, foram observados trinta e dois pontos de entrega voluntária (PEV's) no Estado de São Paulo, dos quais vinte e dois estão localizados na capital.

²⁰ Disponível em: <<https://www.greeneletron.org.br/descartegreen>>. Acesso: em 06 jan. 2019.

Quadro 6 – Situação da Logística Reversa no Brasil

Materiais	Legislação de Referência	Situação	Entidade Gestora
Embalagens plásticas de óleos lubrificantes	PNRS	Implantado. Acordo setorial assinado em 19/12/2012.	Instituto Jogue Limpo
Lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista.	PNRS	Implantado. Acordo setorial assinado em 27/11/2014.	Não identificada
Embalagens em geral	PNRS	Implantado. Acordo setorial assinado em 25/11/2015.	Não identificada
Produtos eletroeletrônicos e seus componentes	PNRS	Termo de compromisso assinado no Estado de São Paulo em 16/10/2018	Green Eletron
Medicamentos	Não identificada	Em negociação. Três propostas de acordo setorial recebidas até abril de 2014. A próxima etapa será a Consulta Pública.	Não identificada
Embalagens de agrotóxicos	Resolução CONAMA nº 465/2014, Lei 7802/89, Lei nº 9974/00 e Decreto nº 4072/02.	Implantado.	Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (inpEV)
Óleo lubrificante usado ou contaminado	Resolução CONAMA nº 362/2005	Implantado.	Sindicato Nacional da Indústria do Refrefino de Óleos Minerais (Sindirrefino)
Pilhas e baterias	Resolução CONAMA nº 401, de 04/11/2008 e Instrução Normativa IBAMA nº 8, de 30/09/2012	Parcialmente implantado.	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e outros
Pneus	Resolução CONAMA nº 416/2009 e Instrução Normativa IBAMA nº 1, de 18/10/2010	Implantado com limitações.	Reciclanip

Fonte: MMA (s/d), SINIR (s/d), SMAC (2016) e Sistema Ambiental Paulista (2017)

Desta forma, o marco regulatório da logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico representado pela assinatura do seu termo de compromisso em outubro de 2017 constitui-se como a experiência nacional mais consolidada na gestão dos equipamentos eletroeletrônicos.

A logística reversa dos resíduos eletroeletrônicos tem encontrado dificuldades para tornar-se um instrumento de desenvolvimento social e econômico, devido ao nível de sofisticação dos materiais e aos seus elevados custos de coleta e restituição aos geradores. Desta forma, um ponto de atenção para a implantação da logística reversa no Brasil é a necessidade da criação de incentivos econômicos às cadeias de reciclagem de materiais e recuperação de produtos, de modo a reduzir

os custos envolvidos (SARAIVA, 2012). É necessário, também, que o governo intensifique o controle ambiental nas empresas a fim de fiscalizar a implantação e operação das cadeias de fluxo reverso de produtos, assegurando o cumprimento da legislação vigente.

Além disso, a regulamentação das questões fiscais e tributárias é mais um ponto a ser discutido de forma a permitir a desoneração na manipulação dos resíduos e, desta forma, viabilizar a operacionalização da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil. O governo possui um papel fundamental na implantação e expansão da logística reversa no país através do apoio às boas práticas empresariais e da criação de instrumentos fiscais uniformes que facilitem a movimentação dos produtos retornados, os quais, em muitas ocasiões, necessitam transitar por mais de um estado da federação até chegar ao seu destino (SARAIVA, 2012).

Quanto à questão tributária, a falta de consenso na diferenciação de produto e resíduo acarreta dificuldades para a implantação da logística reversa dos equipamentos eletroeletrônicos, visto que há controvérsias se os materiais retornados são considerados produtos, resíduos ou rejeitos, passíveis ou não de tributação. O Governo Federal vem atuando na implantação de sistemas de tributação diferenciados para as organizações que utilizam resíduos como matérias-primas ou produtos intermediários na fabricação de seus produtos, através da regulamentação da concessão de crédito presumido de IPI²¹ na aquisição desses resíduos sólidos. Outro instrumento que poderia incentivar os fabricantes quanto à utilização de materiais reciclados é o estabelecimento de um tratamento tributário diferenciado (como ICMS²², PIS/COFINS²³, entre outros) para os produtos que contenham tais características, em uma medida que traria benefícios aos consumidores e ao meio ambiente. (SARAIVA, 2012).

5.5.3.2 Motivações para a logística reversa de REEE no Brasil

A regulamentação da PNRS criou oportunidades de negócios para diversas empresas que passaram a oferecer os serviços de logística reversa dentro da

²¹ IPI: Imposto sobre Produto Industrializado

²² ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

²³ PIS/COFINS: Programas de Integração Social / Contribuição para Financiamento da Seguridade Social.

perspectiva de economia circular, isto é, não apenas sob a ótica da reciclagem, mas também estimulando o “repensar” de todo o processo de geração do produto, desde o seu modelo conceitual até a sua comercialização.

As operações de logística reversa vêm crescendo em todo o mundo, à medida que apresentam o potencial de contribuir de forma decisiva estratégica e operacionalmente para a recaptura de valor econômico, agregação de valor de prestação de serviços, reforço da imagem empresarial, dentre outros aspectos. Muitos e variados são os interesses empresariais para o retorno dos produtos e materiais. As principais motivações estratégicas que estimulam as empresas a implantarem programas de logística reversa estão diretamente relacionadas a ganhos de competitividade nos negócios ou a requisitos ambientais legais, dentre as quais destacam-se as seguintes: interesses econômicos (quando o fator preponderante é o retorno financeiro através de algum tipo de reaproveitamento de produtos ou matérias-primas); atendimento à legislação, obrigando o retorno; interesse na satisfação dos clientes, com a sua fidelização; interesse na proteção da marca ou imagem corporativa (quando o retorno garante a não falsificação ou manutenção da reputação empresa); e cumprimento de normas ambientais que satisfaçam as relações comerciais entre empresas (LEITE, 2009 e 2012).

Segundo Leite (2009), o objetivo econômico da implantação de um sistema de logística reversa de produto pós-consumo é a revalorização econômica do bem através do reaproveitamento dos materiais que o constituem e das economias oriundas da sua utilização, uma vez que substituem as matérias-primas originais.

Lacerda (2002) aponta que as atividades de reciclagem e reaproveitamento de produtos e embalagens têm aumentado em escopo e escala e descreve as seguintes causas:

- a) Ambientais: cada vez mais, a legislação ambiental evolui quanto à responsabilização das empresas por todo ciclo de vida de seus produtos, incluindo a destinação final dos resíduos gerados e os impactos que os mesmos produzem no meio ambiente. Além disso, o autor relata o aumento da conscientização ambiental dos consumidores e as expectativas que possuem de redução dos impactos ambientais negativos dos processos produtivos como fatores de incentivo ao desenvolvimento de atividades de recuperação de produtos;

- b) Concorrência (diferenciação por serviço): há uma expectativa por parte de muitas empresas de que os clientes valorizam as companhias que possuem políticas de devolução de produtos mais flexíveis;
- c) Redução de custo: muitas empresas vêm se beneficiando de ganhos expressivos com o desenvolvimento de iniciativas de logística reversa, apresentando economias com a utilização de embalagens retornáveis ou com o reaproveitamento de materiais, que justificam os investimentos realizados.

5.5.4 Experiências internacionais na gestão de REEE

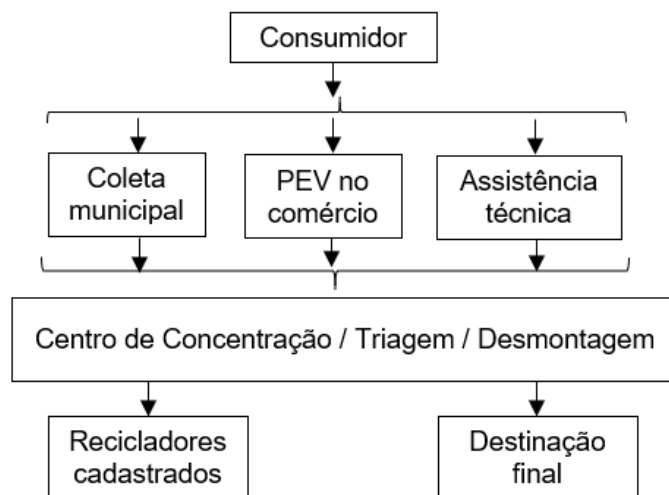
Vários países vêm demonstrando iniciativas na implementação de sistemas de logística reversa, como Japão e Estados Unidos, com destaque para os países da Comunidade Europeia devido à elaboração de importantes diretivas relacionadas ao tema. A Diretiva 2012/19/EU estabelece medidas de proteção ao ambiente e à saúde humana, prevenindo ou diminuindo os impactos negativos oriundos da geração e gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (European Commission, 2012).

A legislação europeia é uma resposta ao cenário de crescimento exponencial das quantidades de produtos eletroeletrônicos, sendo que, no ano de 2004, apenas a Europa Ocidental acumulou 10 milhões de toneladas, com expectativas otimistas de dobrar a cada década. As diretrizes WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive – Diretiva de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos) e RoHS (Restriction on the use of Hazardous Substances – Restrições sobre o uso de Substâncias Perigosas) adotadas pela União Europeia preconizam a utilização do princípio do “poluidor pagador”, responsabilizando os fabricantes, distribuidores, comerciantes e importadores de bens eletroeletrônicos pelo ciclo de vida dos produtos e seus componentes (LEITE, 2009).

A Diretiva WEEE trata da logística de devolução dos produtos, atribuindo ao produtor e demais empresas envolvidas a responsabilidade e os custos inerentes. Já a diretriz RoHS determina os limites às quantidades de materiais nocivos ao meio ambiente e determina as responsabilidades dos fabricantes quanto à redução e eliminação de materiais como metais pesados, entre outros (LEITE, 2009).

O modelo europeu manifestado na Diretiva WEEE, demonstrado na Figura 22, baseia-se no conceito de responsabilidade estendida ao consumidor, determinando padrões mínimos de tratamento de resíduos, metas de coleta e reciclagem. Após o seu consumo, os equipamentos eletroeletrônicos gerados pelos consumidores podem ser direcionados à coleta municipal, assistência técnica ou dispostos em Pontos de Entrega Voluntários (PEV's). Em seguida, são encaminhados aos centros de operação para triagem e desmontagem das peças e componentes. Os materiais em condição de recuperação seguem para a reciclagem, enquanto os demais são direcionados à destinação final ambientalmente adequada.

Figura 22 – Modelo europeu de logística reversa de eletroeletrônicos



Fonte: Adaptado de Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014)

No Japão, a legislação exige que equipamentos eletrodomésticos como ar condicionado, refrigeradores, televisores e máquinas de lavar roupas sejam coletados e reciclados pelo comércio no momento em que há a venda de uma nova unidade, em uma operação financiada pelos fabricantes e importadores. A diferença entre os modelos europeu e japonês está na forma de financiamento. No Japão, é cobrada uma taxa para a devolução do equipamento, enquanto na Europa a tarifa é cobrada na venda do produto (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

Nos Estados Unidos, as legislações sobre produtos duráveis intensificaram a atribuição da responsabilidade aos produtores sobre o canal reverso de seus produtos, através de programas de “take back” de seus produtos. Os fabricantes são

responsabilizados pela organização das cadeias reversas dos produtos após seu fim de vida, organizando a coleta, desmontagem e reciclagem ou reuso dos componentes de produtos como eletrodomésticos, automóveis, mobiliário, pneus, entre outros materiais. A rede de distribuição direta dos bens utiliza diversos sistemas para incentivar os canais reversos, como o depósito monetário obrigatório exigido no momento da compra do produto (de forma a garantir o seu retorno após o uso) e taxas monetárias adicionais ao preço de venda do produto para fundos de pesquisa de reciclagem (LEITE, 2009).

6. A INDÚSTRIA DE MÁQUINAS DE LAVAR E OS SEUS RESÍDUOS

6.1 Caracterização do mercado brasileiro de máquinas de lavar

A Portaria Inmetro nº 185/2005 define máquina de lavar roupas como sendo o aparelho para limpeza e enxague de material têxtil utilizando água, sendo possível a existência de dispositivos para a retirada do excesso de líquido. Define, ainda, quatro categorias de máquinas de lavar: tipo agitador (em que o tecido é totalmente imerso na água de lavagem e a ação mecânica é gerada por um agitador que se move em torno ou ao longo do seu eixo); tipo tambor horizontal (em que o tecido é disposto em um recipiente horizontal e parcialmente imerso na água de lavagem e a ação mecânica é produzida pela rotação do recipiente em torno do seu eixo); tipo impulsor (em que o tecido é totalmente imerso na água de lavagem e a ação mecânica é gerada por um impulsor girando em torno do seu eixo); e lavadora-secadora (em que são adicionadas as funcionalidades de extração de água por centrifugação e secagem do tecido, em geral por meio de aquecimento e tamboreamento) (INMETRO, 2012).

O Quadro 7 apresenta os fabricantes e as marcas de máquinas de lavar roupas comercializados no Brasil identificados a partir de dados de publicações do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) de 2018. As máquinas de lavar no mercado nacional são do tipo: lavadoras de roupas semiautomáticas; lavadoras de roupas automáticas com abertura superior (“top load” ou carregamento pelo topo), lavadoras automáticas com abertura frontal (“front load” ou carregamento frontal), lavadoras e secadoras automáticas com abertura superior; e lavadoras e secadoras automáticas com abertura frontal. É possível observar um total de vinte e quatro fabricantes de máquinas de lavar no Brasil.

Quadro 7 – Máquinas de lavar roupas no mercado brasileiro

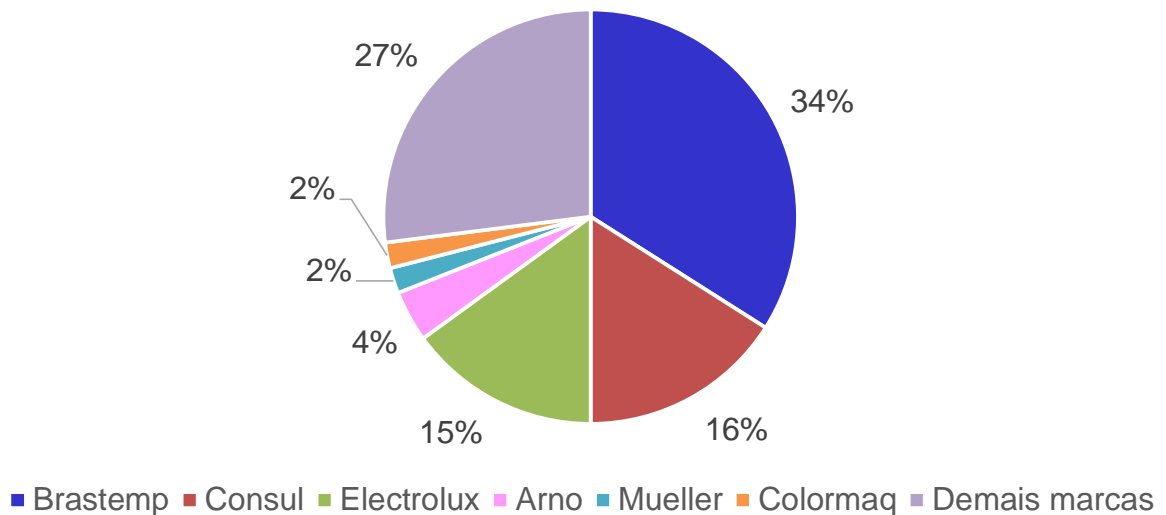
Lavadoras Semiautomáticas		Lavadoras Automáticas com Abertura Superior (Top Load)		Lavadoras Automáticas com Abertura Frontal (Front Load)	
Fabricantes	Marcas	Fabricantes	Marcas	Fabricantes	Marcas
Colorvisão	Colormaq	Alliance	Speed Queen	Alliance	Speed Queen
Fabinject	Praxis	Colorvisão	Colormaq	Electrolux	Electrolux
Fioreta	Fioreta	Electrolux	Electrolux	LG Electronics do Brasil	LG
Indeletro	Indeletro	Esmaltec	Esmaltec	Samsung	Samsung
Kin	Kin	LG Electronics do Brasil	LG	Whirlpool	Brastemp *
Latina	Latina	Mueller	Mueller	Lavadora e Secadora Automáticas com Abertura Superior (Top Load Lava e Seca)	
Lave Maq	Lave maq	Mabe	Continental *		
Lavemais	Lavemais	Mabe	GE *	Fabricantes	Marcas
Libell	Libell	Panasonic	Panasonic	Electrolux	Electrolux *
Mueller	Mueller	Samsung	Samsung *	Panasonic	Panasonic
Newmaq	Newmaq	Whirlpool	Brastemp	Lavadora e Secadora Automáticas com Abertura Frontal (Front Load Lava e Seca)	
SEB do Brasil	Arno	Whirlpool	Consul		
Suggar	Suggar			Alliance	Speed Queen
Vanguard	Vanguard *			Electrolux	Electrolux
Wanke	Wanke			LG Electronics do Brasil	LG
Whirlpool	Brastemp			Midea Washing Appliances	Midea
Whirlpool	Consul *			Mueller	Mueller
				Panasonic	Panasonic
				Samsung	Samsung

Fonte: A autora (2018), a partir de Inmetro (2018)

* Fora de linha

Anualmente, o instituto Datafolha conduz uma pesquisa para identificar quais são as marcas mais lembradas pelos brasileiros em diversas categorias de produtos e serviços, e estes resultados são publicados no Jornal Folha de São Paulo. No quesito máquinas de lavar roupas, a Brastemp é a campeã do mercado, com 34% das lembranças, seguida pela Consul (com 16% das menções à marca). Ambas as marcas pertencem à fabricante Whirlpool, sendo que a principal diferença entre elas consiste na estratégia de venda de cada uma: a campeã está comprometida com o uso do que há de mais moderno em design e tecnologia, enquanto o foco da segunda é a garantia de preços acessíveis. Na terceira posição no mercado de máquinas de lavar encontra-se a fabricante Electrolux (15%), seguida pela Arno (4%) e Mueller e Colormarq (2% cada), conforme ilustrado na Figura 23 (FOLHA de SÃO PAULO).

Figura 23 – Ranking das marcas de máquina de lavar no mercado nacional



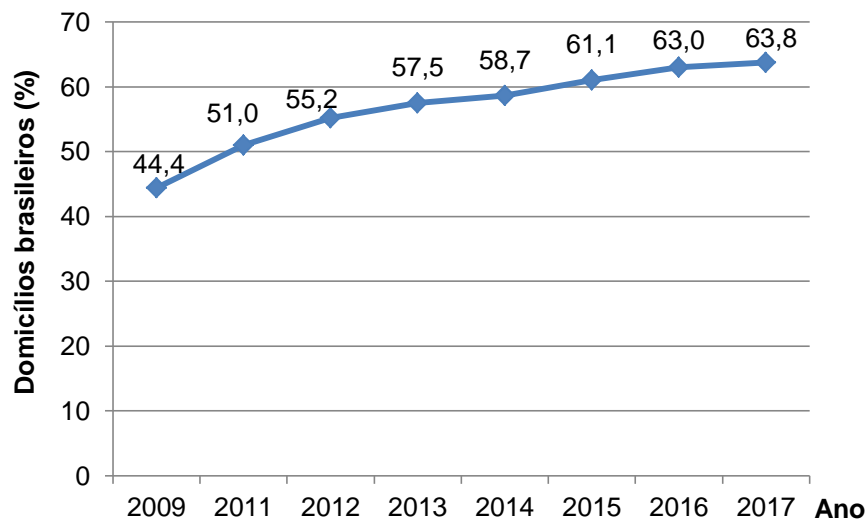
Fonte: A autora (2019), a partir de Folha de São Paulo (2018)

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015 e IBGE, 2017), 44,5 milhões de domicílios brasileiros contam com a presença de máquinas de lavar roupas, o que representa sua presença em 63,8% dos lares do país. Como cada um destes domicílios dispõe, geralmente, de apenas uma unidade, é razoável admitir que, a cada 10 anos (correspondente ao ciclo de vida de um destes equipamentos, segundo ABDI, 2013), 44,5 milhões de máquinas de lavar são

descartadas ao fim da sua vida útil, havendo, portanto, um potencial significativo de recuperação destes equipamentos por meio de processos de remanufatura.

A Figura 24 demonstra a participação percentual das máquinas de lavar nos domicílios brasileiros no período de 2009 a 2017. É possível observar que este equipamento eletroeletrônico é um bem durável que apresenta uma penetração crescente nos lares brasileiros.

Figura 24 – Participação das máquinas de lavar nos domicílios do Brasil (%)



Fonte: A autora (2019), a partir de IBGE (2015 e 2017)

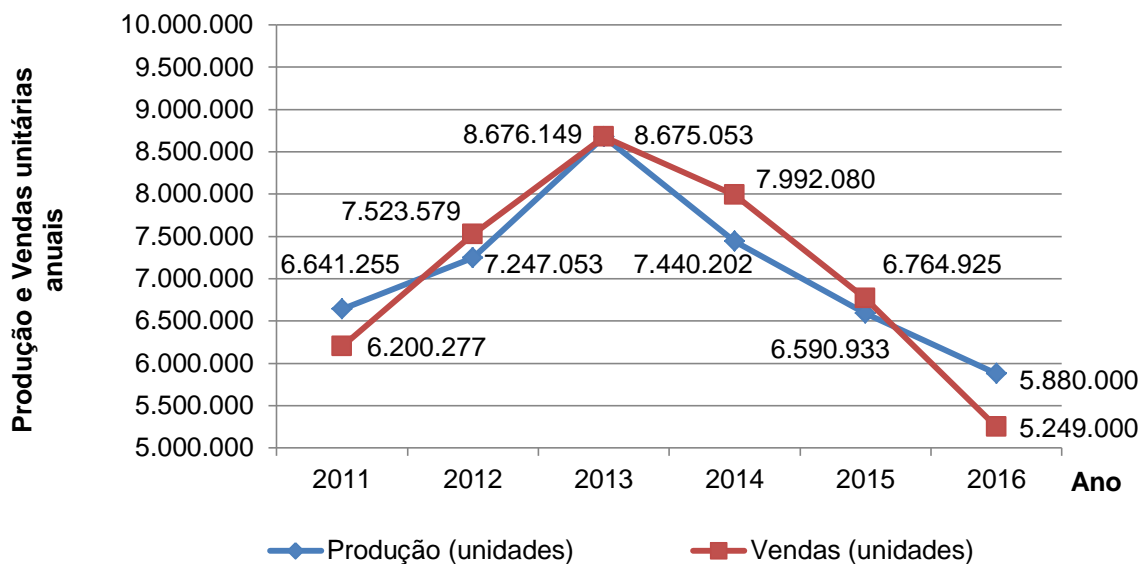
A intensa presença das máquinas de lavar nas residências e o crescimento do consumo destes equipamentos eletroeletrônicos demonstrado na Figura 25 permitem concluir que a geração e, conseqüentemente, o descarte destes resíduos tendem a aumentar. Portanto, soluções alternativas à destinação final convencional (a qual é baseada em aterros sanitários e lixões) que visem a recuperação dos componentes e materiais das máquinas de lavar e a sua reintrodução aos ciclos produtivos são essenciais à garantia da preservação ambiental.

6.2 Geração e descarte de resíduos de máquinas de lavar

Dados da Pesquisa Industrial Anual-Produto (PIA-Produto) divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE, 2016) corroboram para a análise realizada do mercado brasileiro de máquinas de lavar. A Figura 25 apresenta os resultados de produção e vendas de máquinas de lavar entre os anos de 2011 e 2016. Entre os

anos de 2011 e 2014, a produção de máquinas de lavar foi positivamente influenciada pelo incentivo fiscal promovido pelo governo de redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) da linha branca²⁴, favorecendo o consumo da população. Na Figura 25, é possível observar que a produção e comercialização de máquinas de lavar apresentavam crescimento até o ano de 2013, momento em que passaram a ser verificadas quedas constantes nas quantidades produzidas e vendidas.

Figura 25 – Produção e vendas unitárias de máquinas de lavar no Brasil



Fonte: A autora (2019), a partir de IBGE (2016)

Conforme verificado na análise do mercado nacional de EEE, a produção de toda esta indústria sofreu forte retração a partir do ano de 2014, com o início da crise econômica no Brasil. No entanto, a indústria eletroeletrônica demonstrou retomada no seu crescimento a partir do ano de 2017 (com incrementos de 6% na produção e 5% nas vendas em relação ao ano anterior) e a previsão para o ano de 2019 é de acréscimos de 7% e 8% na produção e no faturamento, respectivamente. Portanto, a tendência é que os próximos dados divulgados pela PIA-Produto referentes às

²⁴ Redução do IPI da linha branca verificada a partir do ano de 2009, influenciando a produção e as vendas de máquinas de lavar no período demonstrado no gráfico (2011 a 2014). Disponível em: <<https://www.redebrasilatual.com.br/economia/2014/01/ipi-para-linha-branca-continua-por-tempo-indefinido-6310.html>>. (REDE BRASIL ATUAL, 2014). Acesso em 18 mar. 2019; e em <<https://economia.ig.com.br/2015-08-20/setores-com-as-maiores-isencoes-no-ipi-sao-os-que-mais-sofrem- hoje.html>>. (IG – BRASIL ECONÔMICO, 2015). Acesso em 18 mar. 2019.

quantidades produzidas e vendidas de máquinas de lavar a partir de 2017 demonstrem uma tendência de recuperação do crescimento.

No ano de 2016 foram produzidas, aproximadamente, 5.880.000 unidades de máquinas de lavar. Como a ABDI (2013) estima o peso médio de uma máquina de lavar roupas em 36,512 kg, é possível concluir que, anualmente, são geradas mais de 214 mil toneladas de resíduos eletroeletrônicos oriundos das máquinas de lavar. Esta é uma estimativa conservadora, visto que a indústria de EEE encontrava-se retraída no ano analisado. Com a retomada prevista das vendas, a tendência é que a quantidade de resíduos gerados pelo descarte de máquinas de lavar seja superior à atual. Este cenário reforça a necessidade de se desenvolver soluções para a recuperação destes materiais e a sua reintegração aos ciclos produtivos como estratégia de promoção do desenvolvimento sustentável.

6.3 Decomposição da máquina de lavar em seus elementos

NYGÅRDS e BERBYUK (2011) descrevem uma máquina de lavar como um complexo sistema mecatrônico em que válvulas, bombas, aquecedores e motores são supervisionados com controladores integrados baseados em informações do sensor tais como níveis de água, temperaturas, inércia de carga e movimento da cuba.

A máquina de lavar é composta pelos seguintes elementos: tambor (cesto), cuba (tanque), cabine (carcaça ou gabinete), rotor²⁵, pistões do suporte de suspensão e cilindros do suporte de suspensão (NYGÅRDS e BERBYUK, 2011). Apresenta, ainda, molas de suporte e estabilizadoras, pistões amortecedores, buchas e pés de borracha, conforme ilustrado na Figura 26. Estudos da organização Wrap (2011b) acrescentam componentes como o contrapeso de concreto, polias, gaxetas, elementos de aquecimento elétrico e controles eletrônicos.

²⁵ Um motor é composto por duas partes principais: rotor e estator. O rotor é uma haste que gira em torno do próprio eixo ao entrar em contato com o campo magnético gerado pelo estator. O estator é um anel metálico contendo bobinas de fio pelas quais passa uma corrente alternada produzindo um campo magnético rotativo (CITISYSTEMS, s/d). Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

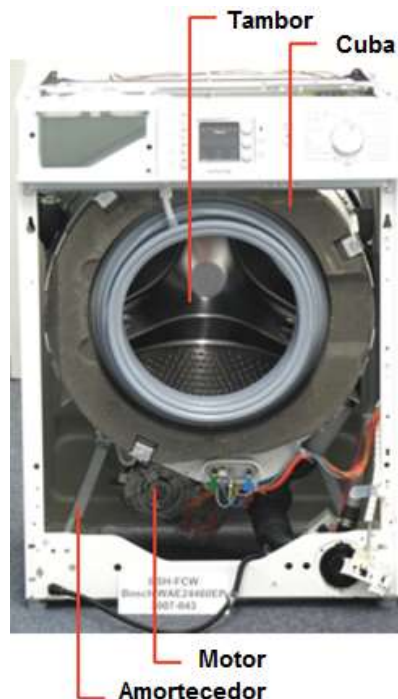
Figura 26 – Estrutura interna de uma máquina de lavar



Fonte: Nygård e Berbyuk (2011)

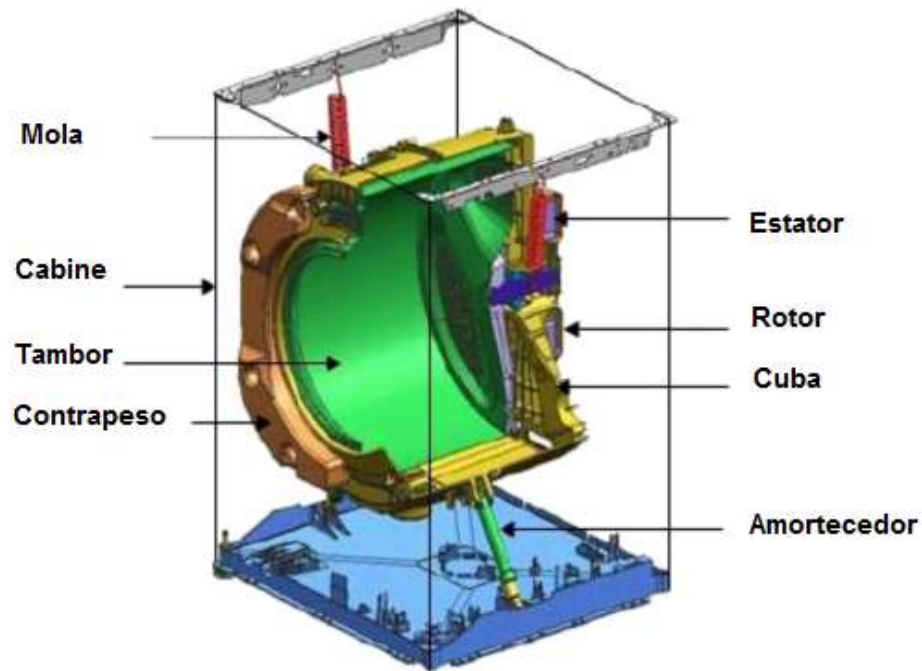
Nguyen et al. (2014) relatam que uma máquina de lavar é composta pelo cesto suspenso ligado à cabine por duas molas e dois amortecedores. O rotor é conectado diretamente ao tambor, que gira contra a cuba enquanto um estator está fixado na parte de trás da cuba. Quando o tambor gira, a vibração do conjunto da cuba é transmitida para o gabinete através das molas e amortecedores. As Figuras 27 e 28 ilustram as visões frontal e tridimensional de uma máquina de lavar.

Figura 27 – Vista frontal de uma máquina de lavar



Fonte: Gödecker et al. (2009)

Figura 28 – Diagrama esquemático tridimensional de uma máquina de lavar



Fonte: Nguyen et al. (2014)

O tambor encontra-se em uma cuba de água suspensa no interior da carcaça do equipamento com o objetivo de limitar a propagação de vibrações para o equipamento e estrutura em que o mesmo se encontra apoiado. Durante o ciclo de lavagem, água e detergente são adicionados à cuba. Com o movimento rotativo do tambor, um fluxo de água e detergente é gerado para a lavagem das roupas (NYGÅRDS e BERBYUK, 2011).

A entrada de água ocorre através de uma válvula. Durante a agitação, a água circula do cesto para o tanque e retorna para o interior do cesto em um movimento contínuo gerado pelo movimento do cesto. Após os ciclos de agitação e repouso, a água é drenada e o processo de enxague é iniciado. A máquina de lavar recebe água limpa e inicia a centrifugação. Ao final do processo, as roupas estão prontas para secagem em secadora ou varal (ELECTROLUX, s/d).

O Anexo 1 apresenta uma máquina de lavar fabricada no Brasil pela Electrolux modelo toap load LM08/LM08A com capacidade de 8 kg e peso total de 50,4 kg desmontada e decomposta em suas peças. Seu gabinete é fabricado em chapa de aço zincado (com tratamento galvanizado e pintura epóxi); o tanque, o cesto e a tampa são constituídos por plástico polipropileno, sendo a tampa formada, ainda, por vidro temperado; e os pés são fabricados em plástico poliestireno (ELECTROLUX, s/d).

A durabilidade de uma máquina de lavar pode ser medida em ciclos de lavagem, que variam de 2.000 para máquinas básicas a 10.000 para máquinas de alta qualidade. A média da indústria para máquinas de lavar domésticas é de 250 ciclos por ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

6.4 Composição básica das máquinas de lavar

Rosenthal et al. (2016) estimaram em onze anos o tempo de vida útil de uma máquina de lavar. Esta estimativa encontra-se muito próxima da análise realizada por Araújo et al. (2012), os quais consideraram o ciclo de vida de uma máquina de lavar em dez anos. Além disso, estes autores avaliaram o peso médio de uma máquina de lavar roupas em 40 kg, enquanto a ABDI (2013) estimou em 36,512 kg.

Já Stahel (1992) identificou os principais componentes de uma máquina de lavar utilizando como base uma unidade com peso aproximado de 78,5 kg (contendo a embalagem).

É possível verificar que esta referência é muito superior ao peso médio verificado no mercado brasileiro por Araújo et al. (2012) e ABDI (2013). Uma possível explicação consiste no fato de que, de forma geral, os equipamentos fabricados no Brasil são dotados de muitos componentes plásticos, enquanto, muitas vezes, os produtos fabricados em outros países são compostos por materiais mais resistentes, como ferro e aço. Uma segunda explicação possível para a ampla diferença de pesos identificada reside no fato de que vinte anos separam o estudo de Stahel (1992) em relação aos trabalhos de Araújo et al (2012) e ABDI (2013). Neste longo período de tempo, a tecnologia de fabricação pode ter sofrido alguma alteração que tenha ocasionado a diminuição do peso de uma máquina de lavar.

De fato, analisando a composição de materiais em uma máquina de lavar de 78,5 kg apresentada na Tabela 2, é possível observar que os componentes de ferro e aço representam 36,8 kg, ou seja, 49% do peso total.

Tabela 2 – Composição de materiais em uma máquina de lavar

Materiais	Peso (kg)	Peso (%)
METAIS	42,32	54%
Ferro	23,2	
Ferro fundido	3,8	
Aço	6,2	
Aço cromado	5,4	
Alumínio	1,9	
Cobre e latão	1,8	
Outros metais não-ferrosos	0,1	
PLÁSTICOS	6,76	9%
Estireno	2,1	
Poliiolefinas	1,3	
PVC	0,7	
Poliamida	0,4	
Outros	0,35	
Compostos plásticos	0,51	
Plásticos e aditivos	1,4	
BORRACHA	1,6	2%
OUTROS MATERIAIS	27,82	35%
Cimento	21,9	
Papelão	2,3	
Madeira	2,5	
Outros materiais	1	
Vidro	0,1	
TOTAL	78,5	100%

Fonte: Modificado de Stahel (1992)

Portanto, para Stahel (1992), uma máquina de lavar contém quantidades significativas de metais (54%), 9% de plásticos, 2% de borracha, 28% de cimento (concreto), 3% de papelão, 3% de madeira, 0,1% de vidro e o restante (aproximadamente 1%) composto por outros materiais.

Segundo estudos conduzidos pela organização Wrap (2011a), que oferece serviços relacionados à economia circular e eficiência de recursos no Reino Unido, uma máquina de lavar é tipicamente composta por 29% de aço, 28% de concreto, 17% de ferro fundido, 3% de alumínio e 23% de outros materiais²⁶.

Park et al. (2006) enumeraram os componentes de uma máquina de lavar de 39,4 kg e os seus respectivos pesos, conforme pode ser observado na Tabela 3. Ao

²⁶ Presume-se que estes percentuais estejam apresentados em peso.

citar “balanço”, entende-se que o autor esteja se referindo ao componente “contrapeso”, enquanto o “tambor” está contido em outros (aço).

Tabela 3 – Componentes de uma máquina de lavar

Componente	Peso (kg)	Peso (%)
Cuba	3,5	9%
Tampa	2,4	6%
Balanço	2,3	6%
Outros (ABS)	5,5	14%
Cabine	11,6	29%
Outros (aço)	1,6	4%
Motor	4,7	12%
Embreagem	3,5	9%
Condensador	0,2	1%
Transformador	0,6	2%
Partes elétricas pequenas	1,0	3%
Mangueira	1,0	3%
Fios elétricos	1,0	3%
Placa de circuito impresso	0,5	1%
Peso total	39,4	100%

Fonte: Modificado de Park et al. (2006)

A cuba e o balanço são formados por polipropileno, totalizando 5,8 kg, o que representa, aproximadamente, 15% do peso total de uma máquina de lavar. O polímero ABS (Acrlonitrila-butadieno-estireno) está presente na tampa e em outros materiais, correspondendo a 7,9 kg ou 20% do peso total. Já o aço está presente na cabine e em outros materiais, representando 13,2 kg, ou 33% do peso total do equipamento. Portanto, para Park et al., 35% de uma máquina de lavar de 39,4 kg é composta por plásticos, em face dos 9% relatados por Stahel (1992).

Como o peso médio do equipamento analisado por Park et al. (2006) é muito próximo ao peso médio brasileiro (36,5 kg, segundo a ABDI, 2013 e 40,0 kg, de acordo com Araújo et al., 2012), é possível inferir que as máquinas de lavar nacionais possuem composição característica mais semelhante às máquinas que contém mais plásticos em sua constituição em detrimento daquelas que contém quantidades maiores de metais (como a analisada por Stahel, 1992).

7 AVALIAÇÃO DA REMANUFATURA PARA O CASO DAS MÁQUINAS DE LAVAR

7.1 Características da remanufatura das máquinas de lavar

Tradicionalmente, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos são encaminhados à disposição final em aterros sanitários ou lixões ao término do seu ciclo de vida, sendo simplesmente descartados como resíduos sólidos urbanos (RSU). A presente pesquisa aborda a aplicação da remanufatura para o reaproveitamento das peças que compõem os equipamentos e a reintrodução das mesmas como matérias-primas para a geração de produtos com valor agregado, prolongando o ciclo de vida dos materiais em uma abordagem “do berço ao berço”.

Do universo de resíduos eletroeletrônicos gerados, definiu-se como objeto de estudo deste trabalho o caso das máquinas de lavar roupas após o seu consumo e descarte pela sociedade, em virtude dos elevados volumes gerados e da tendência de crescimento da produção e, conseqüentemente, do descarte destes materiais.

Sundin e Lee (2011) realizaram um levantamento bibliográfico do estado da arte da remanufatura de máquinas de lavar, entre outros equipamentos, analisando os produtos, os limites dos sistemas, métodos de medição e resultados ambientais. Os autores identificaram doze estudos no período de 2001 a 2010 comparando os processos de remanufatura, reciclagem e nova produção nos casos de bens como máquinas de lavar, refrigeradores, máquinas de lavar louças, refrigeradores, fotocopiadoras, toner, cartuchos, empilhadeiras, motores a diesel, alternadores, caixas de transmissão, entre outros. Para efeito da presente pesquisa, estão destacados na Tabela 4 os dois estudos identificados por Sundin e Lee (2011) relacionados à remanufatura de máquinas de lavar roupas.

Tabela 4 – Estudos de remanufatura de máquinas de lavar roupas identificados na literatura

Estudos	Limites do sistema	Medição	Opção preferível
Sundin e Tyskeng (2003)	Remanufatura (Rem): transporte, embalagem. vs Reciclagem (Rec): serviço, coleta, reciclagem de material. vs Nova produção (NP): produção	Recursos materiais (RM), Recursos energéticos (RE), Gases de efeito estufa (GEE), Gases acidificantes (GA), Gases de ozônio ao nível do solo (GoS), Compostos de eutrofização (CE), Resíduos Perigosos (RP), Resíduos gerais (RG).	RM; RE; GEE; CE; RG: Reciclagem GA; GoS; RP: Remanufatura
Boustani et al. (2010)	Ciclo de vida completo com remanufatura e uso vs Nova produção incluindo o uso	Consumo de energia	Remanufatura economiza 44%

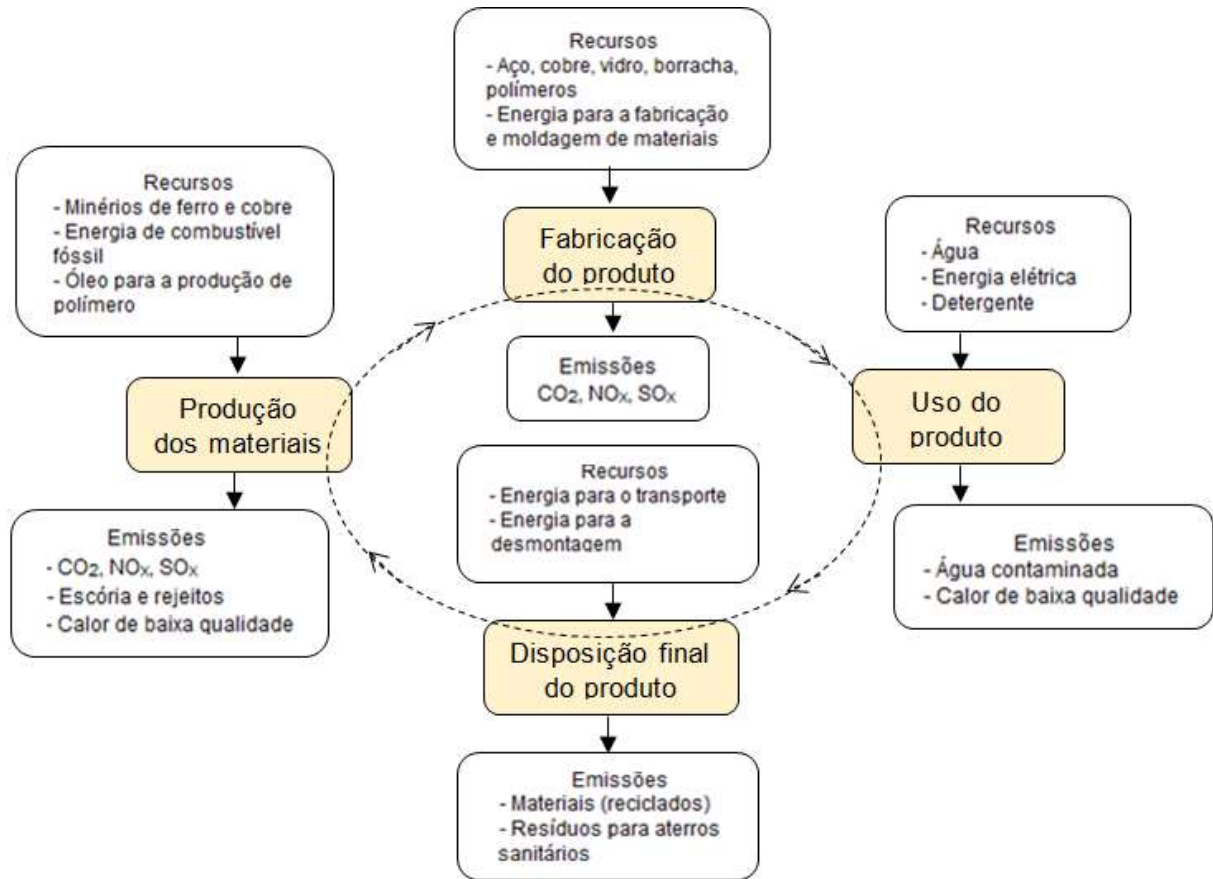
Fonte: Modificado de Sundin e Lee (2011)

Para o caso das máquinas de lavar, é possível observar que o processo de remanufatura é preferível nas categorias de emissão de gases acidificantes, gases de ozônio ao nível do solo e geração de resíduos perigosos, além de gerar uma economia de 44% no consumo de energia. Além disso, Sundin e Tyskeng (2003) estimaram que a energia requerida para a produção de uma máquina de lavar é de 750 kWh, enquanto a sua remanufatura requer apenas 24 kWh.

7.2 Casos especiais para a remanufatura das máquinas de lavar roupas

A Figura 29 ilustra o ciclo de vida de uma máquina de lavar e os principais recursos naturais utilizados e emissões relacionadas a cada fase. Tanto a etapa de produção de matéria-prima quanto de manufatura da máquina de lavar requerem energia oriunda de carbono e minérios. Na produção da máquina de lavar, são necessários, ainda, aço, cobre, plástico e borracha. A etapa de uso apresenta consumo de água, energia e detergente, com a emissão de efluente líquido contaminado. Na etapa de disposição final da máquina de lavar, há o consumo de energia para o transporte e desmontagem do equipamento; como saída, têm-se o envio de materiais para a reciclagem e de resíduos para os aterros sanitários.

Figura 29 – Os principais recursos e emissões relacionados ao ciclo de vida de uma máquina de lavar



Fonte: Modificado de Ashby (2013)

O sistema estudado neste trabalho tem como limites a produção de materiais, a fabricação da máquina de lavar e a sua disposição final, de forma a possibilitar uma análise comparativa com o processo de remanufatura quanto aos recursos utilizados e os impactos gerados em cada estratégia. Tendo em vista que os impactos ambientais são maiores nas etapas de consumo de matérias-primas e descarte, a fase de uso das máquinas de lavar não apresenta influência no estudo realizado, uma vez que não apresenta diferenciação na comparação das alternativas de remanufatura e produção de uma máquina de lavar nova.

Para análise do processo de remanufatura dos equipamentos, verificou-se na literatura a existência de uma empresa localizada no município de Motala, Suécia, chamada El-kretsen AB, referência nesta alternativa de fim de vida e pertencente ao fabricante Electrolux. Sundin e Tyskeng (2003) relatam que esta empresa desenvolveu uma rede nacional de coleta e recuperação de equipamentos eletroeletrônicos.

No ano de 1998, o fabricante Electrolux AB implantou este centro de remanufatura incluindo os aspectos ambientais na sua estratégia de negócios (Sundin e Tyskeng 2003). Ao ser inaugurado, a força-motriz para a implantação desta planta de remanufatura consistia, basicamente, nas motivações ambientais, tendo em vista a incerteza sobre a obtenção de lucros desta atividade na época (SUNDIN e BRAS, 2005).

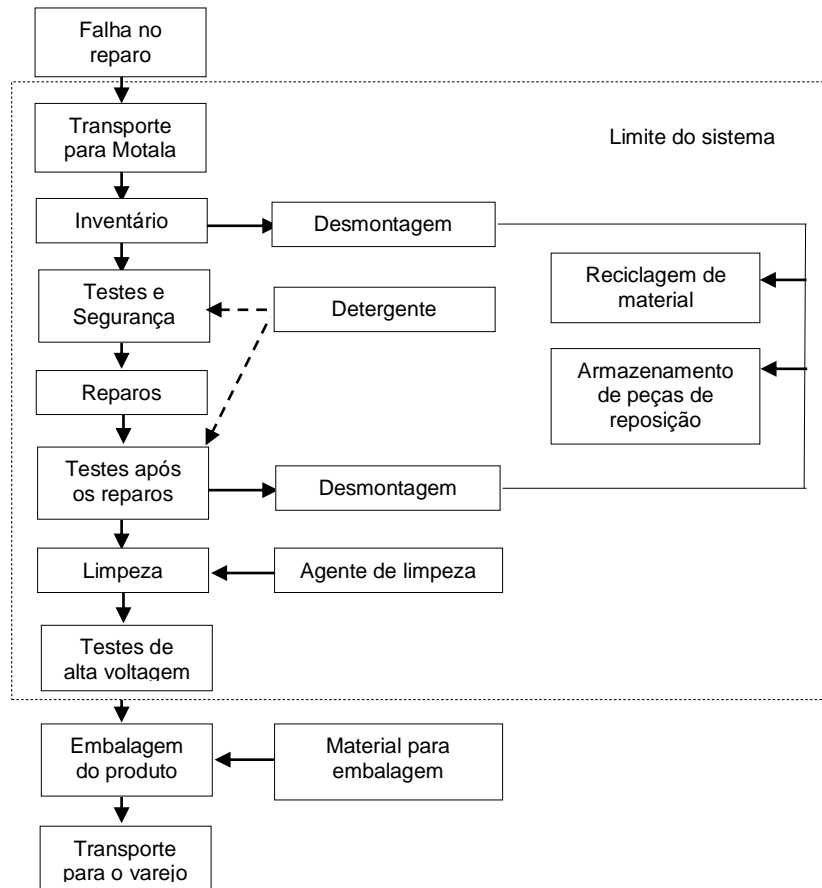
Do total de produtos recebidos na unidade de remanufatura em Motala, 30% são máquinas de lavar, 35% são refrigeradores, 20% são fogões e 15% são micro-ondas (SUNDIN e BRAS, 2005). A unidade está situada na mesma área que a fábrica comum. Este layout permite que a Electrolux utilize o mesmo sistema de logística para os produtos remanufaturados e para os produtos recém-fabricados. Os produtos remanufaturados são vendidos através dos canais normais de mercado (SUNDIN et al., 2000).

Segundo o procedimento da empresa, os equipamentos eletroeletrônicos quebrados defeituosos são encaminhados, inicialmente, para reparo nos centros de serviços do fabricante. Após três tentativas de conserto, se o problema persistir, o equipamento com defeito é transportado até a unidade de remanufatura da Electrolux em Motala, onde pode ser submetido a um dos seguintes processos: remanufatura ou reciclagem. Aproximadamente 83% dos produtos recebidos nesta unidade são submetidos à remanufatura e comercializados de volta para o mercado de eletrodomésticos. O restante, 17%, é encaminhado à reciclagem de materiais (Sundin e Tyskeng, 2003).

Na remanufatura, as máquinas de lavar são limpas, inspecionadas, desmontadas e os componentes defeituosos são substituídos. Em seguida, são remontadas, testadas e inspecionadas novamente a fim de garantir o atendimento às mesmas especificações de qualidade de um produto original. Por fim, são embaladas e transportadas para comercialização.

A Figura 30 ilustra as etapas de um processo de remanufatura de equipamentos eletroeletrônicos do tipo máquinas de lavar. Apresenta, também, os limites deste sistema, os quais não incluem as etapas de embalagem e transporte, visto que ambas as alternativas comparadas, remanufatura e reciclagem, possuem estas fases.

Figura 30 – Limites do sistema para o cenário de remanufatura de máquinas de lavar



Fonte: Adaptado de Sundin e Tyskeng (2003)

O produto com defeito é transportado até a unidade de remanufatura em Motala. É realizado um inventário para identificar se este produto já foi submetido a algum reparo anteriormente e neste momento é tomada a decisão se ele seguirá para utilização como peças de reposição ou para a remanufatura. Caso tenha sido submetido a reparos anteriores, o produto é encaminhado à desmontagem e os seus componentes são utilizados como peças de reposição no reparo de outros produtos, enquanto aqueles sem condições de uso são encaminhados para a reciclagem dos materiais. Caso seja verificado na etapa de inventário que o produto não foi reparado antes da sua chegada à unidade de remanufatura, são realizados testes para identificar os motivos das falhas e efetuados os reparos necessários, seguidos por novos testes utilizando detergente para identificar se o seu mecanismo de liberação está funcionando corretamente. Após os reparos, os produtos são limpos e submetidos a um teste em alta voltagem. Em seguida, este produto remanufaturado é embalado e transportado para o comércio varejista (SUNDIN e BRAS, 2005; SUNDIN e TYSKENG, 2003).

7.2.1 Aspectos técnicos

As alternativas de remanufatura, reciclagem e produção de uma máquina de lavar foram analisadas comparativamente com base em uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) realizada para o modelo AEG Lavamat 72330W do fabricante Electrolux. O Quadro 8 apresenta os resultados para cada cenário avaliado: máquina de lavar remanufaturada, máquina de lavar reciclada (em que os materiais que a constituem foram submetidos à reciclagem) e produção de uma máquina de lavar nova. Cabe ressaltar que os resultados da remanufatura incluem a etapa de reciclagem de materiais proveniente da fase de inventário, conforme verificado na Figura 30.

Quadro 8 – Resultados da ACV de máquinas de lavar

Resultados da ACV	Máquina de lavar remanufaturada	Máquina de lavar reciclada	Produção de nova máquina de lavar
Recursos			
Materiais não renováveis (kg)	1,5	0,1	120
Materiais renováveis (kg)	0,2	-	2,0
Materiais recicláveis (kg)	7,5	45,1	5,2
Energéticos (kWh)	24	2,8	750
Emissões			
Gases de Efeito Estufa (kg CO ₂ -eq)	2,4	0,2	160
Gases Acidificantes (mol H ⁺ -eq)	0,01	0,04	29,1
Gases de ozônio ao nível do solo (kg C ₂ H ₄ -eq)	0,002	-	0,1
Compostos de eutrofização (kg O ₂ -eq)	1,3	0,05	2,5
Resíduos			
Perigosos (kg)	0,09	0,5	2,0
Gerais (kg)	1,3	0,1	198

Fonte: Modificado de Sundin e Tyskeng (2003)

Mediante os resultados deste estudo e da ACV da máquina de lavar para os três cenários, verifica-se que a remanufatura utiliza mais recursos não renováveis e energéticos do que a reciclagem. O transporte dos produtos desde os centros de serviço da Electrolux até a unidade de remanufatura gera um impacto significativo nas emissões atmosféricas e no consumo de energia.

Já comparada à produção de uma máquina de lavar nova, a quantidade de energia necessária e as emissões geradas são muito menores no processo de remanufatura.

Também é possível verificar que o cenário de remanufatura de máquinas de lavar conduz a resultados de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de compostos de eutrofização²⁷ superiores àqueles oriundos do cenário de reciclagem. A emissão doze vezes maior de GEE na remanufatura pode ser explicada pela etapa de transporte até a unidade de remanufatura em Motala. Já o potencial maior de eutrofização no processo de remanufatura é justificado por Sundin e Tyskeng (2003) pela presença de compostos nitrogenados e fosforados presentes nos detergentes e agentes de limpeza utilizados nas etapas de testes e limpeza das máquinas de lavar.

No entanto, comparativamente à fabricação de uma máquina de lavar nova, o cenário de remanufatura apresenta emissões de GEE muito inferiores à produção de uma máquina nova, chegando a ser sessenta e seis vezes menor. O mesmo comportamento também é verificado em relação à geração de compostos de eutrofização: a remanufatura gera, apenas, a metade destes compostos se comparada à fabricação de uma máquina de lavar nova.

Quanto às emissões de gases acidificantes, observa-se que este volume no cenário de remanufatura é menor do que na reciclagem. Isto pode ser explicado pelo fato de que o processo de reciclagem requer a utilização de máquinas pesadas que consomem muito combustível fóssil e, portanto, geram muitas emissões (SUNDIN E TYSKENG, 2003), como óxidos de nitrogênio e enxofre. Já na categoria de liberação de gases de ozônio no solo, tanto a remanufatura quanto a reciclagem apresentaram volumes pouco significativos.

Desta forma, é possível concluir que, quando comparada à fabricação de um equipamento novo, a remanufatura de máquinas de lavar apresenta-se como a alternativa mais adequada sob o ponto de vista técnico-ambiental, pois conduz a impactos menores ao meio ambiente, visto que a necessidade energética e as emissões gasosas são mais baixas.

²⁷ Eutrofização é um fenômeno gerado pelo acúmulo de nutrientes (especialmente, fósforo e nitrogênio) nos cursos d'água, comprometendo a sua qualidade. Nesta condição, são observados a redução da quantidade de oxigênio disponível na água, a mortandade de peixes, e a emissão de gases tóxicos e causadores de efeito estufa (ASSIS et al., 2013).

Apesar de, quando comparada ao cenário da remanufatura, a reciclagem apresentar menor demanda por recursos materiais e energéticos, bem como emissões inferiores de GEE, Sundin e Tyskeng (2003) destacam que a remanufatura é a alternativa preferível à reciclagem, uma vez que a primeira tem como resultado a obtenção de produtos funcionais, enquanto a segunda apenas fornece materiais.

Por meio da remanufatura, é possível, ainda, gerar uma máquina de lavar com características e qualidades nos mesmos níveis de uma máquina nova, consumindo apenas uma fração dos recursos e produzindo um volume menor de determinadas emissões, comparativamente à fabricação de um produto novo.

Como ponto de atenção, é recomendável a utilização de detergentes e agentes de limpeza cujos componentes não favoreçam o efeito de eutrofização do efluente líquido gerado pelas máquinas de lavar. Um segundo ponto de atenção consiste na constatação de que as emissões de GEE e o consumo energético mais elevados apresentados no cenário de remanufatura decorrem da etapa de transporte até a unidade de trabalho. Assim, faz-se necessário verificar a viabilidade de implantação de unidades logísticas mais próximas umas das outras, de forma a minimizar as emissões e necessidades energéticas.

De fato, observa-se que o estabelecimento de uma estrutura de logística reversa é uma das condições necessárias para viabilizar tecnicamente a operação da remanufatura de máquinas de lavar. Constituem, também, pré-condições à implantação de um processo de remanufatura destes equipamentos: a oferta constante de matéria-prima usada (“núcleos” das máquinas de lavar), o estabelecimento de um mercado ao nível desejado de preços de comercialização, e a quebra das barreiras culturais. Destes, a logística reversa e a oferta constante de “núcleos” são os fatores que mais afetam a viabilidade técnica da atividade de remanufatura das máquinas de lavar, pois são os pressupostos principais requeridos para desenvolver a estrutura deste processo.

Do ponto de vista técnico-ambiental, a remanufatura pode não ser adequada a todos os produtos. Aqueles com elevada taxa de desenvolvimento de tecnologia não são tão adequados quanto os produtos tecnicamente mais maduros. No caso das máquinas de lavar, como a sua tecnologia não mudou muito ao longo dos últimos anos, estes produtos encontram-se suficientemente maduros para serem remanufaturados. Caso haja uma pequena parcela do produto que apresente um rápido desenvolvimento tecnológico, pode ser estruturado como um módulo no

interior do produto, de modo a facilitar a sua substituição e, conseqüentemente, a sua remanufatura (SUNDIN et al., 2000).

7.2.2 Aspectos econômicos

Além da ACV, os custos identificados no processo de remanufatura das máquinas de lavar foram estimados com o objetivo de ilustrar as ordens de grandeza envolvidas.

7.2.2.1 Custos de desmontagem

Estudos de Brands et al. (2017) na Universidade de Twente, localizada nos Países Baixos, determinaram o tempo de desmontagem de uma máquina de lavar em função de cada atividade, conforme apresentado na Tabela 5.

A desmontagem manual das máquinas de lavar consiste em um processo intensivo em mão-de-obra que utiliza ferramentas simples para promover a separação dos componentes (BRANDS et al., 2017). Inicia com a retirada da tampa da máquina de lavar. Em seguida, a placa de circuito é removida e, por fim, o motor é retirado (ILGIN e GUPTA, 2011).

Por meio da análise da Tabela 5, é possível verificar que o tempo médio observado para a desmontagem de uma máquina de lavar com peso de 65 kg é de onze minutos.

Tabela 5 – Tempo de desmontagem de uma máquina de lavar

Atividade	Tempo (segundos)
Transporte da máquina de lavar para a estação de trabalho	120
Remoção da tampa e do motor	150
Remoção da placa de circuito	60
Dispor as partes desmontadas em caixas	120
Dispor a sucata em container	120
Limpeza	90
Total	660

Fonte: Brands et al. (2017)

A partir do tempo médio de desmontagem para uma máquina de lavar de 65 kg, é possível estimar o custo de mão-de-obra para este processo. Assumindo que um trabalhador na linha de desmontagem receba um salário mínimo (R\$ 998,00, em janeiro de 2019), o seu custo total para a empresa (considerando os encargos trabalhistas) é de aproximadamente R\$ 2.500,00²⁸ por mês.

Considerando uma carga de trabalho mensal de 220 horas ou 13.200 minutos (conforme a legislação trabalhista brasileira), este trabalhador possui a capacidade nominal de desmontagem de 1.200 máquinas de lavar por mês com peso de 65 kg cada. Admitindo-se que haja perdas de produtividade na ordem de 10% no decorrer da jornada de trabalho, a capacidade de desmontagem deste trabalhador é de 1.080 máquinas de lavar por mês com peso de 65 kg cada.

Dado o seu custo mensal de mão-de-obra de R\$ 2.500,00, o custo para desmontagem é de, aproximadamente, R\$ 2,31 por unidade de máquina de lavar (com peso unitário de 65 kg), o que corresponde a cerca de R\$ 0,04/kg de máquina de lavar desmontada. Como o peso médio de uma máquina de lavar no mercado nacional é de, aproximadamente, 36 kg (ABDI, 2013)²⁹, tem-se que o seu custo médio de desmontagem é de aproximadamente, R\$ 1,44 por unidade desmontada.

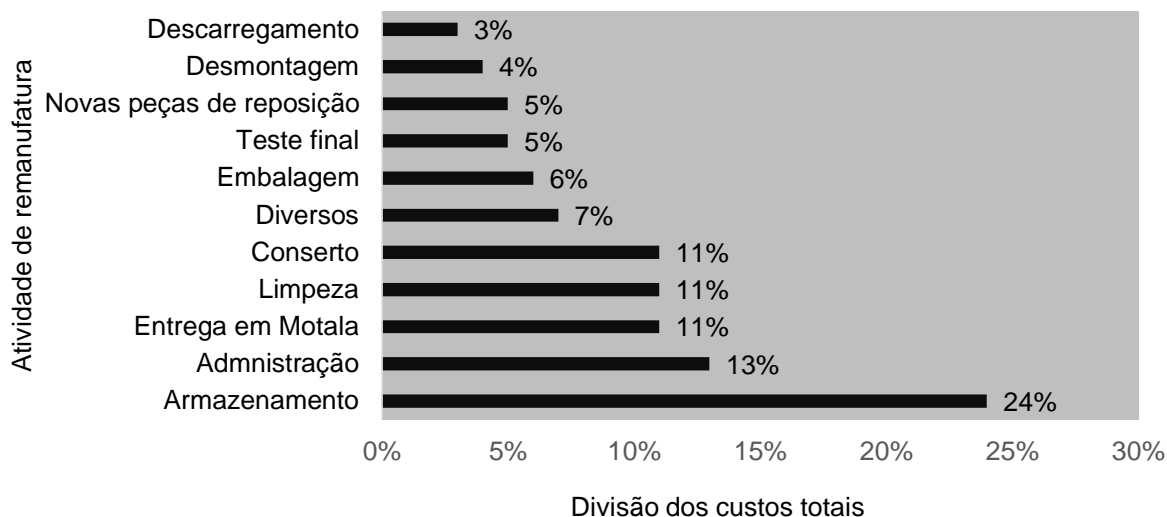
7.2.2.2 Custos em uma unidade de remanufatura

Os resultados obtidos por Sundin e Bras (2005) em um estudo acerca da divisão de custos da remanufatura demonstraram praticamente os mesmos valores para todos os tipos de eletrodomésticos recebidos em Motala. A Figura 31 apresenta, portanto, a composição total dos custos de remanufatura para todos os produtos remanufaturados nas instalações da Electrolux em Motala durante o ano 2000, inclusive para o caso das máquinas de lavar roupas.

²⁸ O cálculo do custo total de um funcionário para uma empresa foi estimado a partir de: <<https://www.lg.com.br/blog/muito-alem-salario-afinal-qual-o-custo-de-um-funcionario-para-empresa/>> (LG, 2017). Aceso em 15 jan. 2019.

²⁹ Peso médio de uma máquina de lavar: 36,512 kg (ABDI, 2013).

Figura 31 – Custos da remanufatura nas instalações da Electrolux em Motala



Fonte: Adaptado de Sundin e Bras (2005)

É possível observar que a maior parte dos custos da remanufatura tem origem no armazenamento. Este corresponde à maior parcela do total de custos da unidade (24%), englobando o armazenamento dos produtos de entrada e saída bem como das peças de reposição. O segundo maior custo (administração, representando 13% do total) está relacionado ao pagamento de salários da mão-de-obra envolvida e ao sistema informatizado para rastreamento dos produtos. Sundin e Bras (2005) observam que a tendência é que os custos de armazenamento e administração diminuam com o aumento da escala de produção.

As atividades de entrega na unidade (que inclui o transporte), limpeza e reparo também representam custos significativos e contribuem com 11% do total dos custos cada. As demais atividades (diversos, embalagem, teste final, novas peças de reposição, desmontagem e descarregamento) apresentam participações que variam de 3% a 7% cada.

Tendo em vista que o custo de mão de obra da desmontagem foi calculado em R\$ 0,04/kg e, sabendo que a etapa de desmontagem corresponde a 4% dos custos em uma instalação de remanufatura³⁰ (Figura 31), por meio de uma relação de equivalência é possível estimar que os custos em uma instalação de

³⁰ Para realizar esta estimativa, considerou-se que o custo de desmontagem informado na Figura 31 é composto integralmente pelo seu custo de mão-de-obra. Esta aproximação é considerada válida pelo fato de que a operação de desmontagem é intensiva no uso de mão-de-obra e utiliza poucas ferramentas de trabalho, em geral simples e de baixo custo.

remanufatura (no caso, de máquinas de lavar) totalizam cerca de R\$ 1,00/kg de máquina de lavar remanufaturada ou R\$ 36,00 por unidade remanufaturada.

Além disso, o processo de remanufatura contempla uma etapa final de pintura e acabamento (como, lixamento, limpeza, dentre outras atividades) cujo custo pode ser estimado em R\$ 100,00 por unidade remanufaturada, segundo os dados obtidos nas entrevistas.

Sundin e Thyskeng (2003) observam que a remanufatura resulta em custos mais elevados do que a reciclagem porque o primeiro consiste em um processo que resulta em agregação de valor a um produto usado, enquanto na reciclagem não se verifica adição de valor ao produto. Ainda assim, a remanufatura apresenta lucratividade, pois os produtos remanufaturados, por possuírem grande valor econômico, geram receita ao serem comercializados no varejo.

Ainda que sejam escassas as publicações dos resultados financeiros das empresas de remanufatura, Sundin et al. (2000) observa que a literatura apresenta diversos estudos de caso que indicam a lucratividade da remanufatura, não havendo registros de que este processo afete negativamente o lucro. Os possíveis aumentos nos custos das empresas são decorrentes do aumento da mão-de-obra e logística.

7.2.2.3 Custos dos componentes

Segundo análise da organização Ellen MacArthur Foundation (2012), os pontos de quebra em uma máquina de lavar são bem delimitados: o motor, a bomba e o encanamento. Já em uma pesquisa conduzida com os fabricantes de máquinas de lavar e empresas de reparo, estudos do instituto Wrap (2011c) indicaram as seguintes peças como as mais propensas à substituição por falhas no funcionamento: selos de portas e dobradiças (em virtude de itens que ficam presos nos selos ou da deterioração da borracha); mangueiras de entrada e saída; elementos de aquecimento da água; rolamentos de tambor (devido a vazamentos de água); motor (principalmente por desgaste); gaveta de sabão (por uso indevido ou solidificação de detergente no recipiente, causando bloqueios); e rolamentos do motor e do tambor (devido à sobrecarga).

Com o objetivo de identificar quais são as peças que mais apresentam defeitos em uma máquina de lavar e os seus respectivos custos, foram conduzidas

entrevistas com profissionais das áreas de manutenção, assistência técnica e vendas de componentes de máquinas de lavar.

Tendo em vista que a literatura dispõe de poucas informações acerca das peças mais propensas a defeitos e os seus respectivos custos, a entrevista com profissionais do mercado constituiu-se em uma rica obtenção de dados que possibilitou a sua quantificação e a geração de informação acerca da viabilidade do processo de remanufatura de máquinas de lavar. Cabe ressaltar a necessidade de se realizar mais entrevistas em trabalhos futuros, de modo a aprofundar a pesquisa e gerar dados necessários para a validação das peças mais propensas a defeitos e análise dos seus custos.

No momento do levantamento do universo de profissionais para posterior contato, foi observado que a área de reparo de máquinas de lavar é bastante específica e segmentada. Em algumas ocasiões, ao se realizar o primeiro contato, verificou-se que as empresas desenvolviam a atividade de refrigeração de outros equipamentos eletroeletrônicos (principalmente, de aparelhos de ar condicionado), mas não de máquinas de lavar.

Todos os entrevistados indicaram a placa de circuito como uma das peças que mais apresentam defeitos em uma máquina de lavar. Segundo o profissional de vendas de peças de máquinas de lavar entrevistado, 70% do total de defeitos neste equipamento correspondem à quebra da placa de circuito, enquanto os 30% restantes distribuem-se entre defeitos na eletrobomba, válvula e componentes do motor. As informações obtidas indicam que o motor em si não apresenta um elevado índice de quebras, mas sim as peças que o compõem, como rolamentos e correias, os quais representam um impacto de custo pouco significativo (aproximadamente, R\$ 7,00 cada).

O primeiro técnico de refrigeração entrevistado informou que 70% dos defeitos em uma máquina de lavar envolvem a quebra da placa de circuito, capacitor, eletrobomba e reforma mecânica. A reforma mecânica consiste na troca de peças como rolamentos, eixo, retentores, tirantes e tampa e, em geral, apresenta-se como uma necessidade em máquinas de lavar a partir de cinco ou seis anos de uso. Para o segundo técnico de refrigeração entrevistado, 70% do total de defeitos em uma máquina de lavar são oriundos das quebras de placa de circuito, válvulas, eixos e retentores.

O Quadro 9 apresenta uma síntese das peças que mais apresentam defeitos em máquinas de lavar e os seus respectivos preços de aquisição, segundo as informações relatadas pelos profissionais. Cabe ressaltar que o custo de mão-de-obra do reparo não está incluso, iniciando-se em R\$ 80,00, dependendo da localização do atendimento e do modelo do equipamento.

Quadro 9 – Peças mais propensas a defeitos em máquinas de lavar e os seus respectivos preços

Peça	Preço de venda (R\$)
Placa de circuito	R\$ 100,00 – 200,00
Motor	
Recondicionado	R\$50,00
Novo	R\$200,00
Componentes do motor (rolamentos e correias)	R\$ 7,00 / cada
Eletrobomba	R\$ 20,00 - 40,00
Válvula	R\$ 23,50
Reforma mecânica	R\$ 300,00 - 450,00

Fonte: A autora (2019)

Mediante as entrevistas realizadas, é possível concluir que a placa de circuito é o componente da máquina de lavar mais propenso a apresentar defeitos e o seu custo de reposição é um dos mais elevados dentre todos os componentes, variando em função da marca do equipamento.

Ainda assim, ressalta-se que o motor também é indicado na literatura como uma das peças que mais apresentam defeitos, mediante os estudos das organizações Ellen MacArthur Foundation (2012) e Wrap (2011c). Ao serem questionados sobre a durabilidade do motor, dois entrevistados responderam que não trabalham com a comercialização deste componente. Uma possível explicação consiste na suposição de que, quando o motor sofre uma avaria, o cliente busca a compra de um modelo recondicionado, por apresentar um custo menor do que o componente original. Como esses profissionais trabalham com componentes novos, justifica-se que não tenham dados da reposição de motor.

Componentes como rolamentos, tirantes, borracha, entre outros possuem um custo de reposição muito baixo. A manutenção destes componentes é, portanto, muito simples, sendo suficientes os procedimentos de lixamento e parafusamento. Já a placa de circuito e o motor apresentam os maiores custos de reposição e manutenção em uma máquina de lavar.

Sabendo-se que o preço médio de venda de uma placa de circuito e de um motor é de, aproximadamente, R\$ 200,00³¹ cada, para calcular o custo de cada uma dessas peças seria necessário conhecer não somente o seu preço de venda, como toda a estrutura de custos e despesas da empresa que os fabrica (como o custo da mão de obra, as despesas fixas e variáveis, os impostos pagos de acordo com cada regime de tributação e a margem de lucro estimada).

Como não se dispõe de todas estas informações, assume-se a condição extrema de que a empresa deseja obter 100% de lucro em sua atividade produtiva. Neste caso, como o preço médio de venda da placa de circuito ou do motor é de cerca de R\$ 200,00 cada, o seu custo é estimado em, aproximadamente, R\$ 100,00 cada.

7.2.2.4 Custos de transporte

Para efeito de estimativa dos cálculos do custo de transporte, considerou-se a distância de 20 quilômetros entre o ponto de coleta / armazenamento temporário do produto em fim de vida útil e a unidade de remanufatura.

Os custos de transporte envolvem gastos com combustível, aquisição de pneus, graxas e lubrificantes, lavagens, depreciação dos equipamentos, seguros, manutenção e reparos. Uma forma de estimar o custo total de transporte é por meio de pesquisa de mercado quanto aos preços dos fretes rodoviários.

O preço de comercialização do serviço de transporte de um caminhão com capacidade para 14 toneladas para uma distância de 20 quilômetros pode ser

³¹ Estimativa realizada com base nos relatos dos entrevistados (dois relataram preço médio da placa de circuito de R\$ 200,00, enquanto um informou R\$ 100,00) e no preço médio disponível em: <<https://busca.brastemp.com.br/busca?q=PLaca+lavadora&sort=5>>. (BRASTEMP, s/d). Acesso em: 27 jan. 2019.

estimado em, aproximadamente, R\$ 400,00³². De forma análoga ao cálculo dos custos dos componentes, para calcular o custo deste transporte seria necessário conhecer não somente o preço de venda deste serviço, como toda a estrutura de custos e despesas da empresa que os fabrica. Devido à indisponibilidade destas informações, recorre-se, novamente, ao recurso de simplificação de que empresa deseja obter 100% de lucro em sua atividade produtiva. Neste caso, como o preço de comercialização do serviço de transporte é de cerca de R\$ 400,00, o seu custo é estimado em, aproximadamente, R\$ 200,00.

Portanto, para realizar o transporte de uma carga de máquinas de lavar de um ponto de armazenamento temporário até uma unidade de remanufatura que distam 20 quilômetros entre si, o custo do transporte é de R\$ 200,00 por viagem. Considerando o transporte do produto remanufaturado da unidade de remanufatura até o comércio varejista também em 20 quilômetros, é possível estimar o custo total de transporte de uma carga de máquinas de lavar remanufaturadas em R\$ 400,00.

Um modelo de máquina de lavar do fabricante Brastemp³³ com capacidade de 9 kg e peso total de 36 kg possui as seguintes dimensões: 0,57 m (largura), 1,06 m (altura) e 0,59 m (comprimento). Já um caminhão com capacidade de transporte de 14 toneladas possui 14 metros de comprimento e 2,6 metros de largura³⁴. Desta forma, calculando a área do veículo ($36,4 \text{ m}^2$) e a área ocupada por uma máquina de lavar³⁵ ($0,64 \text{ m}^2$), conclui-se que é possível transportar cerca de 56 unidades de máquinas de lavar em cada viagem de caminhão.

Sabendo que o custo total de transporte de máquinas de lavar em um caminhão com capacidade de 14 toneladas é de R\$ 400,00 e que é possível transportar 56 unidades neste tipo de veículo, conclui-se que o custo de transporte é

³² Consulta realizada para carga tipo lotação, caminhão semipesado/truck (14 toneladas) e distância de 20 quilômetros. Disponível em: <<https://www.tabelasdefrete.com.br/>> (TABELAS DE FRETE, s/d). Acesso em: 05 jan. 2019.

³³ Modelo verificado em: <<https://loja.brastemp.com.br/lavadora-brastemp-9kg-bwj09ab/p>>. (BRASTEMP, s/d). Acesso em: 04 fev. 2019.

³⁴ Dimensões verificadas por meio de consultas a: <<http://www.guiadotrc.com.br/lei/qresumof.asp>>. (GUIA DO TRANSPORTADOR, s/d). Acesso em 18 mar. 2019 e <<https://blog.truckpad.com.br/industria/carrocerias-mais-comuns-no-brasil/>>. (TRUCKPAD, 2017). Acesso em 18 mar. 2019.

³⁵ A área de uma máquina de lavar foi calculada aproximando-se a sua largura e o seu comprimento para 0,80 m cada, de forma a considerar o distanciamento necessário entre os equipamentos durante o transporte. Neste cálculo, considerou-se o carregamento em apenas um nível de altura, isto é, sem empilhamento.

de, aproximadamente, R\$ 7,14 por unidade transportada. Convém observar que este custo de transporte pode ser ainda menor, se considerado o fator de empilhamento da carga no veículo.

7.2.2.5 Custo total identificado

De posse de todas as estimativas de custos disponíveis e premissas adotadas (isto é, as bases referenciais para a realização dos cálculos) sintetizadas no Quadro 10 (custo da desmontagem de R\$ 1,44, custos em uma unidade de remanufatura de R\$ 36,00, custos de pintura e acabamento de R\$ 100,00, custo de aquisição de um componente novo – placa de circuito ou motor – de R\$ 100,00 e custo de transporte de R\$ 7,14), obtém-se um custo aproximado de R\$ 245,00 por máquina de lavar remanufaturada nas condições analisadas.

Convém ressaltar que este custo, apesar de ser o total identificado no estudo, é um valor parcial, visto que há outros custos que não foram contemplados devido à indisponibilidade de informações. Em virtude da falta de dados disponíveis, não estão inclusos nesta estimativa os custos de construção e manutenção dos pontos de coleta, tampouco os custos de comercialização do produto remanufaturado, isto é, os gastos necessários para disponibilizar a máquina de lavar nos pontos de venda. Também não estão presentes neste estudo os impostos incidentes sob as atividades de produção e vendas dos equipamentos remanufaturados.

Além disso, não estão contabilizados nesta estimativa o valor que o resíduo de máquina de lavar possui, nem o seu custo de retirada, tendo em vista que existem empresas que pagam para retirar sucatas e resíduos de outras empresas. Lund (1984) relata que, na remanufatura, o valor recuperável do núcleo é superior ao valor de mercado do produto não-funcional.

Quadro 10 – Síntese dos custos identificados e premissas adotadas

Natureza do custo	Premissas	Custos aproximados
Desmontagem	Tempo: 11 min (BRANDs et al., 2017) Custo da mão-de-obra: R\$ 2.500,00/mês Jornada: 220 horas/mês. Produtividade: 90%	R\$ 0,04/kg ou R\$ 1,44/unidade (peso médio: 36 kg, ABDI, 2013)
Instalação de remanufatura	Divisão dos custos proposta por Sundin e Bras (2005)	R\$ 1,00/kg ou R\$ 36,00/unidade (peso médio: 36 kg, ABDI, 2013)
Pintura e acabamento	Entrevistas	R\$ 100,00/unidade
Componentes	Entrevistas Lucro: 100%	R\$ 100,00/unidade
Transporte	Distâncias: - Do ponto de coleta à unidade de remanufatura: 20 quilômetros - Da unidade de remanufatura ao comércio: 20 quilômetros. Preço do frete (capacidade de 14 toneladas e distância de 20 quilômetros): R\$ 400,00 Lucro: 100% Logo: custo por viagem (capacidade de 14 toneladas e distância de 20 quilômetros): R\$ 200,00 Áreas: - Caminhão: 36,4 m ² - Máquina de lavar: 0,64 m ² Logo: 56 unidades transportadas por viagem	R\$ 7,14/unidade

Fonte: A autora (2019)

Tendo em vista que o preço médio de uma máquina de lavar roupas com capacidade para 9 kg³⁶ é, aproximadamente, R\$ 1.700,00, nas condições analisadas a remanufatura é um processo vantajoso para as empresas que a desenvolvem, uma vez que o seu custo total identificado (R\$ 245,00) corresponderá a, aproximadamente, 14% do preço de venda de uma máquina de lavar nova.

Ainda que este custo (e, conseqüentemente, a sua relação percentual ao preço de venda de uma máquina de lavar nova) seja parcial, esta estimativa possui

³⁶ Preço médio aproximado verificado em: <<https://loja.brastemp.com.br/lavadora-brastemp-9kg-bwj09ab/p>>. (BRASTEMP, s/d). Acesso em: 04 fev. 2019.

uma grande relevância na definição da ordem de grandeza dos custos envolvidos e permite verificar se processo de remanufatura é viável. Além disso, cabe ressaltar que, ao se atingir uma escala industrial, os custos do processo de remanufatura tendem a diminuir ainda mais.

Como os preços de venda de produtos remanufaturados ao mercado consumidor podem variar de 50% a 70% do preço do produto original, dependendo do tipo de defeito apresentado (SUNDIN, 2004), nas condições analisadas, os empresários podem comercializar uma máquina de lavar remanufaturada pela metade do preço de venda de uma máquina nova e, ainda assim, obterem uma margem de lucro significativa.

Portanto, a análise da ordem de grandeza do custo privado para a implantação de uma unidade de remanufatura sistemática de máquinas de lavar demonstra que esta operação apresenta-se viável do ponto de vista econômico. Ao se estender a análise inserindo as externalidades socioambientais, é possível verificar a existência de ganhos sociais, com a geração de mais postos de trabalho na operação de remanufatura, além de benefícios ambientais, com a redução do consumo de matérias-primas e energia, bem como do descarte de resíduos sólidos. Portanto, além do saldo econômico favorável à operação da remanufatura de máquinas de lavar, o saldo socioambiental também é positivo.

Desta forma, se uma empresa se dispuser a remanufaturar de forma sistemática máquinas de lavar nas condições analisadas, será possível obter lucro. Ao realizar os cálculos socioambientais, esta empresa observará que as externalidades verificadas na fabricação e comercialização das máquinas de lavar (representadas pelo não consumo de recursos naturais, não descarte final de resíduos sólidos e os ganhos sociais advindos do pagamento dos salários da mão-de-obra empregada) corroboram para a viabilidade da implantação de um empreendimento desta natureza em alinhamento com os princípios de desenvolvimento sustentável.

Assim, nas condições analisadas, a remanufatura das máquinas de lavar gera benefícios para todas as partes interessadas: as empresas que a desenvolvem (que apresentarão lucratividade), os consumidores (os quais poderão adquirir uma máquina de lavar pela metade do preço de uma nova, com as mesmas garantias e funcionalidades do produto original) e a sociedade (que irá desfrutar dos ganhos socioambientais gerados).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao aumento do consumo de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) nos últimos anos, os resíduos destes materiais (REEE) vêm adquirindo cada vez mais importância no contexto ambiental. Uma vez que a sua geração tende a aumentar, os efeitos adversos são observados no aumento da extração de matérias-primas e do consumo de energia, além da elevação dos volumes descartados em aterros sanitários e disposições inadequadas (lixões), com elevado potencial de danos à saúde humana e ambientais em virtude dos contaminantes presentes.

Portanto, o descarte de REEE é altamente significativo do ponto de vista de impacto ambiental, tanto em relação ao volume de disposição final quanto à economia de recursos naturais.

A remanufatura aplicada de forma sistemática é uma estratégia de recuperação e reintrodução dos equipamentos eletroeletrônicos e seus componentes na cadeia produtiva, fato que possibilita a redução do consumo de recursos materiais e energéticos e do descarte de resíduos no meio ambiente.

Com a redução da extração de matérias-primas e da fabricação de EEE novos proporcionada pela remanufatura, as emissões de gases poluentes ao meio ambiente (SO_x , NO_x e GEE do tipo CO_2) também diminuem. Além disso, ao promover a extensão do ciclo de vida útil dos EEE, a remanufatura, novamente, ocasiona a redução destes contaminantes.

Além dos benefícios ambientais, na remanufatura de EEE são observados, também, benefícios econômicos, representados por dois fatores: a remanufatura permite a recuperação e reutilização de materiais de alto valor agregado contidos nos EEE, e o custo de remanufatura tende a ser inferior ao custo de fabricação de um produto novo, possibilitando que o preço de venda de um produto remanufaturado seja inferior ao preço do produto original.

Além disso, ganhos sociais também são verificados na remanufatura, com a geração de postos de trabalho nas atividades operacionais, visto que a etapa de desmontagem do produto para a remanufatura é intensiva em mão-de-obra. Apesar dos custos de mão-de-obra que apresenta, a operação de remanufatura é atrativa aos empresários, pois o custo da matéria-prima (isto é, os componentes provenientes da desmontagem do produto) é inferior ao custo da matéria-prima virgem. Assim, se por um lado, o empresário tem um custo maior de mão-de-obra na

remanufatura, o custo de aquisição de matéria-prima é menor quando comparado ao processo de fabricação de um produto novo.

No caso analisado, foi possível verificar que as máquinas de lavar possuem características que as tornam aptas à remanufatura, ou seja, da forma como são produzidas atualmente, as máquinas de lavar são remanufaturáveis. Sob o ponto de vista do ecodesign, é necessário que, no momento da concepção da máquina de lavar, os projetistas planejem a estrutura do produto de modo a facilitar a desmontagem, limpeza e substituição dos componentes, favorecendo a remanufatura da máquina de lavar ao fim da sua vida útil.

Uma importante consideração a ser realizada durante o design inicial da máquina de lavar é delimitar o projeto sob a perspectiva de que a unidade será remanufaturada em algum momento do seu ciclo de vida. Ao se elaborar um projeto que favoreça o acesso aos componentes e facilite a desmontagem de seus equipamentos, as empresas reduzem os seus custos de operação, aumentando a atratividade do processo de remanufatura. A padronização dos componentes das máquinas de lavar, de modo a reduzir a sua diversidade, é um exemplo de modificação que pode ser realizada na fase de projeto de modo a facilitar a remanufatura destes produtos.

O presente trabalho demonstrou que a remanufatura sistemática de máquinas de lavar é uma solução de fim de vida útil indicada em detrimento da produção de um equipamento novo. Por meio de princípios circulares, a remanufatura das máquinas de lavar possibilita a maximização do uso dos recursos naturais e a minimização da geração de resíduos.

Os resultados da ACV demonstraram que, comparativamente à fabricação de uma máquina de lavar nova, a remanufatura apresenta consumos inferiores de matéria e energia, além da redução da geração de resíduos e de emissões de GEE, gases acidificantes e de ozônio ao nível do solo.

Quando comparada ao processo de reciclagem, a remanufatura apresentou emissões superiores de GEE, em virtude da etapa de transporte dos produtos até as unidades de remanufatura. Desta forma, na definição da localização das unidades logísticas de um sistema de remanufatura, é recomendável verificar as distâncias entre as mesmas, de modo a otimizar o transporte de produtos e materiais entre as unidades e, com isso, minimizar as emissões de GEE.

Portanto, mediante os resultados obtidos, é possível comprovar a hipótese de que a remanufatura sistemática de máquinas de lavar roupas possui viabilidade técnica na situação analisada, desde que a oferta de matéria-prima (“núcleos”) seja constante e haja a presença de uma infraestrutura de logística reversa que possibilite o retorno destes materiais.

Ainda assim, é necessário o aprofundamento dos estudos a fim de se verificar se esta é uma conclusão geral, visto que o transporte e todo o sistema de logística reversa de envio dos “núcleos” para os centros de remanufatura ocasionam a geração de emissões de GEE, ainda que em patamares sessenta e seis vezes menores do que a produção de uma máquina de lavar nova.

A partir da análise dos custos em uma unidade de remanufatura desenvolvida por Sundin e Bras (2005), foi possível identificar que os dois maiores valores referem-se ao armazenamento de produtos e peças (24% do custo total) e à administração, como o pagamento dos salários dos funcionários (13% do total). A etapa de desmontagem de uma máquina de lavar corresponde a somente 4% do custo total identificado. Este custo de desmontagem foi calculado em, aproximadamente, R\$ 0,04/kg de máquina de lavar.

Este trabalho também estimou o custo total identificado (e, portanto, parcial), do processo de remanufatura de uma máquina de lavar em R\$ 245,00 por unidade remanufaturada, considerando estimativas dos seguintes custos: desmontagem, custos em uma instalação de remanufatura, pintura e acabamento, aquisição das peças que mais apresentam defeitos em uma máquina de lavar e transporte.

Cabe ressaltar que estas estimativas foram realizadas de forma conservadora e incluem apenas os custos identificados em um processo de remanufatura de máquinas de lavar, visto que nem todas as informações operacionais e de mercado encontram-se disponíveis.

Portanto, este custo total identificado na remanufatura de máquinas de lavar é dito parcial, uma vez que, devido à falta de informações disponíveis, não inclui outros custos como o custo de construção e manutenção dos pontos de coleta e o custo de comercialização da máquina de lavar remanufaturada. Também não estão inclusos os impostos incidentes na produção e venda dos equipamentos, tampouco outros custos não identificados nesta pesquisa. Além disso, é necessário observar que a máquina de lavar descartada ao fim da sua vida útil tem valor e a sua retirada

possui um preço (tendo em vista que há empresas que pagam para retirar sucatas e resíduos em outras organizações).

Desta forma, para o caso em questão, observou-se que o custo identificado da remanufatura de uma máquina de lavar é bastante competitivo para as empresas, quando comparado ao custo de fabricação de um produto novo. Nas condições analisadas, o custo identificado de R\$ 245,00 representa, aproximadamente, apenas 14% do preço de mercado de uma máquina de lavar nova (R\$ 1.700,00). Este custo permite a comercialização do produto remanufaturado pela metade do preço do produto novo e, ainda assim, possibilita a geração de uma significativa margem de lucro para a empresa.

Esta atratividade econômica foi verificada mesmo na condição de cálculos realizados sem o fator de escala do negócio. Portanto, ao implementar o processo de remanufatura em um âmbito industrial, o empresário observará, ainda, o efeito da economia de escala, com a diminuição dos custos que este trabalho estimou e o incremento dos lucros.

Dado o acesso às informações disponíveis por meio de entrevistas e a partir das estimativas realizadas, é possível comprovar a hipótese de que a remanufatura sistemática de máquinas de lavar possui viabilidade econômica, desde que satisfeita a mesma condição observada na análise da viabilidade técnica: o estabelecimento de uma estrutura de logística reversa que garanta a oferta constante de “núcleos” de máquinas de lavar de forma a atender à produção de remanufaturados. A logística reversa apresenta, portanto, uma elevada importância na gestão adequada dos REEE, visto que minimiza os impactos ambientais e promove a recuperação do valor econômico do produto em fim de vida útil.

As estimativas de custos foram realizadas neste trabalho para fornecer uma ordem de grandeza dos valores e verificar se o processo de remanufatura sistemática é possível e viável. Por meio deste conjunto de cálculos, foi possível delinear uma ideia dos custos envolvidos, conduzindo à validação da viabilidade da remanufatura sistemática das máquinas de lavar. Desta forma, os cálculos efetuados não guardam a pretensão de suficiência para a elaboração de um estudo de negócios.

8.1 Recomendações para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, é possível que empresas interessadas em desenvolver uma unidade de remanufatura de máquinas de lavar utilizem estas estimativas como base para o aprofundamento dos estudos econômicos, de modo a possibilitar a geração de um plano de negócios para a implantação de um empreendimento desta natureza.

Ao realizar uma análise dos custos aplicada a uma determinada unidade de remanufatura de máquinas de lavar, a empresa irá dispor dos dados necessários para calcular os custos de construção e manutenção dos pontos de coleta, bem como os custos de comercialização do produto remanufaturado, e demais possíveis custos não verificados nesta pesquisa. Um exemplo de custos não identificados envolve a definição do valor de mercado das máquinas de lavar inoperantes e do valor da retirada destes equipamentos nos seus pontos de descarte.

Além disso, ao realizar a análise dos seus custos, a empresa terá a oportunidade de definir as localizações das suas instalações (pontos de coleta / armazenamento temporário e unidade de remanufatura). Desta forma, será possível calcular o custo de transporte com maior precisão.

Como contribuição para futuros trabalhos de pesquisa acadêmica, recomenda-se a realização de mais entrevistas com profissionais das áreas de manutenção, assistência técnica e vendas de componentes de máquinas de lavar. Este aumento na quantidade de amostras possibilitará a geração de uma maior quantidade de dados para a validação das peças mais propensas a defeitos e a análise dos custos envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos**: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília: ABDI, 2013.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/>> Acesso em: 16 out. 2018.

_____. **A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020**. Uma estratégia de desenvolvimento. Detalhamento e Atualização de Propostas. 2010. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/50anos/humberto/ab2010/index.htm#/30/>>. Acesso em: 17 out. 2018.

_____. **Desempenho do setor - dados preliminares**. 2018. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>>. Acesso em: 16 out. 2018. Atualizado em 01 jan. 2019.

_____. **Setor eletroeletrônico prevê crescimento de 7% em 2018**. 2017. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com112.htm>>. Acesso em: 16 out. 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040:2009. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NBR 15296:2005. **Veículos rodoviários automotores – Peças – Vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2017.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. São Paulo, 2016.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2015.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. São Paulo, 2014.

AMARO, A. B.; VERDUM, R (orgs); SOLER, F. D. **Política Nacional de Resíduos Sólidos e Suas Interfaces com o Espaço Geográfico**: entre conquistas e desafios. Capítulo 3: Os desafios do setor empresarial para a implementação de sistemas de logística reversa por intermédio de acordos setoriais. Porto Alegre: Editora Letra 1, 2016.

ANDREW-MUNOT, M.; IBRAHIM, R. N.; JUNAIDI, E. **An Overview of Used-Products Remanufacturing**. Mechanical Engineering Research, v. 5, n. 1, 2015.

ANITYASARI, M.; KAEBERNICK, H. **A concept of reliability evaluation for reuse and remanufacturing**. International Journal of Sustainable Manufacturing, v. 1, n. 1/2, 2008.

ARAÚJO, M. G. MAGRINI A. MAHLER, C. F.; BILITEWSKI, B. **A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil**. Waste Management. v 32, p. 335-342, 2012.

ASHBY, M. F. **Materials and the environment: eco-informed material choice**. Canadá: Elsevier, 2013.

ASSIS, M. Q.; ARAÚJO, A. C. de P.; VON RÜCKERT, G. **O processo de eutrofização e a participação do fósforo**. 15ª Semana de Iniciação Científica e 6ª Semana de Extensão: Ciência para o Desenvolvimento Regional. 24 a 26 de setembro de 2013. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste. Disponível em: <<https://www.unileste.edu.br/pic/sic-15/resumos/pesquisa-engenharia-tecnologia/O-PROCESSO-DE-EUTROFIZACAO-E-A-PARTICIPACAO-DO-FOSFORO.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

AYRES R., FERRER G.; VAN LEYNSEELE T. **Eco-Efficiency, Asset Recovery and Remanufacturing**. European Management Journal, Grã-Bretanha v. 15, n. 5, p. 557-574, 1997.

BALDÉ, C.P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017**. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn/Geneva/Vienna, 2017. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

BALDÉ, C. P., WANG, F., KUEHR, R., HUISMAN, J. **The global e-waste monitor – 2014: Quantities, flows and resources**. United Nations University. Bonn, Alemanha: IAS – SCYCLE, 2015. Disponível em: <<https://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2018.

BAPTISTA, J. S. **Experiência de Portugal e Alemanha**. Seminário “Economia circular e sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 20 set. 2016.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

BECHARA, E. (Org.). **Aspectos Relevantes da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12.305/2010**. São Paulo: Atlas, 2013.

BERNARD. S. **Remanufacturing**. Documents de Travail du Centre d’Economie de la Sorbonne. University Paris. França, 2011. Disponível em: <<ftp://gprolog.org/pub/mse/CES2011/11027.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

BOUSTANI, A; SAHNI, S; GRAVES, S. C.; GUTOWSKI, T. G. **Appliance Remanufacturing and Life Cycle Energy and Economic Savings**. Sustainable Systems and Technology (ISSST), IEEE International Symposium on. 2010.

BRAGA, B; HESPANHOL, I; CONEJO, J.G.L; MIERZWA J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N. JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRANDS, K.; HARTJES, R.; RIETVELD, W.; SCHOENMAKER, A.; WIERSMA, M. **The disassembling process of washing machines: the valuable parts of the e-waste** Academic Skills Premaster IEM – Group 2. 2017.

BRASTEMP. **Máquina de lavar Brastemp**. Disponível em: <<https://loja.brastemp.com.br/lavadora-brastemp-9kg-bwj09ab/p>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

_____. **Placa Lavadora**. Disponível em: <<https://busca.brastemp.com.br/busca?q=PLaca+lavadora&sort=5>>. Acesso em: 27 jan. 2019.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências**. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 27 fev. 2017.

_____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Presidência da República. Casa Civil. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 22 fev. 2017.

CALIJURI, M. do C; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, L. A. H. **Ciências ambientais para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CITISYSTEMS. **Você sabe quais os tipos de Motor Elétrico CA e como Especificar?** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CNI – Confederação Nacional das Indústrias. **Estratégias Corporativas de Baixo Carbono. Setor Elétrico e Eletrônico**. Brasília, 2015.

_____. **Proposta de Implementação dos Instrumentos Econômicos Previstos na Lei nº 12.305/2010 por meio de Estímulos à Cadeia de Reciclagem e Apoio aos Setores Produtivos Obrigados à Logística Reversa**. Brasília, 2014.

COSTA, M. M. de. **Princípios da ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 2002. 257 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

EEA – Environmental European Agency. **Waste from electrical and electronic equipment (WEEE): quantities, dangerous substances and treatment methods**. Dinamarca: EEA, 2003.

ELECTROLUX. **Manual de serviços: lavadoras de roupas top load 8 kg eletrônicas LM08/LM08A**. Revisão 0. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/73750804-Manual-de-servicos-lavadoras-de-roupass-top-load-8kg-eletronicas-lm08-lm08a.html>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **In-depth: washing Machines**. 2012. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/in-depth-washing-machines>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

_____. **Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2017.

_____. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**. 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **Diretiva 2002/96/CE**. Jornal Oficial da União Europeia, 2003. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0010.02/DOC_1&format=PDF>. Acesso em: 02 jan. 2019.

_____. **Diretiva 2012/19/EU**. Jornal Oficial da União Europeia, 2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=PT>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Categoria de Eletroeletrônicos tem perfis diferentes de consumidores para cada tipo de produto**. 30 out. 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/topofmind/2018/10/1983643-categoria-de-eletroeletronicos-tem-perfis-diferentes-de-consumidores-para-cada-tipo-de-produto.shtml>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

GALLO, M.; ROMANO, E.; SANTILLO, L. C. **A Perspective on Remanufacturing Business: issues and opportunities**. International Trade from Economic and Policy Perspective. Capítulo 10, p. 209-234, 2012.

GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. **A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase.** Journal of Cleaner Production, v. 16, p. 566-576, 2008.

GÖDECKER, H.; WAGNER, U. V.; HEUBNER, A. **Dynamical behavior of washing machines.** PAMM - Proc. Appl. Math. Mech. Alemanha, p. 109-110, 2009.

GREEN ELETRON. Disponível em: <<https://www.greeneletron.org.br/descartegreen>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

_____. **Eletrônicos.** Disponível em: <<https://www.greeneletron.org.br/descartegreen>>. Acesso em 06 jan. 2019.

GUIA DO TRANSPORTADOR. **Quadro resumo da Legislação de Pesos e Dimensões.** s/d. Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/lei/qresumof.asp>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Industrial Anual - Produto - PIA-Produto.** Produção e vendas dos produtos e/ou serviços industriais, segundo as classes de atividades e a descrição dos produtos – Brasil. 2016. Edições 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html?edicao=21499&t=sobre>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD.** 2015. Edições 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/44/47044?indicador=47105&ano=2015>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua.** 2017. Edições 2016 e 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/17270-pnad-continua.html?edicao=20915&t=resultados>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

IG – BRASIL ECONÔMICO. **Setores com as maiores isenções no IPI são os que mais sofrem hoje.** 20 ago. 2015. Disponível em: <<https://economia.ig.com.br/2015-08-20/setores-com-as-maiores-isencoes-no-ipi-sao-os-que-mais-sofrem-hoje.html>>. (, 2015). Acesso em: 18 mar. 2019.

IJOMAH, W. L.; MCMAHON, C. A.; HAMMOND, G. P.; NEWMAN, S. T. **Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing.** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, n. 23, p. 712-719, 2017.

ILGIN M. A.; GUPTA, S. M. **Recovery of sensor embedded washing machines using a multi-kanban controlled disassembly line.** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 27, p. 318–334. 2011.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Procedimento De Fiscalização - Máquinas De Lavar Roupas**. Portaria Inmetro 185/2005 - Código 3385. 2012, Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/Fiscalizacao/Treinamento/Maquinalavar.Pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

_____. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. 20 dez. 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

LACERDA, L. **Logística reversa**: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000142&pid=S0103-6513200700020001400014&lng=pt>. Acesso em: 07 mar. 2017.

LEITE P. R. **Logística Reversa**: meio ambiente e competitividade. 2.ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.

_____. **Logística Reversa**: nova área da logística empresarial. Revista Tecnológica. São Paulo: Publicare, 2002.

_____. **Logística reversa na atualidade**. In: JR, Arlindo Philippi. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Coleção Ambiental. 1. ed. Cap 14, p. 337-365. São Paulo: Manole, 2012.

LG – Lugar de Gente Sistemas Humanos. **Muito além do salário: afinal, qual o custo de um funcionário para a empresa?** 09 mai. 2017. Disponível em: <<https://www.lg.com.br/blog/muito-alem-salario-afinal-qual-o-custo-de-um-funcionario-para-empresa/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (organizadores). **Gestão Sustentável dos Recursos Naturais**: uma abordagem participativa. ARAÚJO, M.C.C.; LIRA, W.S.; CÂNDIDO, G.A. **Gestão Integrada e Participativa**: uma análise comparativa entre os modelos de Rosseto e o modelo trade-off. Paraíba: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2013.

LUND, R. T. **Remanufacturing**: the experience of the United States and implications for developing countries. Integrated Resource Recovery. World Bank Technical Paper Number 31; UNDP Project Management Report Number 2. Washington, EUA. 1984.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed São Paulo: Atlas, 2003.

MAZZOLI, M. D.; DOMICIANO, G. C.; VIEIRA, R. **Lixo tecnológico/eletrônico**: um breve histórico do problema e possíveis soluções no caso brasileiro. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Bahia: IBEAS, 2013. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/XI-093.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2018.

MENDONÇA, F. M.; PONTES, A. T.; SOUZA, R. G. de. **Logística Reversa, Meio Ambiente e Sociedade**. In: VALLE, Rogério; SOUZA, Ricardo Gabbay de. **Logística Reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

_____. **Agenda Ambiental na Administração Pública**. A3P. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/cartilha_a3p_36.pdf>. Acesso em: 23 de abril de 2017.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Versão preliminar para consulta pública. Brasília, 2011.

_____. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Chamamento para a Elaboração de Acordo Setorial para a Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e seus Componentes**. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/editais_e_chamadas/SRHU/fevereiro_2013/edital_ee_srhu_18122012.pdf>

NGUYEN, Q. H.; NGUYEN, N. D.; CHOI, S. B. **Optimal design and performance evaluation of a flow-mode MR damper for front-loaded washing machines**. Asia Pacific Journal on Computational Engineering. 2014.

NYGÅRDS, T. BERBYUK, V. **Multibody modeling and vibration dynamics analysis of washing machines**. Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology. Suécia, v. 27, p. 197-238, 2011.

O GLOBO. **Monitor do PIB da FGV aponta crescimento de 1,1% da economia do país em 2018**. 19 fev. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/02/19/monitor-do-pib-da-fgv-aponta-crescimento-de-11-da-economia-do-pais-em-2018.ghtml>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

PAIVA, L. M. de. **A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: uma avaliação do caso dos refrigeradores**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PARK, P. J.; Tahara, K.; Jeong, I.T; LEE, K. M. **Comparison of four methods for integrating environmental and economic aspects in the end-of-life stage of a washing machine**. Resources, Conservation and Recycling, v. 48. p 71-85. 2006.

PATERSON, D. A. P.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C. **End-of-life decision tool with emphasis on remanufacturing**. Journal of Cleaner Production, n. 148, p. 653-664, 2017.

REDE BRASIL ATUAL. **IPi para linha branca continua por tempo indefinido**. 01 jan. 2014. Disponível em: <<https://www.redebrasilatual.com.br/economia/2014/01/ipi->>

para-linha-branca-continua-por-tempo-indefinido-6310.html>. Acesso em: 18 mar. 2019.

RMAI – REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL E SUSTENTABILIDADE. **Coleta de eletroeletrônicos de grande porte entra em vigor**. 2016a. Disponível em: <<http://rmai.com.br/coleta-de-eletroeletronicos-de-grande-porte-entra-em-vigor/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

_____. **Fecomércio SP apoia projeto de logística reversa de eletroeletrônicos**. 2016b. Disponível em: <<http://rmai.com.br/fecomerciosp-apoia-o-projeto-de-logistica-reversa-de-eletroeletronicos/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

_____. **Projeto recolhe cerca de cinco toneladas e 3.800 unidades de REEE**. 2017. Disponível em: <<http://rmai.com.br/projeto-recolhe-cerca-de-cinco-toneladas-e-3-800-unidades-de-reee/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

ROBINSON, B. H. **E-waste: an assessment of global production and environmental impacts**. Department of Soil and Physical Sciences, Lincoln University. Nova Zelândia, v. 408, p. 183-191, 2009.

ROSENTHAL, C.; FATIMAH, Y. A.; BISWAS, W. K. **Application of 6R principles in sustainable supply chain design of Western Australian white goods**. 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, v. 40, p. 318-323, 2016.

SAAVEDRA, Y. M. B. **Práticas de Estratégias de Fim de Vida Focadas no Processo de Desenvolvimento de Produtos e suas Aplicações em Empresas que Realizam a Recuperação de Produtos Pós-Consumo**. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2010.

SAAVEDRA, Y. M. B.; OMETTO, A. **Guidelines para integrar as estratégias de fim de vida no processo de desenvolvimento de produtos**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_117_767_17352.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SANTOS, M. A. dos (Org.). **Poluição do Meio Ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SARAIVA, A. L. **Pilhas, baterias e eletroeletrônicos**. In: JR, Arlindo Philippi. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Coleção Ambiental. 1. ed. Cap 34, p. 701-713. São Paulo: Manole, 2012.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Logística Reversa**. Cadernos de educação ambiental. São Paulo, 2014.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. **Estado e empresas unidos no descarte correto do lixo eletroeletrônico.** 16 out. 2017. Disponível em: <<https://www.ambiente.sp.gov.br/2017/10/estado-e-empresas-unidos-no-descarte-correto-do-lixo-eletroeletronico/>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Prefeitura do Rio de Janeiro. **Seminário Nacional de Logística Reversa.** Rio de Janeiro, 04 de maio de 2016. Notas.

SOLER, F. D.; FILHO, J. V. M.; LEMOS, P. F. I. **Acordos setoriais, regulamentos e termos de compromisso.** In: JR, Arlindo Philippi. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos.** Coleção Ambiental. 1 ed. Cap 4, p. 79-101. São Paulo: Manole, 2012.

STAHEL, W. R. **Langlebigkeit und Material recycling:** Strategien zur Vermeidung von Abfällen im Bereich der Produkte; Vulkan Verlag, Essen. 2. ed. 1992. Partial English translation published by the R&D office, U.S. EPA, Washington. Disponível em: <<http://www.product-life.org/en/archive/case-studies/washing-machines>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

SUNDIN, E. **Product and Process Design for Successful Remanufacturing.** Dissertação nº 906. Linköpings Universitet, Departamento de Engenharia Mecânica. Suécia, 2004.

SUNDIN, E.; BRAS, B. **Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing.** Journal of Cleaner Production, v.13. p. 913-925. 2005.

SUNDIN, E.; JACOBSSON, N.; BJÖRKMAN, M. **Analysis of service selling and design for remanufacturing.** IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. Califórnia, EUA. 2000.

SUNDIN, E.; LEE, H. M. **In what way is remanufacturing good for the environment?** Proceedings of EcoDesign. International Symposium. Suécia, 2011.

SUNDIN, E. S. TYSKENG. **Refurbish or Recycle Household Appliances? An Ecological and Economic study of Electrolux in Sweden.** Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. p. 348-355. Japão, 2003.

TABELAS DE FRETE. **Planilhas para cálculo expresso de frete.** s/d. Disponível em: <<https://www.tabelasdefrete.com.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2019.

TRUCKPAD. **Os tipos de carrocerias mais comuns nas estradas brasileiras.** 12 jan. 2017. Disponível em: <<https://blog.truckpad.com.br/industria/carrocerias-mais-comuns-no-brasil/>>. Acesso em 18 mar. 2019.

UNU – UNITED NATIONS UNIVERSITY. Solving the E-Waste Problem (StEP) White Paper. **One Global Understanding of Re-Use - Common Definitions.** Alemanha, 2009.

VALLE, Rogério; SOUZA, Ricardo Gabbay de (Organizadores). **Logística Reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2014.

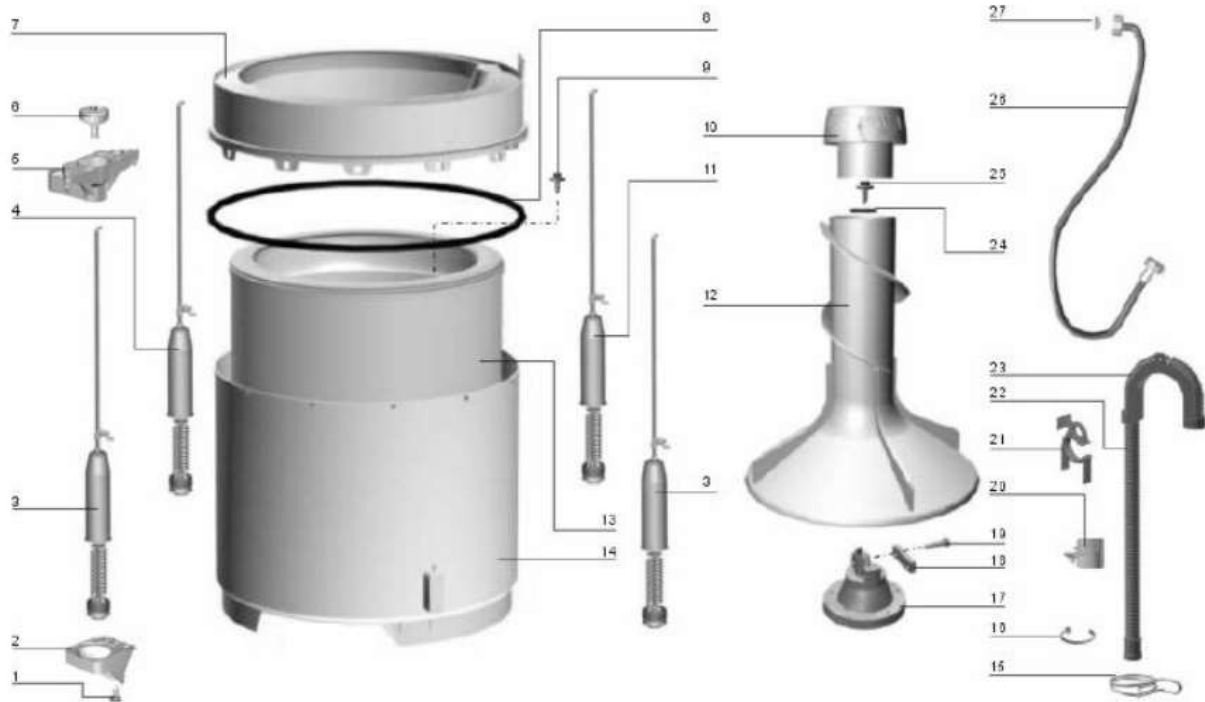
WRAP. **Benefits of Reuse Case Study: Electrical Items**. Final Report. Reino Unido, 2011a.

_____. **Environmental Life Cycle Assessment (LCA) Study of Replacement and Refurbishment options for household washing machines**. Final Report. Reino Unido, 2011b.

_____. **Specifying durability and repair in washing machines**. Reino Unido, 2011c.

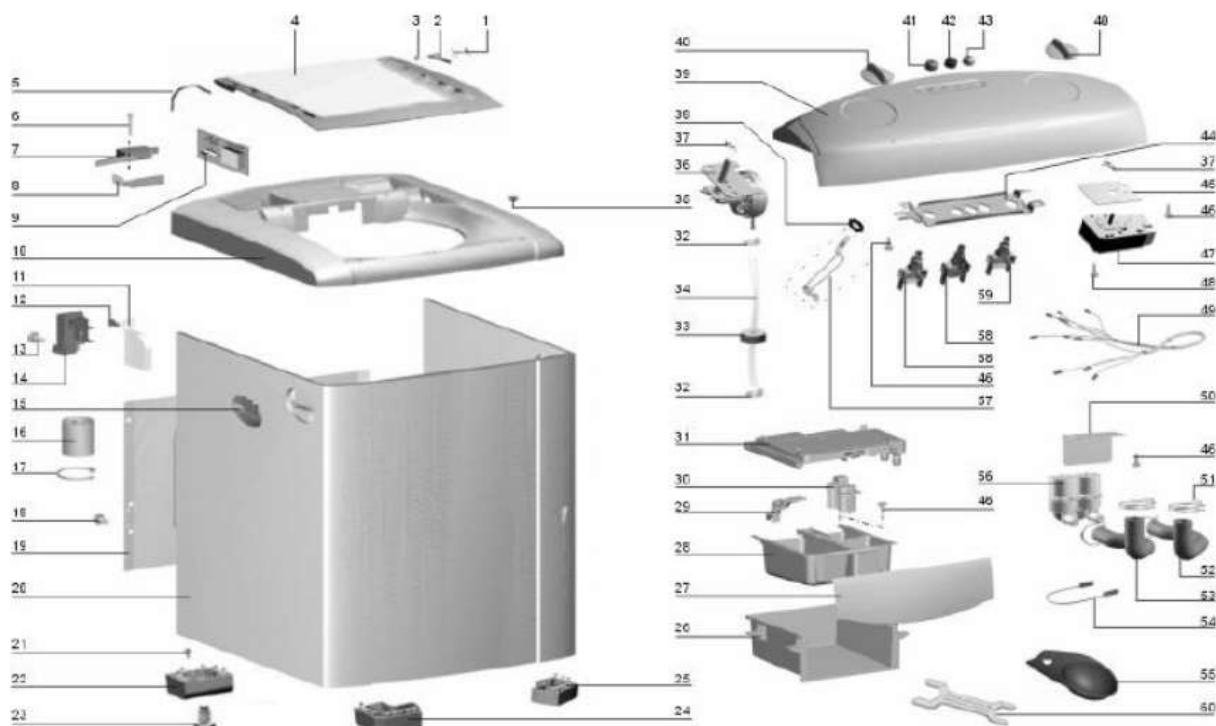
ANEXO 1 – COMPONENTES DE UMA MÁQUINA DE LAVAR

Conjunto cesto



Posição:	Componente:	Posição:	Componente:
1	Parafuso 6x20	13	Cesto com rebaixo
2	Suporte tanque/conjunto suspensão	14	Tanque
3	Suspensão dianteira	15	Abraçadeira elástica 35,6mm
3	Suspensão dianteira PU	16	Presilha mangueira drenagem
4	Suspensão traseira PU	17	Cubo tubo agitador
4	Suspensão traseira	18	Chaveta cubo agitador
5	Cantoneira superior	19	Parafuso M8x40
6	Pivot do varão	20	Anel superior mangueira
7	Capa tanque	21	Guia mangueira drenagem
8	Guarnição tanque	22	Mangueira drenagem
9	Parafuso 8x19 latão	23	Curva mangueira drenagem
10	Tampa agitador	24	Arruela borracha agitador
11	Suspensão traseira PU lado motor	25	Parafuso agitador M6x15
11	Suspensão traseira lado motor	26	Mangueira entrada d'água quente HD
12	Agitador fixo	27	Filtro mangueira entrada

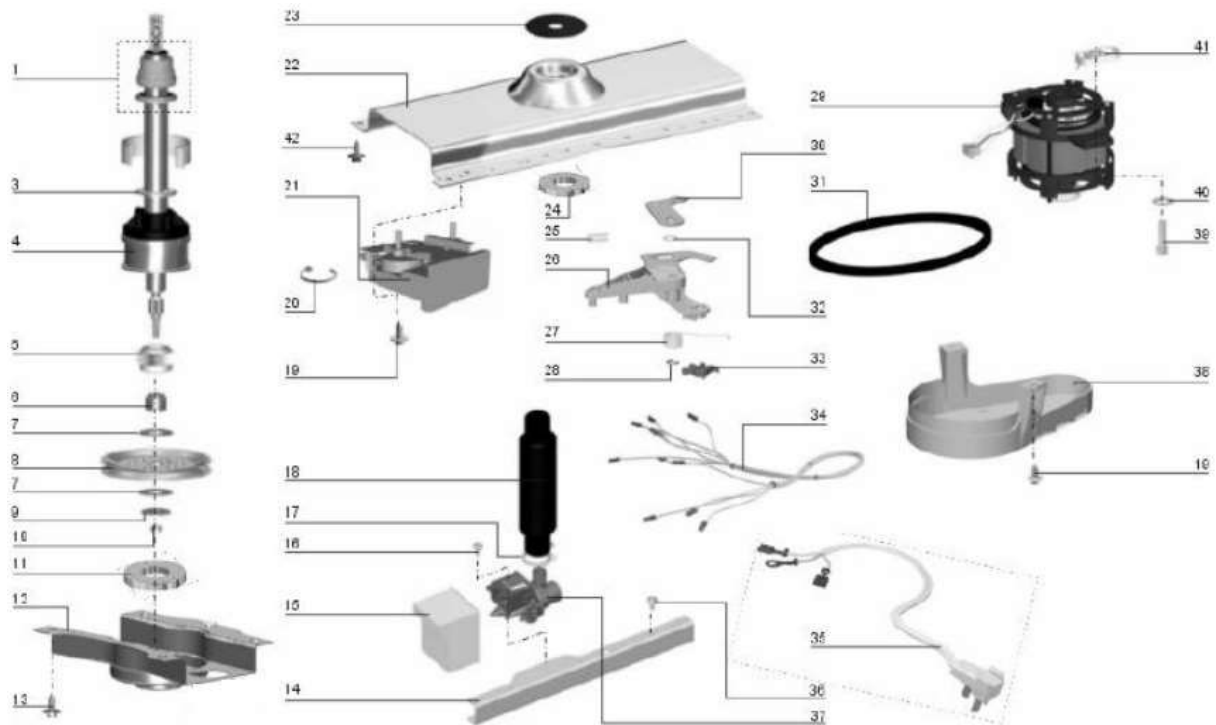
Conjunto gabinete e topo



Posição:	Componente:
1	Parafuso panela 3,5x8 inox
2	Dobradiça direita tampa
3	Bucha dobradiça tampa
4	Tampa branca
5	Dobradiça esquerda tampa
6	Parafuso 2,5x16 auto-atarraxante
7	Interruptor tampa
8	Proteção interruptor
9	Placa superior
10	Topo branco com gaveta
11	Proteção caixa conexão
12	Clip canoa 6,35x16
13	Parafuso aterramento m4x10
14	Caixa conexão
15	Alça transporte branca
16	Capacitor 45MF/250VAC p/ 127V
16	Capacitor 12MF/400VAC
17	Abraçadeira 203 x 4,9 x 1,1
18	Parafuso AA AB 8 x 9,5
19	Tampa traseira branca
20	Gabinete branco
21	Parafuso AB 4,8 x 1,59 x 19
22	Pé traseiro branco
23	Pé nivelador conjunto
24	Pé dianteiro esquerdo branco
25	Pé dianteiro direito branco
26	Alojamento dispenser
27	Puxador gaveta sabão
28	Gaveta sabão
29	Marcador nível sabão
30	Marcador nível amaciante/alvejante
31	Distribuidor água

Posição:	Componente:
32	Abraçadeira elástica 9,1
33	Protetor mangueira pressostato
34	Tubo pressostato
35	Batente tampa branco
36	Pressostato regulável compacto 4 níveis
37	Anel pressão botão timer
38	Vedação lâmpada piloto
39	Painel tampo
40	Botão timer/pressostato branco
41	Tecla verde
42	Tecla azul
43	Tecla branca
44	Suporte teclas
45	Suporte timer
46	Parafuso 4x12 auto-atarraxante
47	Timer 127V/60Hz
47	Timer 220V/60Hz
48	Parafuso M5 x 6
49	Rede elétrica superior
49	Rede elétrica superior
50	Proteção válvula
51	Abraçadeira elástica 17,5 4
52	Mangueira válvula amaciante
53	Mangueira válvula sabão
54	Rede elétrica válvula água
56	Válvula água dupla 127V
56	Válvula água dupla
57	Lâmpada piloto 127V
57	Lâmpadas piloto 220V
58	Chave seletora 1D NA
59	Chave seletora 1D NF
60	Chave ajuste pé nivelador

Conjunto Motor



Posição:	Componente:	Posição:	Componente:
1	Cj selo mecânico água	21	Atuador freio 220V emicol
3	Anel trava do rolamento superior	22	Travessa superior com rolamento
4	Kit transmissão	23	Proteção rolamento superior
4	Transmissão com freio	24	Rolamento superior 55x30x13
5	Catraca com mola	25	Mola gatilho
6	Engaste catraca	26	Braço co-injetado
7	Arruela polia transmissão	27	Mola braço
8	Kit semi polia	28	Anel trava braço co-injetado
9	Arruela taça 8,3 x 35	29	Motor 220V/60Hz
10	Porca sextavada M8 x 6,5	29	Motor 127V/60Hz
11	Rolamento esfera 25x52x15	30	Gatilho
12	Travessa inferior com eixo	31	Correia V 205 mm
13	Parafuso M8x15 trilobular	32	Arruela gatilho
14	Suporte bomba branco	33	Garra acoplamento
15	Proteção eletrobomba	34	Rede elétrica inferior
16	Parafuso AB 4,8 x 1,59 x 19	34	Rede elétrica inferior
17	Abraçadeira elástica 44,0	35	Cabo elétrico 3 pinos
18	Mangueira tanque/bomba diam 37.4mm	36	Parafuso AA AB 8 x 9,5
19	Parafuso M6 x 10,7	37	Eletrobomba drenagem 127V/60Hz
20	Abraçadeira T30R	37	Eletrobomba drenagem 220V/60Hz
21	Atuador de freio NK 127V/60Hz	38	Proteção polias
21	Atuador de freio NK 220V/60Hz	39	Parafuso M8x30 trilobular
21	Atuador de freio NKM 127V 60Hz	40	Arruela 9,8 x 3,75
21	Atuador de freio NKM 220V 60Hz	41	Sapata motor
21	Atuador freio 127V emicol	42	Parafuso 6x28