



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica & Escola de Química

Programa de Engenharia Ambiental

**Laurentina Martins de Paiva**

**A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o  
Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores.**

**Rio de Janeiro**

**2013**



**UFRJ**

**Laurentina Martins de Paiva**

A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e 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 DSc. Eduardo Gonçalves Serra.

Rio de Janeiro

2013

Paiva, Laurentina Martins de.

Título: A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição ao Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores. / Laurentina Martins de Paiva. – 2013.

124 f.: 02 il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Eduardo Gonçalves Serra.

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

## Folha de Aprovação

### **Laurentina Martins de Paiva**

A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e 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 em 19 de fevereiro de 2013.

---

Presidente: Prof. Eduardo Gonçalves Serra, DSc. UFRJ.

---

Prof. Vinícius Carvalho Cardoso, DSc. UFRJ.

---

Prof. Rafael Garcia Barbastefano, DSc. CEFET-RJ.

---

Prof. Estevão Freire, DSc. UFRJ.

**Rio de Janeiro**

**2013**

## **Dedicatória**

*A meu pai (in memoriam), meu grande mestre,  
que partiu no decorrer deste trabalho.*

*Onde quer que se encontre, receba meu  
carinho, minha gratidão e minha saudade.*

## *Agradecimentos*

Agradeço aos meus pais por tudo que me ensinaram. Nesses últimos meses, agradeço em particular à minha mãe, porque, mesmo com toda a dor que enfrentamos com a perda de meu pai, soube me dar o apoio, e as palavras de incentivo para que eu seguisse em frente, com coragem e esperança. Agradeço também à minha irmã e ao meu irmão, por torcerem por mim.

Agradeço ao meu filho, meu grande motivador e meu grande companheiro, por tudo que tem me ensinado, e por tudo que temos vivido juntos nesses últimos anos. A todos os momentos que dedicou a me ajudar, e me encorajar a continuar na luta. E, à Priscila Tavares, minha nora, pela alegria e pelo incentivo a cada etapa conquistada.

À Priscilla Lourenço, pela amizade, pelas conversas, por me ajudar a entender melhor as coisas.

Aos professores do Programa de Engenharia Ambiental (PEA) da Escola Politécnica e da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por todo o conhecimento adquirido. Em especial, ao Professor Eduardo Gonçalves Serra, orientador deste trabalho, muito obrigada!

À Direção e aos colegas do Centro de Manutenção de Sistemas da Marinha do Brasil.

Aos colegas de turma Georgia e Ribamar, por compartilharmos juntos bons momentos no decorrer das aulas do curso. Sem eles, tudo seria muito mais difícil. Os levarei no coração, para sempre.

Ao eterno amigo Fernando de Bulhões, amigo de todas as horas, principalmente daquelas mais difíceis, obrigada por tudo.

E, àqueles que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*... Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver. É preciso questionar o que se aprendeu. É preciso ir tocá-lo...*

*Amyr Klink. Mar sem fim (2000)*

## RESUMO

PAIVA, Laurentina Martins de. **A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores**. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola Politécnica & Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

A busca por padrões de desenvolvimento sustentável, que permitam melhor qualidade de vida para a geração atual e para as futuras gerações, traz à tona questões como o esgotamento dos recursos naturais, o aumento da geração de resíduos, o aquecimento global e as mudanças climáticas. Como resposta a essas questões, é necessária a adoção de estratégias alternativas nos processos produtivos de maneira que se preservem ao máximo os recursos naturais, reduza-se a produção de resíduos e a geração de gases de efeito estufa (GEE). A quantidade de produtos eletroeletrônicos colocados no mercado, anualmente, vem aumentando. Isso significa que aumentará a quantidade de resíduos que serão gerados pela substituição destes produtos no futuro. Esses resíduos podem causar diversos tipos de danos ao meio ambiente. No entanto, caso sejam tratados adequadamente, podem gerar receitas, trazendo ganhos ambientais, econômicos e sociais. A adoção de estratégias de tratamentos de fim de vida, que abordem sistemáticas de ciclo fechado, tornam-se uma boa solução na gestão dos resíduos desses produtos. Nesse aspecto, a estratégia da remanufatura é considerada, quando possível, a melhor estratégia de tratamento. Este trabalho de pesquisa aborda a viabilidade técnica e econômica da adoção dessa estratégia na indústria de refrigeradores como contribuição ao desenvolvimento sustentável. No contexto atual, devido à certas especificidades desses equipamentos, verifica-se que ainda não é viável, tecnicamente, a remanufatura dos refrigeradores. Apesar disso, com algumas mudanças na legislação e nos projetos desses produtos, pode-se tornar possível a implantação dessa estratégia. Em alguns casos pontuais, verificou-se que a estratégia de remanufatura de refrigeradores pode ser adotada com sucesso.

Palavras-chave: Remanufatura, Refrigeradores, REEE, Desenvolvimento sustentável.



## ABSTRACT

PAIVA, Laurentina Martins de. **A Remanufatura de Equipamentos Eletroeletrônicos como Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: Uma Avaliação do Caso dos Refrigeradores.** Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola Politécnica & Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

The quest for sustainable development standards, enabling better quality of life for the present generation and for future generations, brings up issues such as the depletion of natural resources, increasing waste generation, global warming and climate change. In response to these questions, it is necessary to adopt alternative strategies in production processes in a way that preserves the most of natural resources, and reduce waste generation and the generation of greenhouse gases (GHG). The amount of electronic products put on the market each year is increasing. This means that the amount of waste generated by the replacement of these products in the future will also increase. These residues can cause different types of damage to the environment. However, if treated properly, it can generate revenue, bringing environmental economic and social benefits. The adoption of strategies of end-of-life treatments that address systematic closed-loop, become a good solution in waste management of these products. In this respect, the strategy of remanufacturing is considered, where possible, the best treatment strategy. This research addresses the technical and economic feasibility of adopting this strategy in the refrigerator industry, as a contribution to sustainable development. In the present context, due to certain peculiarities of these devices, it appears that it is not yet technically feasible the remanufacturing of refrigerators. However, with some changes in the legislation and design of these products, it may be possible to implement this strategy. In some individual cases, it was found that the strategy of remanufacturing refrigerator can be adopted with success.

Keywords: Remanufacturing, Refrigerators, WEEE, Sustainable development.

## LISTA DE TABELAS, QUADROS E FIGURAS

Tabela 1 Quantidade de fluido refrigerante por categoria de aparelho. ....	42
Tabela 2 Quantidade de agente de expansão por categoria de aparelho. ....	42
Tabela 3 Descrição de cada variável-chave para modelagem de LR para REEE. ....	53
Tabela 4 Resumo do modelo proposto para a LR dos REEE no Brasil. ....	54
Tabela 5 Resultados da ACV de um refrigerador modelo ER8199B. ....	86
Tabela 6 Desmontagem de um refrigerador de uma porta. ....	87
Quadro 1 Linhas de estudos aplicadas no campo da Ecologia Industrial. ....	20
Quadro 2 Principais fornecedores e marcas de refrigeradores no Brasil. ....	36
Quadro 3 Etapas do processo de manufatura reversa de refrigeradores. ....	60
Quadro 4 Comparação entre estratégias de <i>EoL</i> no contexto da sustentabilidade. ....	71
Quadro 5 Etapas do processo de remanufatura na Suécia. ....	93
Figura 1 Composição básica do refrigerador ER8199B. ....	38
Figura 2 Estrutura do gabinete do refrigerador. ....	43

## LISTA DE SIGLAS

**ABINEE** - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**ACV** - Avaliação do Ciclo de Vida.

**CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

**CFC** - Clorofluorcarbono.

*DfE* - *Design for Environment*.

**EEE** - Equipamento Eletroeletrônico.

**ELETROS** - Associação Nacional de Fabricantes de produtos eletroeletrônicos.

*EoL* - *End-of-Life*.

*EPA* - *Environmental Protection Agency*.

*EPD* - *Environmental Product Declaration*.

**GEE** - Gases de Efeito Estufa.

**HC** - Hidrocarbono.

**HCFC** - Hidroclorofluorcarbono.

**HFC** - Hidrofluorcarbono.

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**INMETRO** - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

*IPCC* - *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

*ODP* - *Ozone Depletion Potential*.

*OEM* - *Original Equipment Manufacturer*.

**PNAD** - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios.

**PNRS** - Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

**PNUMA** - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

**PROCEL** - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

**REEE** - Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico.

**SDOs** - Substâncias Destruidoras do Ozônio.

**SETAC** - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS, QUADROS E FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	1
1.2 Objetivo da Pesquisa .....	3
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Estrutura da Dissertação .....	5
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Desenvolvimento Sustentável.....	6
2.2 Ecologia Industrial .....	16
<b>3 REFRIGERADORES DOMÉSTICOS.....</b>	<b>29</b>
3.1 A Indústria de Refrigeração e a Questão Ambiental.....	29
3.2 Dados do Mercado de Refrigeradores Domésticos .....	34
3.3 Composição Básica dos Refrigeradores .....	37
3.4 Características dos Fluidos Refrigerantes .....	39
3.5 Características das Espumas do Isolamento Térmico.....	43
3.6 A Eficiência Energética e a Vida Útil do Refrigerador .....	45
<b>4 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS E DOS RESÍDUOS DOS REFRIGERADORES .....</b>	<b>47</b>
4.1 Descarte dos Refrigeradores no Final de Vida Útil .....	47
4.2 Panorama Nacional.....	47
4.3 Panorama Internacional .....	61
<b>5 REMANUFATURA.....</b>	<b>68</b>

<b>5.1 Definições dos Termos de Reuso.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Estratégias de Fim de Vida .....</b>	<b>70</b>
<b>5.3 Remanufatura .....</b>	<b>72</b>
<b>5.4 Logística Reversa.....</b>	<b>81</b>
<b>5.5 Projeto para remanufatura .....</b>	<b>83</b>
<b>6 AVALIAÇÃO DA REMANUFATURA PARA O CASO DOS REFRIGERADORES .....</b>	<b>85</b>
<b>6.1 Características da Fabricação dos Refrigeradores.....</b>	<b>85</b>
<b>6.2 Casos Especiais para Remanufatura de Refrigeradores.....</b>	<b>91</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A busca por padrões de desenvolvimento sustentável, que permitam melhor qualidade de vida para a geração atual e para as futuras gerações, traz à tona questões como o esgotamento dos recursos naturais, o aumento da geração de resíduos, o aquecimento global e as mudanças climáticas. Como resposta a essas questões, é necessária a adoção de estratégias alternativas nos processos produtivos de maneira que se preservem ao máximo os recursos naturais, e se reduza a geração de resíduos e a geração de gases de efeito estufa (GEE), que contribuem para o aquecimento global.

Nas últimas décadas, a indústria eletroeletrônica tem revolucionado o mundo, seus produtos tornaram-se onipresentes na vida de todos, e proporcionaram grandes avanços de desenvolvimento em áreas como medicina, comunicação, segurança, mobilidade, educação, saúde, conservação e distribuição de alimentos, proteção ambiental e cultura. Mais ainda, estes produtos proporcionam maior conforto e melhor qualidade de vida às residências e às pessoas, e se tornaram indispensáveis, como é o caso dos computadores, telefones celulares, refrigeradores, máquinas de lavar, televisores e automóveis, dentre tantos outros.

Segundo o relatório da UNEP-2009 (*Recycling – From e-waste to resources*), a quantidade de produtos eletroeletrônicos colocados no mercado, anualmente, vem aumentando, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Isso significa que o aumento na quantidade de resíduos gerados pelos produtos, que serão substituídos por novos produtos, também deverá ser verificado. Esses resíduos podem causar diversos tipos de danos ao meio ambiente. No entanto, caso sejam tratados adequadamente, podem gerar receitas, trazendo ganhos ambientais, econômicos e sociais. A adoção de tratamentos de fim de vida útil que abordem sistemáticas de ciclo fechado tornam-se uma boa solução na gestão dos resíduos desses produtos.

Uma vasta gama de peças e componentes que utilizam vários materiais que possuem valor agregado, além de substâncias tóxicas e perigosas estão contidas

nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Esses resíduos devem ter tratamentos adequados de modo que recuperem-se ao máximo esses materiais.

Devido à grande variedade de materiais encontrados nos equipamentos eletroeletrônicos, torna-se difícil conhecer a composição desses resíduos. Entretanto, segundo Widmer et al.(2005), muitos estudos verificaram que predominam algumas categorias principais de materiais, como: metais ferrosos, metais não ferrosos, vidros, e plásticos. Os autores mostram também que materiais como o ferro e o aço predominam na composição dos equipamentos eletroeletrônicos, e que de acordo com o *European Topic Centre on Resource and Waste Management*, representam quase metade do peso total dos resíduos desses equipamentos. Os plásticos ficam em segundo lugar representando cerca de 21% do peso total dos resíduos eletroeletrônicos (REEE). Os metais não ferrosos representam 13%, e, somente o cobre representa 7% desse valor.

Com a finalidade de obter a recuperação e o aumento de disponibilidade de recursos a partir dos processos de reciclagem dos resíduos, a adoção de políticas integradas de resíduos e de gestão da produção, que abordem os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de produtos, materiais e processos, é crucial. De acordo com o Princípio dos “3Rs<sup>1</sup> - Reduzir, Reutilizar, Reciclar”, pode-se evitar e reduzir os resíduos destinados ao descarte, obtendo-se redução na extração de recursos naturais, e redução de energia, dentre outros benefícios. Para isso, torna-se necessária a revisão dos processos existentes, que podem ser aperfeiçoados por meio de processos inovadores e tecnologias mais eficazes que permitam recuperar o máximo possível de materiais e recursos.

Os processos de reciclagem, que envolvem o reuso, remanufatura e reprocessamento, têm sido estudados e avaliados de acordo com as respectivas características, vantagens, desvantagens e dificuldades encontradas na aplicação de cada um em particular. O desenvolvimento de tecnologias que viabilizem melhorias nos projetos dos produtos são meios de gerar produtos e serviços

---

<sup>1</sup> Princípio dos 3Rs: está orientado para uma mudança em busca de padrões de produção e de consumo sustentáveis. Este princípio ganhou destaque após a “Rio-92”. Estão previstos na Agenda 21, capítulo 21, a redução ao mínimo dos resíduos e a maximização da reutilização e da reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos.



realmente sustentáveis, além da criação de novos mercados. Os resultados dessas melhorias podem, por exemplo, permitir que a desmontagem dos produtos seja facilitada quando estes forem descartados, que se utilize menos materiais na produção, que se invista em sistemas de coleta seletiva eficientes, e que estratégias de remanufatura e reuso sejam incentivadas.

A remanufatura mostra-se como uma opção interessante, pois recupera os produtos ao final de vida útil, reinsere-os na cadeia produtiva, após processos de tratamento, garantindo-lhes as mesmas funcionalidades, especificações, garantia, além de preço mais baixo que o de um produto fabricado a partir de matérias-primas virgens. Esse processo torna possível a preservação dos materiais e da energia que foram dispensados na fabricação desses produtos, contribuindo dessa forma também, para a redução dos resíduos depositados nos lixões, aterros, ou vias públicas e conseqüentemente, reduzindo também os gases de efeito estufa.

A destinação inadequada de bens de consumo duráveis, como os refrigeradores, quando estes atingem o final de vida útil, sem qualquer tratamento ou controle, reflete a ausência de padrões de produção sustentáveis, desperdiçando materiais e energia, aumentando a poluição e a degradação da qualidade ambiental.

## **1.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a estratégia da remanufatura de refrigeradores domésticos no Brasil, como contribuição para o desenvolvimento sustentável. Para alcançar esse objetivo, serão identificadas dificuldades, barreiras, desafios e possibilidades da implantação dessa estratégia, além das características e particularidades da fabricação dos refrigeradores. As hipóteses são levantadas:

1. Os refrigeradores têm características adequadas para a remanufatura.
2. A remanufatura de refrigeradores é uma estratégia favorável na busca de padrões de desenvolvimento sustentáveis.
3. A contribuição da remanufatura de refrigeradores é tecnicamente viável para o desenvolvimento sustentável.
4. A contribuição da remanufatura de refrigeradores é economicamente viável para o desenvolvimento sustentável.

### 1.3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se, quanto aos objetivos, como explicativa, com elementos exploratórios e descritivos. O elemento exploratório visou dar maior familiaridade com um assunto não estudado suficientemente e ainda pouco explorado. O método de pesquisa, em função do tipo de abordagem, usou elementos quantitativos e qualitativos, utilizando-se a revisão bibliográfica para o levantamento e apresentação de informações relevantes para as questões desta pesquisa. Além das fontes bibliográficas, foram utilizados como instrumento de coleta de dados, entrevistas com profissionais com ampla experiência prática em alguns dos assuntos abordados, e, utilizando-se também, consultas às normas específicas de tratamento dos resíduos de refrigeradores e às legislações (nacional e internacional) sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

O principal objetivo da revisão bibliográfica foi identificar e selecionar o referencial teórico abrangendo as informações necessárias e relevantes sobre as características específicas da estratégia da Remanufatura e das características e particularidades dos refrigeradores, objetos do estudo. A busca de informações e dados disponíveis foi obtida em publicações abrangendo artigos científicos, dissertações e teses, livros, anotações das aulas ministradas durante o curso, normas e regulamentações referentes ao tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos além de informações por meio de “sites” com assuntos pertinentes à pesquisa, como os de fabricantes de refrigeradores, órgãos do governo, associações de fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, universidades, dentre outros.

Com base nas avaliações das informações e dos dados coletados, foram obtidas as conclusões e as verificações das hipóteses levantadas, para alcançar o objetivo principal do trabalho de pesquisa.

## **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: no capítulo 2, são apresentados os conceitos de desenvolvimento sustentável e ecologia industrial, relacionados à estratégia da remanufatura, destacando a importância de reduzir os resíduos em todas as fases do ciclo de vida dos produtos e processos, agregando valor a esses materiais, reduzindo a extração das matérias-primas e preservando os recursos naturais ao máximo; no capítulo 3, são apresentados o desenvolvimento da indústria de refrigeração e os problemas ambientais decorrentes do desenvolvimento de suas atividades, e dados gerais sobre mercado e características dos refrigeradores; no capítulo 4, é apresentado um panorama sobre o descarte e o tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e de refrigeradores, no Brasil, e em outros países; no capítulo 5, são apresentados os conceitos, características, vantagens e barreiras na implementação da estratégia de remanufatura; no capítulo 6, são apresentados os problemas e particularidades referentes às características de fabricação dos refrigeradores, o comprometimento da eficiência energética, e a relação com a estratégia da remanufatura desses produtos, e, ainda são apresentados alguns casos pontuais, onde se verificam, dentro do contexto atual, a possibilidade de remanufaturar os refrigeradores. Por último, no capítulo 7, são expostas as considerações finais sobre o trabalho da pesquisa, bem como, algumas propostas de desenvolvimento de trabalhos futuros, em torno do que foi apresentado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável vem sendo cada vez mais discutido e visto como uma necessidade para a garantia do futuro da vida da população e do planeta. Segundo Sonnemann, Castells e Schuhmacher (2003), a sustentabilidade pode ser vista como um triângulo, com cada um de seus lados representando os elementos ambientais, econômicos e sociais, e que para atingir o equilíbrio estável, é necessária atenção igual a cada um desses elementos. O desenvolvimento sustentável torna possível a utilização eficiente dos recursos, a qualidade de proteção e valorização da vida da população e do ambiente, e o estabelecimento de novas empresas para fortalecer as economias, contribuindo na construção de comunidades saudáveis, capazes de sustentar as gerações atuais e as futuras.

O interesse por produtos sustentáveis é recente, e percebe-se que a abordagem “berço-ao-túmulo”<sup>2</sup>, até então amplamente utilizada, vem sendo modificada para outro tipo de abordagem “berço-ao-berço”<sup>3</sup>. Essa nova abordagem faz com que as indústrias não se preocupem somente com a fabricação e o uso de seus produtos, mas também que tenham responsabilidade em fazer com que esses produtos ao atingirem seu fim de vida útil, sejam tratados e reintroduzidos em novos ciclos de vida.

Com objetivo de recuperar os materiais no final de vida, é importante que, na fase de concepção e de projeto do produto, já se introduzam os conceitos de redução dos materiais, redução dos impactos ambientais associados às fases do ciclo de vida do produto, e facilidade na desmontagem quando o produto for descartado, visando que seus componentes possam ser reutilizados, remanufaturados ou reprocessados.

---

<sup>2</sup> “berço-ao-túmulo”: compreende o ciclo de vida do produto desde a extração das matérias-primas até seu descarte.

<sup>3</sup> “berço-ao-berço”: compreende o ciclo de vida do produto desde a extração das matérias-primas até seu descarte, considerando seu reaproveitamento após o uso, quando retorna ao ciclo produtivo.

A perspectiva da sustentabilidade põe em discussão o atual modelo de desenvolvimento. Segundo Manzini e Vezzoli (2008), nas próximas décadas, deveremos ser capazes de passar de uma sociedade em que o bem estar e a saúde econômica são medidos em termos de crescimento da produção e do consumo de matérias primas, para uma sociedade em que seja possível viver melhor consumindo menos, e desenvolver a economia, reduzindo a produção de produtos materiais.

Dados do Relatório do *Worldwatch institute*, “Estado do Mundo - 2012” mostram que, em 2012, numa população mundial de aproximadamente sete bilhões de habitantes, a parcela representativa da população dos 16% mais ricos do mundo é responsável por 78% do total do consumo mundial, ficando para os 84% restantes da população, apenas 22% do total global a ser consumido. E, quanto aos dados dos recursos naturais, hoje são extraídas, anualmente, 60 bilhões de toneladas de recursos, 50% a mais do que há apenas 30 anos, e ainda que, entre 1950 e 2010 a produção de metais cresceu seis vezes, a de petróleo, oito, e o consumo de gás natural, quatorze vezes. Esses dados mostram claramente, o desequilíbrio dos modelos de desenvolvimento econômico, social e ambiental praticados atualmente.

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), consumo sustentável é definido como: o uso de bens e serviços que atendam às necessidades básicas (alimentação, saúde, educação, saneamento, moradia, lazer, e etc.) proporcionando uma melhor qualidade de vida, enquanto minimizam o uso dos recursos naturais e materiais tóxicos, a geração de resíduos e a emissão de poluentes durante todo ciclo de vida do produto ou do serviço, de modo que não se coloque em risco as necessidades das futuras gerações.

Em 1987, foi publicado o “Relatório “Nosso Futuro Comum”, pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, elaborado pela Comissão *Brundtland*. Nesse relatório apresentava-se um alerta para a necessidade das nações se engajarem na busca por alternativas ao rumo do desenvolvimento econômico atual, com objetivo de evitar a degradação ambiental e social do planeta.

Nesse relatório, definiu-se um conceito, hoje consagrado, de Desenvolvimento Sustentável:

“(...) aquele desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades (...)”

Vários autores concordam que a partir desse relatório o crescimento da consciência sobre os danos que o modelo de desenvolvimento econômico atual sinaliza, aumentou significativamente. Dessa forma, a interligação entre o desenvolvimento sócio-econômico e as transformações e degradações ao meio ambiente, ignorados por décadas, entraram no discurso oficial da maioria das nações.

O conceito de desenvolvimento sustentável é um contraponto aos tradicionais modelos de desenvolvimento econômico. As sociedades modernas vêm pouco a pouco se conscientizando e reconhecendo, em todas as suas dimensões, os problemas inerentes à contínua busca do crescimento econômico e do consumo. Esse crescimento passa a considerar, cada vez mais, suas repercussões e seus impactos negativos na sociedade e no meio ambiente, identificando custos econômicos expressivos anteriormente desprezados. O reconhecimento da necessidade de minimizar esses custos representa uma excelente oportunidade de transformar as práticas atuais de desenvolvimento econômico em todo o mundo, criando as condições para a implementação do desenvolvimento sustentável.

Para Ignacy Sachs, o desenvolvimento sustentável, é uma visão do desenvolvimento em que os objetivos são sempre os sociais, existe uma condicionalidade ambiental e, para que as coisas aconteçam, é preciso dar às propostas uma viabilidade econômica. Há mais de 40 anos o autor defende a idéia de que o desenvolvimento ambiental não pode ser dissociado das questões sociais e econômicas. E, para haver uma relação de equilíbrio entre essas vertentes, é preciso intervenção do Estado para conter o mercado, que de forma geral não se preocupa com os custos sociais e ambientais.

Em 1992, a relação entre o meio ambiente e o desenvolvimento, e a necessidade urgente para o desenvolvimento sustentável foi reconhecida em todo mundo. As amplas recomendações do Relatório da comissão *Brundtland* levaram à realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, conhecida como “Cúpula da Terra”, “Eco 92”,

ou “Rio 92”. Essa conferência foi um marco importante, com representantes de 178 países e a participação de 112 chefes de Estado (LEMOS e BARROS, 2006), onde foram abordados e discutidos assuntos de extrema relevância para o desenvolvimento das nações, vinculado à preservação e conservação do planeta. Como resultado, foi elaborado um documento, acordado e assinado pelos Chefes de Estado participantes, denominado “Agenda 21”, esse nome foi usado no sentido de intenções do desejo de mudanças para um novo modelo de desenvolvimento para o século XXI.

Com o avanço das discussões sobre o significado da idéia de desenvolvimento sustentável, começaram a surgir iniciativas para concebê-la no contexto das empresas. Entre elas, a iniciativa do sociólogo inglês John Elkington, pregando um modelo de mudança social fundamentado no “*Triple Bottom Line*” ou “Tripé da sustentabilidade”, que prevê a integração entre as dimensões econômica, humana e ambiental, com o propósito de prestar atendimento, de forma equilibrada, às pessoas, ao planeta e aos lucros. Elkington enfatiza que a sustentabilidade deve ser entendida como um modelo de gestão de negócios que visa o lucro para os acionistas, envolvendo o desenvolvimento econômico, a promoção social e a proteção dos recursos naturais do planeta. E, que nas estratégias de negócios, ao gerar valores econômicos, sociais e ambientais, as empresas podem valorizar suas marcas e fortalecer sua participação no mercado.

Em 2012, no período de 20 a 22 de junho, vinte anos após a Rio 92, foi realizada no Rio de Janeiro, mais uma Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20. Desse encontro, resultou a Declaração Final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (RIO + 20), um documento intitulado como “O FUTURO QUE QUEREMOS”, com 53 páginas, acordado por 188 países.

Nesse documento, renova-se o compromisso com o desenvolvimento sustentável e com a promoção de um futuro econômico, social e ambientalmente sustentável para o planeta e para as atuais e futuras gerações. Destaca-se também, que o maior desafio global que o mundo enfrenta é a erradicação da pobreza e da fome (requisitos indispensáveis quando se busca o desenvolvimento sustentável).

Há um consenso de que a erradicação da pobreza, a mudança dos modos inviáveis de consumo e produção para modos sustentáveis, bem como a proteção e gestão dos recursos naturais, que estruturam o desenvolvimento econômico e social, são objetivos fundamentais e requisitos essenciais para o desenvolvimento sustentável.

Do ponto de vista de Sachs (2012), a Rio+20 deve ser vista essencialmente como uma conferência que traça direções para orientar os países membros das Nações Unidas a redefinirem suas estratégias de longo prazo, para que, em conjunto, possam assegurar, até 2050 (quando seremos 9 bilhões de habitantes), condições dignas de vida para a população, e ao mesmo tempo, mitigar as mudanças climáticas deletérias. E, dessa forma, dois grandes desafios (que estão inteiramente interligados) deverão ser enfrentados: conter as mudanças climáticas e por fim a grande desigualdade nas condições e na qualidade de vida existentes em nações e entre nações.

Sachs afirma ainda que, mais do que nunca, é necessário combinar justiça social e prudência ambiental, e que o tempo para realizarmos as mudanças nas estratégias globais de desenvolvimento estão se esgotando. Sachs defende a idéia que, se quisermos adotar estratégias de longo prazo para alcançar o bem-estar da geração atual e das futuras gerações, devemos considerar cinco fatores: um contrato social renovado (reduzir as disparidades sociais existentes), planejamento democrático de longo prazo, segurança alimentar, segurança energética e cooperação internacional.

O principal problema é, ainda hoje, depois de inúmeras conferências, debates e acordos, ser o desenvolvimento sustentável uma daquelas belas idéias com as quais todos concordam, mas que se torna um vespeiro na hora do desdobramento em medidas práticas. Todas as definições são imprecisas e vagas, e não fica claro até que ponto a sustentabilidade do planeta será de fato respeitada e perseguida. O documento “O Futuro como queremos” resultante da Rio+20, obteve várias críticas. Um dos problemas apontados é a falta de detalhes práticos de como seus objetivos serão alcançados, pois não foram estabelecidas metas. A força política do evento também foi questionada, devido à ausência de líderes importantes, como o



presidente norte-americano, a chanceler da Alemanha, e o primeiro-ministro do Reino Unido.

### 2.1.1 AGENDA 21

A Agenda 21 é um programa de ações baseado num documento de quarenta capítulos, que constitui, até então, a mais abrangente tentativa de promover, em escala global, um novo padrão de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável. É um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

As estratégias para a efetivação das ações de consumo sustentável têm sido amplamente discutidas em fóruns internacionais sobre desenvolvimento e meio ambiente com base nos princípios estabelecidos pela Agenda 21, que no Capítulo 4 – **“Mudanças dos Padrões de Consumo”** – enfatizam que mudanças no estilo de vida, nos padrões de produção e nos hábitos de consumo são imprescindíveis para o alcance do desenvolvimento sustentável.

O documento apresenta propostas concretas, o Capítulo 4 se divide em duas áreas de programas de ação:

- a) Exame dos padrões insustentáveis de produção e consumo; e
- b) Desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais de estímulo a mudanças nos padrões insustentáveis do consumo.

A área do programa de Exame dos padrões insustentáveis de produção e consumo, tem sua base de ação definida no item 4.3 :

“A pobreza e a degradação do meio ambiente estão estreitamente relacionadas. Enquanto a pobreza tem como resultado determinados tipos de pressão ambiental, as principais causas da deterioração ininterrupta do meio ambiente mundial são os padrões insustentáveis de consumo e produção, especialmente nos países industrializados. Motivo de séria preocupação, tais padrões de consumo e produção provocam o agravamento da pobreza e dos desequilíbrios”.

Alguns pontos desse capítulo merecem destaque, como, por exemplo:

a) Quanto ao atendimento dos objetivos destaca-se, no item 4.7:

“É preciso adotar medidas que atendam aos seguintes objetivos amplos:

(a) Promover padrões de consumo e produção que reduzam as pressões ambientais e atendam às necessidades básicas da humanidade;

(b) Desenvolver uma melhor compreensão do papel do consumo e da forma de se implementar padrões de consumo mais sustentáveis.”;

b) Para atender a esses objetivos os países devem engajar-se e empenhar-se em abordar atividades e práticas que visem à promoção e adoção de padrões sustentáveis de consumo, e, sobretudo, os países desenvolvidos devem assumir a liderança nessas práticas; e

c) No item 4.10, sobre os dados e informações na execução de pesquisas sobre o consumo, são importantes:

- Expandir ou promover bancos de dados sobre a produção e o consumo desenvolvendo metodologias para analisá-los;
- Avaliar as conexões entre produção e consumo, meio ambiente, adaptação e inovação tecnológicas, crescimento econômico e desenvolvimento, e fatores demográficos;
- Examinar o impacto das alterações em curso sobre a estrutura das economias industriais modernas que venham abandonando o crescimento econômico com elevado emprego de matérias-primas;
- Considerar de que modo as economias podem crescer e prosperar e, ao mesmo tempo, reduzir o uso de energia e matéria-prima e a produção de materiais nocivos;
- Identificar, em nível global, padrões equilibrados de consumo que a Terra tenha condições de suportar em longo prazo;

A área de programa do desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais para estimular mudanças nos padrões insustentáveis de consumo, tem sua base de ação definida no item 4.15:

“A fim de que se atinjam os objetivos de qualidade ambiental e desenvolvimento sustentável será necessária eficiência na produção e mudanças nos padrões de consumo para dar prioridade ao uso ótimo dos recursos e à redução do desperdício ao mínimo. Em muitos casos, isso irá exigir uma reorientação dos atuais padrões de produção e consumo, desenvolvidos pelas sociedades industriais e por sua vez imitados em boa parte do mundo”.

No alcance desses objetivos deverão ser adotadas medidas eficazes tais como atividades que estimulem a uma maior eficiência energética, no uso da energia e dos recursos naturais.

No item 4.18, observa-se que a eficiência energética, no uso da energia e dos recursos naturais utilizados na produção de bens e serviços, pode contribuir simultaneamente para a mitigação dos problemas ambientais e o aumento da produtividade e competitividade econômica e industrial. E que para isso, os Governos, e as indústrias, devem intensificar os esforços para utilizar a energia e os recursos de modo economicamente eficaz e ambientalmente saudável.

Nesse mesmo item foram destacadas algumas atividades que estimulam a eficiência de energia e de recursos, tais como:

- Estimular a promoção da pesquisa e do desenvolvimento, e a difusão das tecnologias ambientalmente saudáveis, auxiliando os países em desenvolvimento na utilização eficiente dessas tecnologias e no desenvolvimento de tecnologias apropriadas às suas circunstâncias específicas
- Estimular o uso de fontes de energia renováveis; e
- Estimular o uso ambientalmente saudável dos recursos naturais.

Outro ponto de suma importância na busca do desenvolvimento sustentável, sem qualquer dúvida, é quanto à redução ao mínimo, preferencialmente a zero, na geração de resíduos. É necessário que se faça um esforço conjunto, de governos, indústrias e sociedade, no sentido de desenvolver e promover ações eficazes na redução de resíduos, adotando, por exemplo, estímulo às práticas de reuso, remanufatura e reciclagem nas atividades dos processos industriais e nos produtos pós-consumo. De modo a facilitar tais práticas, é necessário desenvolver produtos

projetados para a desmontagem, favorecendo dessa forma o reaproveitamento dos materiais e a redução no uso de energia, e a redução do volume de lixo.

### **2.1.2 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS DE CONSUMO**

O auxílio aos consumidores, na tomada de decisões de compras ambientalmente saudáveis, também está incluído na adoção de práticas sustentáveis. Observa-se atualmente a presença de um público consumidor mais informado e consciente das questões ambientais. Com base nos novos interesses desses consumidores, e para que se estimule essa atitude, as indústrias devem fornecer bens de consumo que sejam benéficos ao meio ambiente, satisfazendo essas novas necessidades.

Com relação à atenção dos consumidores nas escolhas de produtos ambientalmente amigáveis, o item 4.20 da Agenda 21 mostra a importância dos Governos e das organizações internacionais, juntamente com o setor privado, em desenvolver critérios e metodologias de avaliação dos impactos sobre o meio ambiente e do uso de recursos durante todos os processos e ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Os resultados de tal avaliação devem ser transformados em indicadores claros para informação dos consumidores na tomada de decisões. (Agenda 21, Capítulo 4)

Atualmente, o consumidor pode escolher ao comprar um eletrodoméstico, aquele que apresente menor consumo de energia elétrica. Isso se torna possível mediante programas de etiquetagem, como o do INMETRO, no Brasil, que fornece informações necessárias e de fácil acesso aos consumidores, adotando etiquetas de eficiência energética como o selo PROCEL, e essa prática se tornou um diferencial relevante na tomada de decisão na compra de eletrodomésticos.

O desenvolvimento sustentável deve superar alguns desafios como a garantia e oferta de energia, bens e consumo necessários para o crescimento econômico, proporcionando níveis adequados de qualidade de vida à população não onerando de forma irreversível os estoques de recursos naturais do planeta e não contribuindo para o aquecimento global.

A exacerbação do consumo material não é, de modo algum, indicador de felicidade. Por outro lado, precisamos ser capaz de fornecer renda razoável e garantir padrões de vida material decentes a cada um dos habitantes desse planeta, ou seja, devemos aprender a autocontrolar nosso consumo material. (Sachs, 2012)

Segundo o economista Eduardo Giannetti Fonseca (2011), o meio ambiente não é tratado de forma ética porque a natureza é vista como um bem de consumo sem ônus ou custo algum. E, o modelo econômico vigente, baseado no sistema de preços, não sinaliza de maneira adequada os custos reais envolvidos nas nossas escolhas tanto em produzir quanto em consumir. (GIANNETTI, E., 2011)

Nos últimos 20 anos, a humanidade alcançou avanços tecnológicos que permitiram uma produção com redução do uso de materiais e da emissão de gases de efeito estufa. Segundo Abramovay (2012), embora tenha sido possível produzir bens de consumo emitindo 21% a menos de gases de efeito estufa e consumindo 23% menos materiais, o crescimento econômico mundial foi tão expansivo, nessas duas últimas décadas, que os esforços econômicos e ambientais não surtiram efeito. Isso fez com que o planeta fique cada vez mais próximo de seus limites, aumentando os riscos das mudanças climáticas. Abramovay destaca que os desafios para o planeta atingir a sustentabilidade perpassam por mudanças não só na forma de produzir bens de consumo e serviço, mas também de repensar a Ciência Econômica. (ABRAMOVAY, 2012)

## **O PARADOXO DE JEVONS**

No século XIX o economista britânico Stanley Jevons, descobriu que melhorar a eficiência dos produtos, poderia ter um agravante. No auge da revolução industrial, ele percebeu que, se o consumo de carvão continuasse crescendo, o custo de sua produção ficaria caro e as economias européias terminariam estranguladas pelos altos custos da sua principal fonte de energia. Ao contra-argumento de que a eficiência do carvão aumentaria, ele respondeu que melhorar essa eficiência também aumentaria o consumo de carvão. O raciocínio é de que, no início, subiria a lucratividade das siderúrgicas, o que atrairia mais capital ao setor, aumentaria a oferta e derrubaria o preço do carvão. Isso elevaria a demanda e exigiria um consumo de carvão maior do que quando havia máquinas menos eficientes. Jevons

só não foi capaz de prever que, poucas décadas depois, viria uma segunda revolução industrial, na qual as fontes primárias de energia seriam do petróleo e da energia elétrica. (GIANNETTI, E., 2012)

A expressão “Paradoxo de Jevons” passou a se referir a qualquer situação em que melhorias na eficiência aumentavam o consumo, e não o oposto. Isso põe em cheque boa parte das ações de sustentabilidade das empresas. Muitas empresas apóiam sua contribuição para o consumo sustentável com o aumento da eficiência de seus produtos.

Em 1960, 80% dos domicílios americanos não tinham ar-condicionado. O equipamento era caro e o custo de energia, elevado. Hoje, 84% dos domicílios têm aparelhos de ar-condicionado. Entre 1993 e 2005, a eficiência energética dos aparelhos de ar-condicionado aumentou 20%, enquanto o consumo médio por aparelho aumentou 35%. Ficou tão barato que as pessoas simplesmente, deixam os aparelhos ligados. A China, entre 1997 e 2007, triplicou o número de aparelhos, e estão só começando. A Índia vem no mesmo caminho. Vai crescer dez vezes o uso de ar-condicionado entre 2005 e 2030. Com o compressor cada vez mais barato e a eficiência maior, a tendência é que o consumo vai aumentar. (GIANNETTI, E., 2012)

## **2.2 ECOLOGIA INDUSTRIAL**

As primeiras idéias do que hoje se denomina ecologia industrial surgiram entre as décadas de 80 e 90. O conceito de ecologia industrial pode ser entendido como o estudo das interações entre o sistema industrial e o ecossistema ecológico, que sob a perspectiva da ecologia industrial passa a ser considerado como um ecossistema industrial (ERKMAN, 1997; ERKMAN, 2001).

De forma análoga ao ecossistema, o sistema industrial, sob a ótica da ecologia industrial, é visto como um circuito fechado de materiais, onde os resíduos gerados em um processo podem ser utilizados como insumos em outro processo, e o conceito de resíduo deixa de existir, pois esses resíduos se tornam matérias-primas e retornam ao processo produtivo.

O conceito de ecologia industrial passou a ser amplamente divulgado a partir de 1989 quando *Frosch* e *Gallopoulos* publicaram um artigo intitulado “*Strategies for*

*Manufacturing*”, onde argumentam ser possível desenvolver métodos de produção com menor impacto ao ambiente, substituindo os processos isolados por sistemas integrados, que chamaram de ecossistemas industriais. A lógica de produção isolada, baseada no uso de matérias-primas que resultam em produtos e resíduos, se modificaria e seria substituída por sistemas que possibilitassem o aproveitamento dos resíduos como insumos no processo produtivo.

Graedel e Allenby (1995) definiram o conceito de ecologia industrial como:

“Ecologia industrial é o meio pelo qual a humanidade pode deliberada e racionalmente se aproximar e manter uma capacidade de carga desejável, continuando sua evolução econômica, cultural e tecnológica. O conceito requer que um sistema industrial não pode ser visto isoladamente de seus sistemas adjacentes, mas, em conjunto com eles. É uma visão sistêmica em que se busca otimizar o ciclo total de materiais a partir do material virgem, do material acabado, do componente, do produto, do produto obsoleto, até o descarte final. Fatores a serem otimizados incluem recursos, energia e capital.”

Segundo Gianetti e Almeida (2006), a ecologia industrial é parte de uma ciência “otimista”, pois parte da premissa de que é possível reorganizar os fluxos de matérias e de energia que circulam pelo sistema industrial, de maneira a torná-lo um circuito quase que totalmente fechado e compatível com a vida do planeta. Dessa forma será possível tornar ambientalmente sustentáveis os sistemas criados pelo homem. Os autores ressaltam ainda que a Ecologia Industrial modifica consideravelmente a forma de se pensar: em vez de agir localmente e no curto prazo, a estratégia consiste em agir de forma sistêmica, com resultados sustentáveis, local e globalmente, a curto e a longo prazo.

Erkman (2001) comparou os conceitos de metabolismo industrial e de ecologia industrial. O metabolismo industrial abrange o fluxo de matéria prima e energia em um sistema industrial, com uma visão analítica e descritiva, tentando entender os fluxos de entrada (matéria prima e energia) e os fluxos de saída (efluentes, resíduos), desde a extração dos recursos naturais até sua reintegração nos ciclos biogeoquímicos. Quanto à ecologia industrial, a intenção é entender o funcionamento do sistema industrial, para depois determinar como se pode reestruturá-lo para que se assemelhe a um ecossistema natural. Segundo o autor, a ecologia industrial não analisa apenas o funcionamento dos sistemas industriais,

como ocorre no metabolismo industrial, mas propõe também uma reestruturação do ecossistema industrial compatível com os ecossistemas naturais, considerando também a ótica da sustentabilidade.

A ecologia industrial pode trazer ganhos importantes para a qualidade ambiental. Dentre os inúmeros benefícios, pode-se destacar a redução da extração e do consumo de recursos naturais; a redução da poluição, o aumento da eficiência energética, a redução do volume de resíduos gerados e o valor que esses resíduos passam a ter no mercado. Do ponto de vista econômico, destacam-se a redução dos custos com matéria-prima, água e energia, além de melhorar a imagem da empresa no mercado. No conjunto, o maior benefício é a possibilidade de alcançar padrões sustentáveis de produção e de consumo, reduzindo-se os impactos ambientais das atividades industriais, tornando o sistema industrial compatível com o conceito da sustentabilidade.

Segundo Chertow (2000), a ecologia industrial pode ser aplicada dentro da própria indústria, entre indústrias, e em nível regional ou global. Contribuem para a construção da ecologia Industrial ferramentas como a Prevenção da Poluição, a Produção mais Limpa, e o Projeto para o Meio Ambiente (*Design for Environment*). Essas ferramentas estão contribuindo para mudar a forma como os produtos são fabricados e a forma como os serviços são fornecidos aos clientes. Entre indústrias, tem-se a avaliação do ciclo de vida (ACV), a simbiose industrial e os parques industriais ecológicos. Quanto ao nível regional ou global, tem-se a análise do fluxo de materiais e energia, os planos de desenvolvimento regional ou nacional e a avaliação ambiental estratégica, dentre outros.

A criação de um ecossistema industrial sustentável é altamente desejável do ponto de vista ambiental e, em alguns casos é altamente lucrativa. No entanto, há uma série de barreiras que podem trazer insucesso à sua implementação. Atitudes empresariais e públicas devem mudar para favorecer a abordagem ecossistêmica e as regulamentações dos governos devem tornar-se mais flexíveis de modo a não prejudicar indevidamente a reciclagem e outras estratégias para minimização de resíduos. (FROSCH E GALLOUPOULOS, 1989)



Frosch e Galloupoulos fazem referências ao aumento da população e ao desenvolvimento sustentável, quando falam das estimativas de que até 2030, dez bilhões de pessoas estejam vivendo no planeta, e que, idealmente, todos desfrutariam de níveis de qualidade de vida equivalentes aos dos países altamente industrializados como os EUA e o Japão. Se consumirem recursos naturais críticos, como cobre, cobalto, níquel, molibdênio e petróleo a preços atuais dos EUA, e se novos recursos não forem descobertos ou substitutos não forem desenvolvidos, tal ideal duraria no máximo uma década. Quanto aos resíduos, considerando-se as taxas dos EUA, dez bilhões de pessoas poderiam gerar 400 bilhões de toneladas de resíduos sólidos a cada ano, o suficiente para enterrar a grande Los Angeles a cem metros de profundidade. (FROSCH E GALLOUPOULOS, 1989)

Os autores ressaltam que estes cálculos não se destinam a previsões de um futuro sombrio; em vez disso, eles enfatizam os incentivos para a reciclagem, conservação e uma mudança para materiais alternativos. Reconhecem também que o modelo tradicional de atividade industrial (em que os processos de fabricação individuais transformam as matérias-primas em produtos, e estes geram resíduos a serem descartados), deve ser transformado em um modelo mais integrado, onde o consumo de energia e materiais é otimizado, a geração de resíduos é minimizada e os efluentes do processo servem como matéria-prima para outro processo.

No Quadro 1, são destacadas três linhas de estudos aplicadas no campo da Ecologia Industrial, cada uma com um tratamento específico. A primeira se refere aos fluxos de materiais de um determinado sistema industrial com o intuito de identificar, avaliar e adotar alternativas de maior eficiência no uso dos recursos naturais em direção à “desmaterialização” da produção. A segunda analisa os modos pelos quais diferentes fluxos materiais de um determinado produto podem ser modificados ou redirecionados para otimizar a interação entre produto e meio ambiente. A terceira tem um foco regional, e privilegia uma rede de energia e de materiais dos chamados parques industriais ecológicos ou “eco parques”, que reúnem plantas industriais que trocam entre si, rejeitos de produção que se tornam insumos em outros processos produtivos nessa rede. (COSTA, 2002)

**Quadro 1 Linhas de estudos aplicadas no campo da Ecologia Industrial.**

<b>Otimização dos fluxos de energia e materiais na produção</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação do metabolismo industrial, a partir do inventário do fluxo de energia, água e matérias-primas;</li> <li>• Prevenção de poluição; com ações focadas na fonte de emissão de poluentes; Redução do uso de substâncias tóxicas;</li> <li>• Controle de poluição e gerenciamento de resíduos com controle de poluentes após a geração;</li> <li>• Eficiência no uso de energia e materiais; e</li> <li>• Uso de energias renováveis.</li> </ul>
<b>Fechamento dos Ciclos de Materiais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso e Remanufatura, com a extensão da vida útil de produtos;</li> <li>• Reciclagem de produtos, materiais e componentes, reduzindo o uso de matérias-primas virgens; e Reciclagem de embalagens;</li> <li>• Subprodutos e resíduos como insumos para outras atividades; e</li> <li>• Sistemas Industriais localmente integrados, como os parques industriais ecológicos.</li> </ul>
<b>Desmaterialização (Produzir mais, utilizando menos materiais)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ênfase na oferta de serviços;</li> <li>• Extensão da vida útil dos produtos; e</li> <li>• Redução do uso de energia e de materiais.</li> </ul>

Se as empresas assimilarem os princípios da ecologia industrial, e colocá-los em prática, poderão observar mudanças significativas nos seus processos industriais. Mesmo que não se resolvam definitivamente os problemas de poluição e escassez de recursos, pode-se esperar que tais princípios representem passos importantes na direção à sustentabilidade.

A avaliação do ciclo de vida e o projeto para o meio ambiente são exemplos de ferramentas utilizadas para implantar melhorias de desempenho ambiental nas empresas. De acordo com Giannetti e Almeida (2006), essas ferramentas são a maneira racional de se avaliar e comunicar, sob a ótica da ecologia industrial, se as mudanças propostas ou implementadas satisfazem a melhoria do desempenho ambiental.

### **2.2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Em meio às crescentes preocupações com a escassez de recursos naturais e o aumento da geração de resíduos, é cada vez mais importante a aplicação de ferramentas, políticas e metodologias que reduzam os impactos ambientais das atividades produtivas e que promovam padrões de produção mais sustentáveis. Visando atender às necessidades das indústrias quanto à relação de suas atividades com o meio ambiente, tornou-se importante identificar e avaliar os impactos ambientais potencialmente associados com essas atividades, para que seja possível melhorar a eficiência de seus processos e de seus produtos.

Segundo Silva e Kulay (2006) os produtos são manufaturados com objetivo de cumprir uma função. Isso significa que o potencial de impacto ambiental referente a esse produto não se esgota ao final de sua manufatura; a distribuição do produto, sua utilização pelo consumidor, seu destino após o uso, sua reutilização, alguma forma de reaproveitamento ou seu descarte, são atividades que podem impactar significativamente o meio ambiente. Sendo assim, todos os impactos deverão ser considerados na avaliação do desempenho ambiental desse produto. Os autores ressaltam ainda, que a manufatura dos produtos não é em si um fim, mas um meio de atender uma necessidade ou desejo da sociedade.

O conceito de Ciclo de Vida é o conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra sua função, considerando-se desde a extração dos recursos naturais até seu descarte, após sua utilização. A partir desse conceito foi desenvolvida uma técnica para avaliação do desempenho ambiental de um produto ao longo de todo seu ciclo de vida, denominada “Avaliação do ciclo de vida” (ACV), que identifica todas as atividades ocorridas no ciclo de vida do produto e avalia os potenciais impactos ambientais associados a essas atividades.

A ACV é um instrumento de gestão ambiental que permite às organizações conhecerem as incidências ambientais dos materiais, dos processos e dos produtos, podendo a partir dessas informações desenvolverem novos produtos e detectar melhorias a serem aplicadas.

Na definição da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC<sup>4</sup>):

"A avaliação do ciclo de vida é o processo objetivo de avaliar as cargas ambientais associadas com um produto, processo ou atividade através da identificação e quantificação do uso de energia e matéria e de emissões ambientais, o impacto do uso da energia e material e das emissões, e a determinação de oportunidades de melhorias ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, envolvendo extração e processamento de matérias-primas, fabricação, transporte, e distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem, e disposição final."

O estudo da avaliação do ciclo de vida compreende quatro estágios: a definição do objetivo e do escopo do estudo; a análise do inventário; a avaliação dos impactos ambientais e a interpretação dos dados obtidos para as conclusões e recomendações pertinentes. Segundo Graedel e Allenby (1995), talvez não haja momento mais crítico no início de uma avaliação de ciclo de vida do que definir precisamente o escopo da análise, ou seja, é necessário determinar com precisão que materiais ou processos serão considerados, quais os limites do estudo, determinando a partir de onde será iniciado e finalizado o processo a ser considerado, para que se obtenham ótimos resultados para uma avaliação consistente.

Normas específicas definem a estrutura geral, os princípios e requisitos para conduzir e relatar os estudos de ACV. É importante que sejam definidos requisitos para padronização de termos e critérios da ACV para evitar discrepâncias e

---

<sup>4</sup> SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) foi fundada em 1979, foi o primeiro organismo em nível internacional que reuniu todos os estudos realizados, com objetivos de sistematizar uma metodologia e critérios para o desenvolvimento da ACV, e sua contribuição teve um papel decisivo no aperfeiçoamento da ferramenta de ACV, criando as bases necessárias para a construção de metodologias padronizadas de uso universal. A SETAC é atualmente o principal fórum mundial de debates e discussões sobre a técnica de ACV.

resultados incorretos. No Brasil, estão em vigor duas normas de avaliação do ciclo de vida publicadas pela ABNT, que têm como referência as normas equivalentes da *International Organization for Standardization - ISO*: ABNT NBR ISO 14040:2009 – “Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura”; e ABNT NBR ISO 14044:2009 – “Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações”.

De uma maneira resumida, pode-se dizer que um estudo de ACV consiste da identificação das entradas de matéria e de energia do meio ambiente para o sistema que constitui o ciclo de vida do objeto do estudo e das saídas de matéria e energia desse sistema para o meio ambiente, e da avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a essas entradas e saídas. (SILVA e KULAY, 2006)

Uma descrição básica das principais fases de um estudo de ACV, de acordo com Chehebe (2002) e Silva e Kulay (2006) será descrita a seguir:

- Definição do objetivo do estudo - Nessa fase, são definidos os aspectos estratégicos relacionados a questões que devem ser respondidas, e ao público alvo a quem se destina o estudo. Os objetivos devem ser bem definidos, e ter consistência com a aplicação pretendida com o estudo. A definição dos limites deve obedecer a certo compromisso entre a precisão dos resultados e a viabilidade prática da execução do estudo.
- Análise do inventário: é a fase referente à coleta de dados e aos procedimentos dos cálculos. Essa fase é a mais difícil e trabalhosa, por uma série de razões que vão desde a falta de dados, à necessidade de estimá-los e a qualidade dos dados disponíveis.
- Avaliação dos impactos ambientais: nessa fase, o passo inicial é a definição das categorias de impacto que serão consideradas no estudo a partir dos dados do inventário. Essas categorias normalmente são as seguintes:
  - Consumo de recursos naturais;
  - Aquecimento global;
  - Redução da camada de ozônio;
  - Acidificação;
  - Eutrofização;

- Formação fotoquímica de ozônio; e
  - Toxicidade.
- Interpretação dos dados: são identificadas as questões ambientais mais significativas e feitas avaliações que podem, por exemplo, checar a integridade, sensibilidade e consistência dos dados, e por fim as conclusões e recomendações e o relatório final.

Depois de estabelecidas as categorias de impacto ambiental, são feitas a classificação, correlacionando os dados do inventário com os efeitos ambientais para os quais cada aspecto pode contribuir potencialmente. Após a classificação é realizada a caracterização, onde é calculado um indicador para cada uma das categorias selecionadas, que mede a magnitude dos potenciais impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida do produto, utilizando fatores de caracterização. As quantidades de cada substância são multiplicadas por estes fatores. Esses resultados são somados por categoria. Por fim, os resultados são normalizados, se necessário, e obtém-se o perfil ambiental do produto.

Algumas considerações devem ser feitas: primeiro, devido à complexidade da metodologia, os critérios adotados na definição da coleta de dados podem influenciar significativamente nos resultados finais da avaliação; segundo, o elevado custo da execução de uma ACV, principalmente devido ao número de dados envolvidos, é um dos obstáculos na difusão do uso dessa ferramenta; terceiro, em muitos casos a coleta de dados acaba sendo inviabilizada pelos mais diversos motivos, como o desinteresse de empresas ou de setores produtivos e a preservação da confidencialidade de uso de determinados insumos e tecnologias; e, por último, a disponibilidade de um banco de dados viabilizaria e reduziria as limitações encontradas normalmente nos estudos da ACV.

Segundo Silva e Kulay (2006), a maioria dos softwares disponíveis que são utilizados como apoio na execução do estudo da ACV tem incorporado extenso banco de dados previamente definidos, com informações de alguns elementos como energia, materiais e transportes. Os autores ressaltam ainda que os bancos de dados têm caráter regional, e podem variar significativamente de uma região para

outra, podendo influenciar nos resultados finais quando essas diferenças não forem respeitadas.

Segundo Chehebe (2002), a ACV encoraja as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção, contribuindo para melhorar o entendimento dos aspectos ambientais relacionados aos processos produtivos de uma forma mais abrangente, identificando oportunidades para melhorias.

Anderi e Kulay (2006) afirmam ser possível dividir as aplicações da ACV em duas vertentes: a comparação do desempenho ambiental de produtos que cumpram uma mesma função, e a identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental. Os autores ressaltam ainda que a ACV seja a única técnica de gestão ambiental que possibilita a comparação do desempenho ambiental entre produtos.

Almeida e Giannetti (2006) ressaltam que embora a comparação de desempenho ambiental seja bastante utilizada entre as aplicações da ACV, o emprego dessa técnica para melhorar produtos é mais importante, pois pode identificar processos, componentes e sistemas para a minimização de impactos ambientais.

### **2.2.2 PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE OU *DESIGN FOR ENVIRONMENT* (DFE)**

Um dos maiores desafios das empresas é buscar alternativas que permitam o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis e com melhor desempenho ambiental. O *DfE* (também conhecido como “*eco-design*”) analisa todo o ciclo de vida do produto e propõe alterações no projeto, de forma a minimizar seu impacto ambiental, desde a fabricação até o descarte desse produto.

O projeto tradicional de um produto visa satisfazer às necessidades de sua utilização pelo consumidor e não considera seu destino após o uso ou os impactos decorrentes de seu ciclo de vida. Pode incluir critérios como bom desempenho da sua função, fabricação eficiente e uso de técnicas e materiais apropriados, facilidade de uso e segurança, qualidades estéticas e visuais e boa relação custo/benefício. (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006)

O *DfE* aborda os problemas ambientais associados a um determinado produto, na sua fase de concepção. Isto é, considera a variável ambiental como um dos requisitos do produto além dos objetivos de desempenho, qualidade, funcionalidade, e custo, e tem como finalidade projetar e fabricar produtos com menor carga ambiental associada ao seu ciclo de vida. Também pretende fazer a desmaterialização e a retirada dos materiais tóxicos do projeto, ou seja, tirar a maior quantidade possível de materiais - especificamente, substâncias perigosas - sem comprometer a função a que o produto se destina. (SONNEMAN et al., 2003)

Considerando-se o impacto ambiental que um produto possa causar durante seu ciclo de vida, o *DfE* pode contribuir com o desenvolvimento de produtos melhores. Com base na ACV, pode-se projetar um produto com o conhecimento do fluxo total dos materiais, desde a extração das matérias-primas até seu descarte; pesquisar materiais que facilitem a reciclagem; desenvolver novas tecnologias e sistemas produtivos, com propósito de oferecer produtos ambientalmente amigáveis. (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006)

Segundo Graedel e Allenby (1996), pode-se pensar em *DfE* como a soma de duas atividades centradas. A primeira, prevenção à poluição, é em grande parte direcionada a processos e produtos, minimizando seu impacto ambiental, e ações típicas incluem, por exemplo, prevenção de vazamentos, conservação de energia, e melhorias nas embalagens. A segunda atividade, projeto do processo e do produto, tem um horizonte de tempo mais longo e muitas vezes lida com produtos e processos anteriores à sua introdução. Ações típicas incluem, por exemplo, o desenvolvimento de modularidade, a minimização da diversidade de materiais, projetos energeticamente eficientes, e substituições de processo.

O ponto mais importante é reconhecer que a integração entre meio ambiente e tecnologia, em todas as operações de uma empresa, representa uma mudança significativa e fundamental para a organização. Esta mudança requer que as questões ambientais se tornem estratégicas para a empresa, assim como as condições competitivas e econômicas o são. Um ponto relacionado é que as restrições e barreiras à implementação do *DfE* são suscetíveis de serem culturais e organizacionais, e não técnicas. É a necessidade de implementar mudanças



fundamentais dentro de uma organização complexa, e não o desenvolvimento de tecnologias necessárias para as mudanças - esse é o maior desafio para implementar o *DfE*. (GRAEDEL e ALLENBY, 1996)

A redução do uso de matérias-primas e recursos incorporados no produto, ou devido à sua utilização, a redução ou eliminação de resíduos gerados durante seu ciclo de vida e no final de sua vida útil, contribuem para a redução de impactos ambientais. A extensão da vida útil de um produto tem como objetivo prolongar o tempo de utilização desse produto e dos materiais que foram incorporados na sua produção. Para isso, o desenvolvimento do produto deve prever sua maior durabilidade, sua reutilização para a remanufatura, ou ainda, a reciclagem dos materiais que o compõe.

Quando não for possível reaproveitar o produto após seu uso, a incineração com recuperação de energia é uma das opções que pode ser aplicável desde que esgotadas as outras possibilidades economicamente viáveis de reaproveitamento. Na fase do projeto, deve-se limitar o uso de materiais que não liberem poluentes tóxicos durante a queima. (JUNIOR, GIANNETTI E ALMEIDA, 2003)

O Projeto para Remanufatura ou o *Design for Remanufacturing*, é uma derivação do *DfE*, e pode gerar vários benefícios que viabilizem e tornem o processo mais eficiente e eficaz. Projetar para o reuso, a remanufatura e a reciclagem, nesta ordem de preferência, são escolhas que podem ser feitas durante o desenvolvimento do produto. Projetos para reuso e para remanufatura podem garantir que a maioria dos componentes será reutilizada. Neste caso, como se pretende que o produto e seus componentes manterão sua forma original, uma quantidade mínima de energia será consumida no processo. A remanufatura do produto prevê a desmontagem para separação e posterior utilização de peças e componentes, que poderão ser utilizados em um novo produto, desempenhando sua função original. Quanto mais complexa for a montagem do produto, maior será o número de etapas para a desmontagem e conseqüentemente, mais difícil seu reaproveitamento. A facilidade de desmontagem pode ser prevista no projeto. (JUNIOR, GIANNETTI E ALMEIDA, 2003)

Na comparação de produtos que passaram por modificações a partir da aplicação do projeto para o meio ambiente, com produtos equivalentes sem essa característica, pode-se observar diferenças significativas com ganhos econômicos e ambientais, como: redução do peso do produto; redução da variedade de componentes utilizados na fabricação do produto; facilidade de desmontagem; utilização de materiais que tenham menor impacto ambiental; otimização do consumo de energia na fase de uso do produto; redução dos materiais utilizados na embalagem do produto e aumento do grau de reciclabilidade do produto.

### **3 REFRIGERADORES DOMÉSTICOS**

#### **3.1 A INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO E A QUESTÃO AMBIENTAL**

##### **3.1.1 DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO**

Originalmente, quando o conceito do sistema de refrigeração foi desenvolvido no meio do século 19, um pequeno número de fluidos foram utilizados como refrigerantes. Segundo Melo e Hermes (2007), os refrigerantes mais comuns no mercado no início do século XX eram a amônia ( $\text{NH}_3$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sendo que os dois primeiros eram extremamente tóxicos, e devido a essas características, ocorreram nessa época registros de mortes de famílias inteiras devidas a vazamentos do refrigerante.

No entanto, devido à combinação de características de inflamabilidade, toxicidade e pressão, estes refrigerantes foram em grande parte substituídos por um grupo de produtos químicos fluorados que apresentavam características totalmente diferentes daquelas utilizadas até então nas atividades de refrigeração.

Em 1930, um grupo de pesquisadores identificou a família dos clorofluorcarbonos, os CFCs, que logo tiveram ampla aceitação no mercado, particularmente nos setores doméstico e comercial, uma vez que eram fluidos extremamente estáveis, não tóxicos e não inflamáveis, e suas pressões de trabalho eram significativamente menores que as observadas para o  $\text{CO}_2$ . Com a introdução dos CFCs no mercado, a indústria de refrigeração entrou em franco desenvolvimento. Materiais não-ferrosos puderam ser utilizados, as válvulas de expansão foram substituídas por tubos capilares e o compressor hermético tornou-se o padrão. (MELO e HERMES, 2007)

A revolução ocorrida com os avanços científicos, as descobertas da Química e as possibilidades de sua aplicação em vários segmentos do setor produtivo, fez com que os CFCs, se tornassem insumos fundamentais para a indústria, desde a década de 30 do século XX. No período de consumo do pós-guerra, sobretudo nos Estados Unidos da América, com o amplo acesso da população ao mercado de bens duráveis, e a expansão do uso de refrigeração doméstica, industrial e comercial, o emprego dos CFCs aumentou consideravelmente.

Durante décadas, o CFC-12 ou R-12, foi utilizado como fluido refrigerante, e o CFC-11 ou R-11, como agente expensor da espuma do isolamento térmico dos refrigeradores domésticos e comerciais. Segundo Feltre (1998), somente nos Estados Unidos, no ano de 1976, foram fabricados cerca de meio milhão de toneladas de CFC-12, e trezentas mil toneladas de CFC-11. No entanto, a partir de 1974, quando os professores Molina e Rowland demonstraram a relação existente entre as emissões de CFCs e a destruição da camada de ozônio estratosférico, o reinado dos CFCs começou a declinar, e em maio de 1985 foi publicado um artigo na revista *Nature*, onde pesquisadores da estação britânica *Halley Bay* na Antártica, descobrem o “buraco” na camada de ozônio. (PIMENTA, 2008)

### **3.1.2 A INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO E A CAMADA DE OZÔNIO**

A camada de ozônio está situada na estratosfera, onde estão concentrados 90% do ozônio existente, é uma barreira natural à radiação ultravioleta do Sol. Sem essa proteção não teria sido possível o desenvolvimento das incontáveis e variadas formas de vida existentes no planeta. Sem a influência de fatores externos, a formação e a decomposição do ozônio atingem um equilíbrio que mantém a camada de ozônio praticamente constante, embora sofrendo variações normais conforme a hora do dia, a estação do ano e até mesmo de ano a ano. (FELTRE, 1998)

Um consenso global apoia a teoria de que produtos químicos sintéticos contendo cloro e bromo, quando emitidos na atmosfera, são responsáveis pela destruição do ozônio estratosférico. A maior parte destes compostos, chamados SDOs (Substâncias Destruidoras do Ozônio), são classificadas segundo parâmetros de potencial de destruição do ozônio (ODP - *Ozone Depleting Potential*). O parâmetro ODP traduz o potencial de uma substância no impacto sobre a redução da camada de ozônio. O CFC-11 é tomado como referência, tendo o maior potencial, ODP=1.

Diante da possibilidade da redução da camada de ozônio houve mobilização de várias nações com objetivo de estabelecer medidas de eliminação da produção e do consumo de SDOs. Um forte consenso internacional se desenvolveu para proteger a camada de ozônio, e foram adotados dois acordos internacionais relativos à sua proteção. O primeiro acordo adotado pela comunidade internacional foi a

“Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio”, assinada em 1985, tendo como objetivo principal a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra os efeitos nocivos das alterações da camada de ozônio. O segundo grande acordo foi assinado em 1987 e intitulado “Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que destroem a Camada de Ozônio”. O Protocolo foi um documento complementar à Convenção de Viena, cujo objetivo principal é estabelecer metas para a redução e proibição da manufatura e uso de substâncias destruidoras da camada de ozônio.

Desde o lançamento do Protocolo de Montreal, observou-se a eficiência em nível global na redução da produção e do uso dos CFCs, mas no entanto, percebeu-se que a questão do impacto ambiental das atividades do setor de refrigeração não estava resolvida, pois, verificou-se que os gases substitutos alternativos, como os hidroclorofluorcarbonos (HCFC) e os hidrofluorcarbonos (HFC), tinham efeitos nas condições climáticas do planeta e que, apesar de não apresentar alto potencial de destruição da camada de ozônio, são gases de efeito estufa (GEE) e, portanto têm contribuição para o aquecimento global.

Os HFCs foram desenvolvidos entre as décadas de 80 e 90 como refrigerantes alternativos aos CFCs e HCFCs. Por não conterem cloro, não são consideradas SDOs, mas, têm contribuição para o aquecimento global, são GEE e constam da lista dos seis gases que devem ter reduzidas as emissões, de acordo com o Protocolo de Kyoto. Os CFCs e os HCFCs além de SDOs são também GEE, mas não foram incluídos no Protocolo de Kyoto por serem controlados pelo Protocolo de Montreal. (CETESB, 2011)

O Protocolo de Kyoto estabeleceu medidas de redução de emissões dos GEE. São considerados GEE os gases listados no Anexo A do protocolo: CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono); CH<sub>4</sub> (metano); N<sub>2</sub>O (óxido nitroso); SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre); HFCs (hidrofluorcarbonos) e PFCs (perfluorcarbonos).

A indústria da refrigeração tem procurado substitutos para os refrigerantes CFCs e HCFCs desde o estabelecimento das restrições dos Protocolos de Montreal e de Kyoto. Atualmente existem perto de cinquenta tipos de fluidos refrigerantes tais como os HFCs; amônia; CO<sub>2</sub> e os HCs. (CETESB, 2011)

### 3.1.3 A INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO E O AQUECIMENTO GLOBAL

Nos últimos anos, a atenção sobre a questão da camada de ozônio ficou concentrada na obrigatoriedade da eliminação progressiva e na substituição das substâncias que têm alto potencial de redução da camada, mas ao mesmo tempo, a consciência sobre as alterações climáticas tem aumentado, juntamente com o desenvolvimento de metas regionais, nacionais e globais, de redução das emissões de gases de efeito estufa.

As atividades do setor de Refrigeração tem aplicações abrangendo uma enorme variedade de campos que todos encontramos na vida diária e, portanto, desempenha um papel essencial no desenvolvimento sustentável. Os esforços para combater o aquecimento global precisam se concentrar em dois pontos, segundo o *International Intitute of Refrigeration (IIR)*, que são: a redução das emissões diretas de CFCs, HCFCs e HFCs, assim como a utilização de fluidos alternativos com impacto ambiental baixo ou zero; e a redução do consumo de energia, visto que o impacto no aquecimento global do consumo de energia é muito maior do que das emissões resultantes dos fluidos refrigerantes.

O aquecimento global é um dos principais problemas ambientais atuais, que tem como conseqüências as mudanças climáticas, e vem afetando e comprometendo todo o planeta. Dentre as conseqüências do aquecimento global, pode ocorrer: desequilíbrio dos ecossistemas; alterações no suprimento de água doce; perdas na biodiversidade; degelo nos pólos; alterações dos padrões de chuvas; inundação de áreas litorâneas; danos aos recifes de corais; savanização<sup>5</sup> de florestas tropicais; maior desertificação de áreas; redução no rendimento de safras; ocorrência de eventos extremos – furacões, ciclones, secas, enchentes e problemas de saúde, dentre outros, prejudicando grande parte das nações mundiais.

---

<sup>5</sup> Savanização- é a substituição da floresta tropical por uma vegetação mais resistente devido à ocorrência de vários impactos ambientais como aqueles causados pelo aquecimento global, períodos de secas, desmatamento e queimadas.

Segundo o AR4, o mais recente Relatório de Avaliação do IPCC<sup>6</sup>, as concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso aumentaram bastante em consequência das atividades humanas desde 1750, e agora ultrapassam em muito os valores pré-industriais. Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra.

Há um consenso geral quanto à necessidade de se limitar a 2°C o aumento médio da temperatura global neste século, caso contrário, estima-se que se não forem adotadas medidas eficazes no controle das emissões de gases efeito estufa, o aumento da temperatura global poderá chegar a 6°C (adotando-se cenários pessimistas de avaliação), causando grandes transtornos aos ecossistemas, secas e inundações, elevação no nível do mar e proliferação de doenças, com impactos na economia e na sociedade.

Os resultados do AR4 dizem ser muito provável que a maior parte do aumento observado nas temperaturas globais médias desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa. Das mais de 29 mil séries de dados observadas em 75 estudos, mais de 89% concordam com a direção da mudança esperada em resposta ao aquecimento, mostrando uma alteração significativa em muitos sistemas físicos e biológicos. (IPCC, 2007)

Segundo o IIR, a influência no aquecimento global das atividades do setor de refrigeração refere-se em média de vinte por cento, às emissões diretas de CFCs, HCFCs e HFCs e, em média de oitenta por cento à energia consumida.

O Brasil vem adotando medidas que contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, com implantação de várias ações, dentre as quais se podem destacar – O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL,

---

<sup>6</sup> IPCC – Organismo intergovernamental, de cunho científico, criado em 1988 a partir de uma iniciativa da Organização Mundial de Meteorologia com apoio do PNUMA, ambos ligados à ONU. Os relatórios do IPCC são uma compilação do estado da arte nas diversas áreas do conhecimento relativas às mudanças globais do clima. Os Relatórios de Avaliação (*Assessment Report*) do IPCC são divulgados a cada seis anos, o mais recente foi divulgado em 2007, o AR4. São divulgados também outros relatórios específicos.

que tem como objetivo combater o desperdício na produção e no uso de energia elétrica, propiciando o mesmo produto ou serviço com menor consumo, em função da maior eficiência energética.

Em 2010, o Selo PROCEL foi outorgado a 3.778 modelos de equipamentos, distribuídos em 31 categorias de produtos, envolvendo 206 fabricantes. Estimativas oficiais dão conta de que as ações do programa resultaram em uma economia de cerca de seis milhões de kWh – dos quais um terço é decorrente de refrigeradores e freezers. O refrigerador produzido hoje no país consome 60% menos energia que o fabricado há 10 anos. (ABINEE, 2012)

Dados do IBGE mostram que em 2009 havia 54,7 milhões de unidades de refrigeradores no Brasil. Segundo informações da ELETROS, em 2008, aproximadamente onze milhões de unidades ainda utilizavam CFCs como fluido refrigerante e como agente de expansão na espuma de isolamento térmico. Desta forma, pode-se esperar nesse setor um passivo de cerca de 5.500 toneladas de CFCs. E, mesmo que no Brasil não se fabriquem refrigeradores contendo CFCs desde 2001, é preciso eliminar os CFCs remanescentes e gerenciar seu passivo, adotando medidas para reduzir o uso e os estoques desses gases e, conseqüentemente os impactos ambientais que possam causar. (M.M.A., 2011)

### **3.2 DADOS DO MERCADO DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS**

Um refrigerador é um bem indispensável na vida da sociedade. A comodidade, qualidade de vida, eliminação de desperdícios e a perfeita conservação de alimentos são algumas das vantagens que nos oferece. Apesar de termos à disposição inúmeros modelos, tamanhos, cores e preços, os princípios básicos de funcionamento e operação são comuns a todos. As variações são atribuídas a inclusão de acessórios e compartimentos especiais para bebidas, melhor distribuição interna de prateleiras e gavetas, painéis eletrônicos, *dispenser* de água na porta, etc. e, independem da função e composição básica do refrigerador. São considerados equipamentos eletroeletrônicos e pertencem à categoria da linha branca no mercado brasileiro.



Os refrigeradores são bens de consumo durável, tem um expressivo volume de produção, seu ciclo de vida está na fase de maturidade, e não se vislumbram grandes alterações, nem há perspectivas de substituição desses produtos.

Segundo dados do relatório *Refrigeration Technical Options Committee- RTOC – UNEP* (2010), cerca de 100 milhões de refrigeradores e congeladores domésticos são produzidos anualmente no mundo. A maioria é usada para o armazenamento de alimentos nas residências. Volumes de armazenamento típicos variam de 20 a 850 litros por unidade. A distribuição etária dos produtos instalados é extremamente ampla com estimativas médias variando de 9 a 19 anos de uso. Com a vida longa do produto e o alto volume de produção anual, a estimativa é que o número de unidades instaladas no mundo seja de aproximadamente 1,8 bilhão de unidades, entre refrigeradores e congeladores domésticos.

Cardoso (2008) mostra a distribuição dos refrigeradores e *freezers* no mercado brasileiro, utilizando dados do PNAD/IBGE e de informações da AC Nielsen de 2005: desse mercado, 80% são refrigeradores. A região sudeste tem a maior fatia, 50%, seguidos da região nordeste com 20%; sul com 17%; centro-oeste com 8% e norte com 5%. Outra observação importante desse autor foi quanto à distribuição específica dos refrigeradores: 77% dos refrigeradores eram modelos de uma porta; 12% de duas portas *frost free*; 10% duas portas e 1% refrigeradores compactos. A maior parte dos refrigeradores encontrados nesse período eram os modelos básicos de uma porta.

Segundo dados do relatório “Plano Nacional de Energia 2030” (elaborado pelo MME e EPE em 2007), verifica-se uma tendência de mudança para refrigeradores de duas portas, que apresentam maior capacidade de armazenamento. Porque, embora o percentual de 77% seja significativo, ele vem declinando, pois em 1988 este percentual era de 86%. (M. M. E., 2007) Em 2012, segundo informações da ELETROS, em função da redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI), houve um aumento considerável nas vendas de refrigeradores de duas portas com tecnologia *frost-free*, representando 41,5% das vendas referentes a refrigeradores.

Dados do IBGE divulgados em 2012, referentes à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD-2011 mostraram que no ano de 2011 havia 58,7

milhões de unidades de refrigeradores no Brasil, atingindo um percentual de 95,8% dos domicílios.

Segundo o relatório da Produção Industrial Anual (PIA) 2010, do IBGE: considerando-se produção e vendas dos 100 maiores produtos e/ou serviços industriais, segundo a posição nacional em valor das vendas em 2010, os refrigeradores e freezers ocupam a posição 50, código PRODLIST: 2751.2100, e foram produzidos 7.817.150 unidades e vendidos 8.127.374 unidades (esse número refere-se a refrigeradores e *freezers*). O relatório “Resultados PROCEL 2012, ano base 2011”, mostra dados referentes às vendas de refrigeradores, indicando que em 2010 foram vendidos no Brasil, 6,62 milhões de unidades.

O Quadro 2 apresenta os fornecedores e marcas de refrigeradores comercializados no Brasil em 2012, com o selo PROCEL de eficiência energética, conforme informações do INMETRO.

**Quadro 2 Principais fornecedores e marcas de refrigeradores no Brasil.**

<b>Fornecedores</b>	<b>Marcas</b>
ELECTROLUX	Electrolux
GELOPAR	Gelopar
MABE	GE; Continental; Continental One; DAKO; BOSCH; GE Profile.
PHILCO	Philco
VENAX	Venax
WHIRLPOOL	Brastemp; Consul; KitchenAid
ESMALTEC	Esmaltec; Itatiaia
SAMSUNG	Samsung
SUB-ZERO	Sub-Zero
LOFRA	Liebherr
VIKING RANGE	Viking
FALMEC	Smeg
IESA Eletrodomésticos	Sub-Zero
GORENJE	Gorenje
LG	LG
PANASONIC	Panasonic

Fonte: INMETRO (2012).

Os refrigeradores têm participação significativa no consumo de energia elétrica residencial, e são responsáveis por uma parcela significativa da conta de energia elétrica de uma família. Por ser intensivo em uso de energia, torna-se necessário a escolha por produtos de alta eficiência energética. Segundo o estudo de Cardoso (2008), a avaliação dos refrigeradores e *freezers* representa 28% do consumo de energia do setor residencial brasileiro.

O INMETRO denomina o Refrigerador, como: conservador de alimento que possui um compartimento de baixa temperatura e/ou fabricante de gelo. E classifica os refrigeradores e seus assemelhados em cinco categorias: Frigobares; refrigeradores; refrigeradores FF (*frost-free*); combinados e combinados FF (*frost-free*).

### 3.3 COMPOSIÇÃO BÁSICA DOS REFRIGERADORES

Um refrigerador é composto de um gabinete, portas, acessórios (prateleiras, módulos, gavetas, etc.) e do circuito elétrico de refrigeração composto pelo compressor, fluido refrigerante e outros componentes. A composição é basicamente de metais (aço, cobre e alumínio), plásticos (espumas do isolamento térmico, revestimento interno das portas, e outros plásticos), vidros, agente expensor, fluido refrigerante, componentes elétricos e eletrônicos e outros, menos expressivos. Os metais têm a maior contribuição na composição do refrigerador.

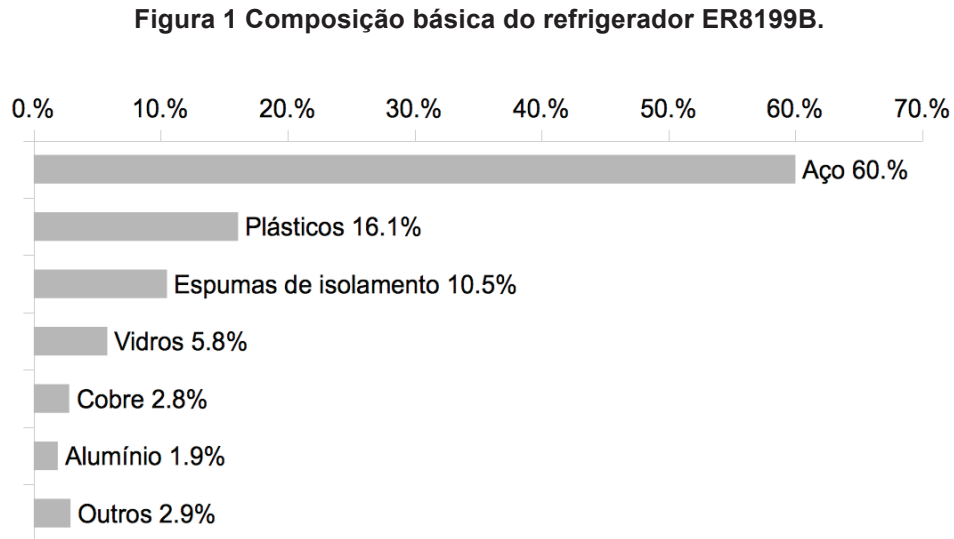
A cultura, o tipo de alimentação, e o estilo de vida podem afetar a composição dos materiais que são utilizados na produção de um refrigerador. No Japão, por exemplo, os refrigeradores utilizam mais materiais plásticos e resinas, do que a maioria dos modelos utiliza. Esses refrigeradores, devido às características de alimentação dessa população, precisam ter compartimentos que separem e isolem bem, os peixes, as carnes e os legumes. Essas diferenças podem afetar a avaliação do ciclo de vida para cada tipo de refrigerador.

Como ilustração, um modelo de refrigerador com duas portas, pesando 89 kg, com capacidade de armazenamento de 300 litros (incluindo o congelador), que utilize o isobutano R-600a como fluido refrigerante e o ciclopentano como agente expensor, tem sua composição distribuída da seguinte forma: 60% de aço, 2,8% de cobre, 1,9% de alumínio, 10,5% de espumas de isolamento térmico, 16,1% de outros plásticos, 5,8% de vidros, 0,4% de agente expensor, 0,2% de fluido refrigerante, 0,6% de componentes eletrônicos e 1,7% de outros materiais conforme dados do Certificado de Declaração ambiental do Produto - EPD<sup>7</sup>, para o modelo ER

---

<sup>7</sup> EPD (Environmental Product Declaration - Declaração Ambiental do Produto: é um conjunto de informações, relativas aos aspectos e impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida, baseada na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

8199B da Electrolux, produzido na Suécia. A Figura 1 ilustra a composição desse refrigerador.



Os principais componentes do refrigerador são o compressor, o fluido refrigerante do circuito de refrigeração, a espuma do isolante térmico e o agente expensor dessa espuma. As características e especificações desses componentes são determinantes no projeto de um refrigerador eficiente energeticamente, e são importantes na fase de descarte do produto e no tratamento adequado desses materiais.

Na fabricação de um compressor são necessárias pesquisas e desenvolvimento, matérias-primas, processos e tecnologias avançadas. Segundo o principal fabricante de compressores do país, são utilizadas mais de 1500 matérias-primas na composição dos componentes e peças, para a fabricação de um compressor dessa marca. O peso de um compressor para refrigeradores domésticos varia aproximadamente entre sete e onze quilos, dependendo do modelo utilizado. (EMBRACO, 2012)

Normalmente os fornecedores dos materiais passam por avaliações criteriosas para garantir a qualidade do produto. O aço é uma das matérias-primas mais importantes para fabricar a carcaça, a tampa e outras peças. Outros materiais como o cobre, o alumínio, e o ferro fundido, além de fios elétricos, cabos, componentes elétricos, componentes eletrônicos, óleo lubrificante, tintas e parafusos

também são utilizados. São fabricados vários tipos de modelos para atender os vários modelos de refrigeradores.

### **3.4 CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS REFRIGERANTES**

Fluido refrigerante é um produto químico responsável pelas trocas térmicas nos sistemas de refrigeração e climatização. Pela propriedade que possui de passar de líquido a gás, e vice-versa, é capaz de absorver calor, resfriando um ambiente de maneira controlada. Para absorver o calor do ambiente e resfriá-lo, ele passa da fase líquida para a gasosa, uma vez que evapora ao absorver calor e liquefaz ao perder calor. (DuPONT, 2012)

#### **3.4.1 CLOROFLUORCARBONO – CFC**

Consiste de cloro, flúor e carbono. Os refrigerantes mais comumente utilizados nos refrigeradores domésticos deste grupo foram R11 e R12. Por não conter hidrogênio, os CFCs são quimicamente muito estáveis, e tendem a ter boa compatibilidade com a maioria dos materiais e lubrificantes tradicionais, tais como os óleos minerais. No entanto, por conter cloro, são prejudiciais à camada de ozônio, e devido a sua longa vida na atmosfera, os CFCs têm alto poder de destruição do ozônio (ODP – *Ozone Depletion Potential*). Da mesma forma, são GEE com alto potencial de aquecimento global (*GWP – Global Warming Potential*), e são substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal. Sua produção foi extinta, mas ainda existem refrigeradores antigos em uso, que utilizam essas substâncias. (UNEP-DTIE, 2010)

#### **3.4.2 HIDROCLOROFLUORCARBONO – HCFC**

Consiste em hidrogênio, cloro, flúor e carbono. Os refrigerantes mais comuns neste grupo são R22, R123 e R124 (dentro de várias misturas). Eles foram utilizados de forma generalizada desde a década de 1930 em muitas aplicações. Como contêm hidrogênio, os HCFC são teoricamente menos estáveis quimicamente do que os CFCs, mas, no entanto tendem a ter uma boa compatibilidade com a maioria dos materiais e lubrificantes tradicionais, tais como os óleos minerais. Devido ao teor de cloro, são prejudiciais para a camada de ozônio, embora com ODP relativamente baixo. Da mesma forma, são GEE com alto potencial de aquecimento global, e são

controlados pelo Protocolo de Montreal. Atualmente, os HCFCs são muito baratos e amplamente disponíveis, embora já tenham prazo definido para extinção.(UNEP-DTIE, 2010)

### **3.4.3 HIDROFLUORCARBONO – HFC**

Consiste de hidrogênio, carbono e flúor. O mais comuns refrigerantes neste grupo são R134a, R32, R125 e R143a (principalmente dentro de misturas, tal como R404A, R407C e R410A). Eles têm sido usados em larga escala desde a década de 1990, em quase todas as aplicações que tradicionalmente utilizavam CFCs e HCFCs, incluindo refrigeração doméstica. Os HFCs são muito estáveis quimicamente, e tendem a ter boa compatibilidade com a maioria dos materiais. No entanto, eles não são miscíveis com lubrificantes tradicionais, e devem utilizar tipos de óleos sintéticos. (UNEP-DTIE, 2010)

Ao contrário dos CFCs e HCFCs, eles não contêm cloro, e portanto não prejudicam a camada de ozônio. No entanto, são tipicamente GEE com alto potencial de aquecimento global. Eles são controlados pelo Protocolo de Kyoto. Embora alguns países estejam desenvolvendo leis para controlar o uso e as emissões de HFCs, eles ainda estão amplamente disponíveis.

### **3.4.4 HIDROCARBONO – HC**

Os HCs são totalmente inofensivos à camada de ozônio e com poder de aquecimento global desprezível. São substâncias encontradas abundantemente na natureza, portanto, de livre acesso, e não são patenteáveis. O HCFC e o HFC, ao contrário, são patenteados por indústrias químicas e produzidos apenas mediante o pagamento de *royalties*. Os HCs são fluidos de refrigeração intrinsecamente mais eficientes que os HFCs. Isto significa que, com melhorias tecnológicas, as possibilidades de futuras reduções no consumo de energia dos refrigeradores são muito maiores com o uso dos HCs do que com o uso dos HFCs. (UNEP-DTIE, 2010)

Os HCs são compatíveis com a maioria dos materiais de construção do sistema, como ligas metálicas e polímeros. São também compatíveis com óleos minerais e sintéticos. O desempenho obtido é também bastante similar ao obtido

com CFCs, HCFCs ou HFCs. A baixa pressão de vapor do HC-600a (R-600a) origina menores níveis de ruído, o que o torna atraente para refrigeradores domésticos. Além disso, exige compressores de maior deslocamento volumétrico para uma mesma capacidade de refrigeração, os quais são geralmente mais eficientes. A desvantagem do uso de HCs, atualmente, é que embora sejam pouco tóxicos, tais fluidos são inflamáveis e explosivos. É essencial, portanto, que a carga de refrigerante seja reduzida para minimizar os riscos envolvidos (PALM, 2008 e MELO, 2011).

Estão sendo denominados de refrigerantes naturais, porque têm ODP zero, e GWP zero ou desprezível. Evoluções e inovações tecnológicas têm ajudado na consolidação de "refrigerantes naturais" como uma solução segura e econômica para aplicações em diversos setores. Devido aos impactos ambientais mínimos e por ser mais apropriado em uma perspectiva de desenvolvimento tecnológico sustentável, sistemas de refrigeração com refrigerantes naturais podem futuramente, ter um papel importante em muitas aplicações.

No Brasil, segundo o INMETRO (dados de 2012), a maioria dos fabricantes incorporou o Hidrocarbono Ciclopentano na função de agente isolante térmico e expensor, e o Hidrofluorcarbono (HFC) R-134a na função de gás refrigerante. Mas algumas empresas já utilizam o isobutano HC-600a ou R-600a, em alguns modelos, denominando-os "100% ecológicos". Segundo alguns fabricantes, existem barreiras técnico-econômicas que ainda dificultam uma maior produção de refrigeradores domésticos com o HC como fluido refrigerante, porque mesmo que sejam excelentes agentes refrigerantes sob variados aspectos, apresentam como característica a inflamabilidade, resultando na necessidade de alterações nos padrões produtivos.

Atualmente o isobutano R-600a domina o mercado de refrigeradores domésticos na Europa e em grande parte da Ásia, embora não seja empregado nos Estados Unidos. Em vários países da Europa, 95% dos refrigeradores domésticos operam com R-600a e a tendência é que essa fração aumente ainda mais. Palm (2008) ressalta que nos Estados Unidos a comercialização é impedida pelo receio dos fabricantes contra processos que associariam os HCs com incêndios

domésticos. Todavia, desde 1993, mais de 200 milhões de refrigeradores e freezers com R-600a foram comercializados e, até o momento, nenhum acidente em operação normal foi reportado, não obstante tenham ocorrido acidentes nas operações de manufatura e de serviço. Numa ação mais recente, a GE (*General Electric*) solicitou autorização da agência de proteção ambiental americana (EPA) para introduzir a partir de 2010, o R-600a em uma nova linha de refrigeradores, o que indica uma tendência de introdução do isobutano nesse mercado. (MELO, 2011)

De acordo com informações obtidas no site do INMETRO, considerando-se os fabricantes de refrigeradores que possuem o selo de eficiência energética do PROCEL, atualmente a maior parte desses fabricantes, no Brasil, utiliza no sistema de isolamento térmico o ciclopentano, como agente expensor, e o R-134a como fluido refrigerante. Mas, ainda há refrigeradores antigos, em uso, que ainda utilizam os CFCs (R11 e R12), apesar dessas substâncias não serem mais produzidas. Em 2008, segundo informações da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS), estimava-se que esse número chegasse a onze milhões de unidades, concentrado nas classes de baixa renda.

De acordo com a norma ABNT NBR 15833:2010, a quantidade de fluido refrigerante por categoria de aparelho, usando R12 ou R134a é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 Quantidade de fluido refrigerante por categoria de aparelho.**

Categoria de aparelho	Fluido refrigerante	
	R-12	R-134a
Frigobares (até 150 litros)	(55g)	(45g)
Refrigeradores de uma porta (de 151 a 370) litros	(70g)	(72g)
Refrigeradores de duas portas (de 300 a 500) litros	(110g)	(103g)

Segundo a norma citada, a quantidade do agente de expansão da espuma por categoria de aparelho, é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 Quantidade de agente de expansão por categoria de aparelho.**

Categoria de aparelho	Agente expensor (%)	
	R-11	Ciclopentano
Frigobares (até 150 litros)	3,50	2,13
Refrigeradores de uma porta (de 151 a 370) litros	3,50	2,13
Refrigeradores de duas portas (de 300 a 500) litros	3,50	2,13

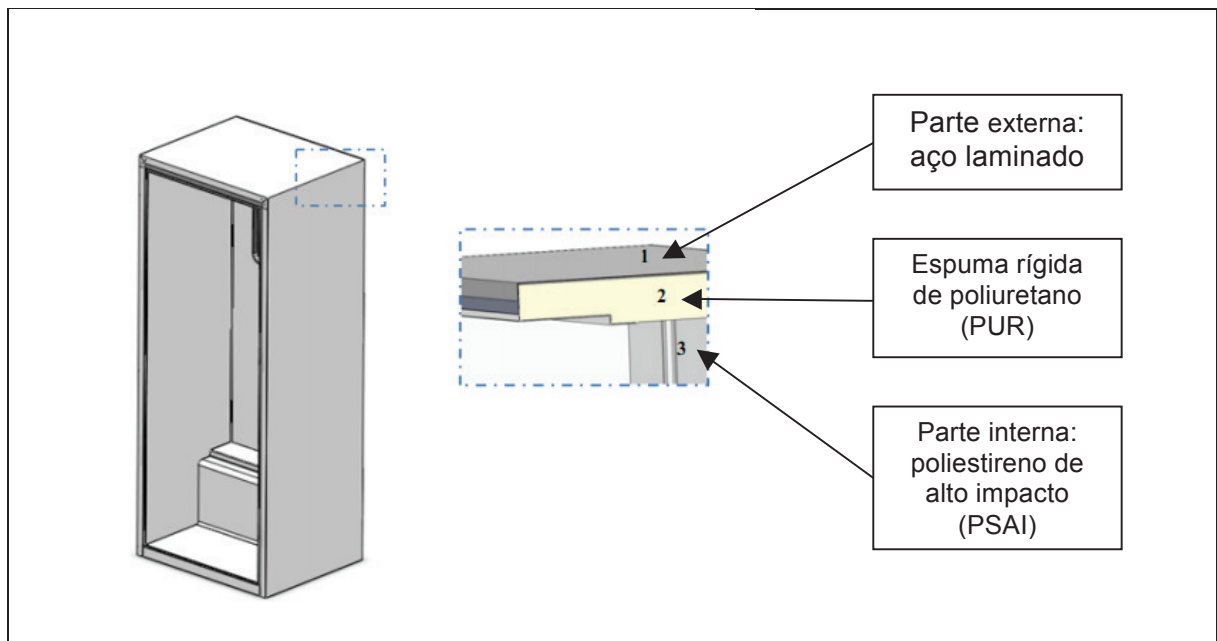
Obs: O percentual refere-se à relação entre a quantidade do agente expensor e a massa total da espuma.



### 3.5 CARACTERÍSTICAS DAS ESPUMAS DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Os gabinetes e as portas dos refrigeradores são constituídos de aço laminado na parte externa e de poliestireno de alto impacto (PSAI ou *HIPS- High Impact Polystyrene*) na parte interna, tendo os espaços entre essas duas partes preenchidos com espumas rígidas de poliuretano (PUR), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 2 Estrutura do gabinete do refrigerador.



Fonte: Adaptado de Bringhenti, 2012.

Atualmente, a indústria de refrigeração utiliza somente espumas rígidas de poliuretano no isolamento térmico dos refrigeradores. Uma das principais vantagens da utilização das PUR é a baixa condutividade térmica que permite o emprego de painéis de isolamento mais finos do que quando se utilizava lã de vidro, e essa característica faz com que o espaço interno do refrigerador seja ampliado em até 30%. Segundo Orsioli (2005), a capacidade de isolamento térmico da PUR supera os demais materiais isolantes.

A PUR apresenta excelentes propriedades para isolamento térmico e também provê alta resistência estrutural para os refrigeradores. Segundo Lopes e Becker (2012), cerca de 60% em volume, desse material no mercado brasileiro, estão concentrados no setor de refrigeração doméstica. A espuma de PU (poliuretano) é obtida basicamente por meio da reação de polimerização entre o poliál e o

isocianato, acompanhada pela reação de expansão química (entre o isocianato e a água) que produz CO<sub>2</sub> expandindo a espuma, e pela expansão física proporcionada pelo agente de expansão. (LOPES e BECKER, 2012)

Em atendimento ao que ficou estabelecido nos acordos que têm como objetivo o compromisso de proteção à camada de ozônio, já há preocupações sobre a retirada dos HCFCs utilizados como agentes expansores das espumas PUR. Estudos realizados com o ciclo de vida de vários agentes de expansão considerados substitutos potenciais dos HCFCs na manufatura de PUR como isolamento térmico de refrigeradores, mostraram que o ciclopentano não produz impacto sobre a camada de ozônio e também não tem impacto significativo no aquecimento global quando comparado com o HFC R-134a (KATZ and LINDNER, 2003).

Segundo Lopes e Becker (2012), atualmente a indústria de refrigeração doméstica tem gerado grandes volumes de rejeitos de PUR, em função do controle e desvios de processo, do controle de qualidade da espuma e dos programas de substituição de refrigeradores obsoletos, dentre outros. O que normalmente acontece é que grandes volumes de PUR ocasionam problemas, pois devido às suas características de densidades extremamente baixas (da ordem de (20 a 30) kg/m<sup>3</sup>), e difícil compactação, fazem com que ocupem grandes espaços quando são depositados em lixões ou aterros.

Há alguns estudos propondo destinos diferentes para os resíduos da PUR, com possibilidades de reciclagem e recuperação por meio de determinados tratamentos. Os resultados dos estudos de Lopes e Becker (2012), afirmam que os resíduos de espuma rígida de poliuretano (PUR), podem ser reciclados e reintroduzidos no processo de fabricação de refrigeradores domésticos. Segundo os autores, nas condições estudadas, sugerem o percentual de até 10% de polioli reciclado misturado ao polioli virgem. Características como a condutividade térmica, a resistência a compressão, densidade do núcleo, e sua morfologia, apresentavam-se adequadas ao padrão industrial.

Os autores acrescentam ainda que, espumas que utilizam até 20% de polioli reciclado, podem ser utilizadas em outras aplicações como, por exemplo, em placas para isolamento térmico e acústico de residências.

### 3.6 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A VIDA ÚTIL DO REFRIGERADOR

Os equipamentos eletroeletrônicos sofrem desgastes ao longo do tempo em que estão em operação; no caso dos refrigeradores, por exemplo, que são equipamentos que operam constantemente, durante seu tempo de vida útil, esses desgastes, dependendo dos hábitos de uso e da tecnologia utilizada, podem ter como conseqüências o comprometimento do desempenho e o aumento do consumo de energia do refrigerador.

No caso dos refrigeradores, basicamente quatro fatores interferem no desempenho da eficiência: a vedação (as borrachas de vedação das portas), o isolamento térmico, o termostato e o compressor. Segundo Cardoso (2008), um levantamento junto a dois fabricantes de refrigeradores no Brasil, mostra que até cinco anos de idade os equipamentos não têm qualquer comprometimento no desempenho, porém, a partir dos cinco anos de uso, os refrigeradores começam a apresentar os efeitos de redução de eficiência devido ao desgaste dos quatro componentes citados anteriormente. (CARDOSO, 2008)

Ainda, segundo Cardoso, nos refrigeradores com idade entre 05 e 10 anos de uso, identifica-se perda de 20% na eficiência total do sistema, devido a problemas da vedação da porta e da capacidade de isolamento das espumas no gabinete e na porta. Para os refrigeradores que têm entre 10 e 16 anos de uso, a perda de eficiência chega a 40%, devido principalmente, ao desgaste e queda de desempenho do compressor e da espuma de isolamento térmico. Para os refrigeradores acima de 16 anos de uso, segundo o autor, não foram encontrados dados confiáveis que determinem a ineficiência do produto, embora se espere que a perda de eficiência deva ser ainda maior que aquela apresentada nos refrigeradores que têm entre 10 e 15 anos de uso.

Segundo Silva Junior (2009), apesar dos fabricantes projetarem a vida útil do refrigerador para 10 anos, estudos realizados apontam que os brasileiros utilizam seus equipamentos por mais tempo. Um estudo de Melo e Jannuzzi (2008), mostrou que no Brasil cerca de 30,6% dos refrigeradores tinham mais de 10 anos de uso; 18,5% tinham entre 10 e 15 anos de uso e 12,1% tinham mais de 15 anos de uso.

Segundo Cardoso (2008), o tempo de vida útil dos refrigeradores no Brasil é estimado em 16 anos.

## **4 TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS E DOS RESÍDUOS DOS REFRIGERADORES**

### **4.1 DESCARTE DOS REFRIGERADORES NO FINAL DE VIDA ÚTIL**

As questões que envolvem os problemas do descarte dos equipamentos eletroeletrônicos, especialmente os produtos da linha branca como os refrigeradores, devido à sua composição, ao volume que ocupam quando descartados inadequadamente, e aos problemas ambientais decorrentes, tornaram-se há algum tempo tema de preocupação mundial. Muitos países procuraram desenvolver mecanismos para solucionar essas questões, por meio de leis ou acordos, de maneira a promover a valorização desse material, por meio do reuso e da reciclagem, obtendo retornos econômicos e de proteção ambiental, e desenvolvendo produtos e tecnologias que facilitem os processos de reaproveitamento.

Os refrigeradores, ao fim de sua vida útil, quando são descartados, passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), e deverão ser tratados adequadamente para que se evite problemas ao meio ambiente e se evite também o desperdício de materiais.

Os países europeus têm maior tradição no gerenciamento e controle desses resíduos e seguem as orientações das diretivas europeias específicas para os REEE. Normalmente essas diretivas são a base de orientações para que outros países adotem medidas com relação ao tratamento desse tipo de resíduo. No Brasil, ainda se discutem as questões do tratamento dos resíduos sólidos de maneira geral, e, somente em 2010 foi regulamentada uma lei nacional. Quanto aos REEE especificamente, há um grupo de trabalho envolvendo vários setores do governo, da indústria, do comércio, que estuda e discute o assunto para aplicação da lei.

### **4.2 PANORAMA NACIONAL**

Normalmente são três possibilidades que ocorrem quando há a necessidade de se substituir um refrigerador: o refrigerador descartado permanecerá no domicílio aguardando destino, será doado para alguém ou para alguma instituição, ou será levado pelos catadores para o ferro-velho. No ferro-velho, o refrigerador será

compactado e encaminhado para outro local, onde será feita a reciclagem dos materiais que interessam.

No entanto, algumas medidas vêm sendo adotadas para reduzir os problemas do descarte inadequado desses materiais, por meio de programas, normas específicas e mais recentemente, a lei dos resíduos sólidos, que estabeleçam regras para o manejo, a coleta e o aproveitamento desses materiais. Serão destacados neste trabalho: a Lei nº 12.305 de 2010 (Lei de Resíduos Sólidos), a Norma ABNT NBR 15833:2010, e o Programa de Substituição de Refrigeradores obsoletos.

#### **4.2.1 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)**

Após quase vinte anos tramitando no Congresso Nacional, a PNRS foi aprovada por meio da Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010.

Mesmo com a lei regulamentada, ainda estão sendo discutidas algumas questões relativas aos resíduos dos equipamentos eletroeletrônicos. Um grupo de trabalho chamado “GTT-REEE- Grupo Técnico Temático de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos”, coordenado pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, envolvendo setores do governo, da indústria e do comércio, busca soluções que viabilizem a logística reversa, a responsabilidade estendida do fabricante dentre outras, de maneira que se obtenham benefícios com a recuperação desses produtos em final de vida.

São prioridades da PNRS: acabar com os lixões até 2014; reduzir o tamanho dos aterros sanitários (considerando no projeto, as metas de redução de disposição final de rejeitos); a readequação das atividades do controle, gerenciamento e da destinação final de resíduos sólidos urbanos; a implantação da coleta seletiva; a inclusão sócio-econômica dos catadores organizada em cooperativas; a logística reversa; o crescimento das atividades industriais de reciclagem e a compostagem dos resíduos orgânicos. O poder público, o setor privado e os setores responsáveis pela limpeza pública dos municípios, terão um grande desafio a vencer.

Definições importantes destacam-se na lei da PNRS:

I- acordo setorial: ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;

IV- ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

XII- logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XV- rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVII- responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei. (Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010)

Dentre os principais objetivos da PNRS, o mais importante para que de fato se proponha um plano de gestão de resíduos eficiente no contexto atual, ressalta que as ações de gestão e de gerenciamento de resíduos sólidos devem observar a seguinte ordem de prioridade: não geração; redução; reutilização; reciclagem; tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Isso é primordial para que os outros objetivos sejam alcançados visando estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços e qualidade ambiental.

Para alcançar os objetivos, são utilizados instrumentos que facilitem a implementação das ações e práticas pertinentes. Esses instrumentos são, por exemplo: planos de resíduos sólidos (âmbito, federal, estadual ou municipal); a coleta seletiva; os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o

incentivo à criação e desenvolvimento de cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos.

Outro destaque importante da lei é a Logística Reversa (LR), que provavelmente será um dos pontos mais complexos de equacionar, pois são vários fatores a considerar. Os sistemas de logística reversa serão operacionalizados por meio de acordos setoriais, regulamentos expedidos pelo Poder Público, ou por meio de termos de compromisso.

A lei determina os setores que estão obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa para a coleta de determinados produtos após fim de vida útil, destacando-se o item VI, que trata dos produtos eletroeletrônicos, onde estão inseridos os refrigeradores. Conforme o Art. 33:

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

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama<sup>8</sup>, do SNVS<sup>9</sup> e do Suasa<sup>10</sup>, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

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

---

<sup>8</sup> SISNAMA: Sistema Nacional do Meio Ambiente.

<sup>9</sup> SNVS: Sistema Nacional de Vigilância Sanitária.

<sup>10</sup> SUASA: Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária.



**VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.** (Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010)

A aplicação da lei trará grandes impactos de forma geral, até que se chegue a acordos que satisfaçam todas as partes interessadas. De outra forma, poderão surgir boas oportunidades, como geração de novos empregos, novos mercados, modos de produção mais sustentáveis, e incentivo às pesquisas para proporcionar soluções que serão demandadas pelo mercado.

A regulamentação da lei dos resíduos sólidos introduz inovações no gerenciamento destes resíduos, sendo a principal delas o sistema de logística reversa. Entre as atribuições do Grupo de Trabalho Temático (GTT-REEE) destaca-se a elaboração de uma proposta de modelagem para a logística reversa dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Uma versão para revisão e diagramação, do Estudo de viabilidade técnica e econômica da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos para a proposta de modelagem encontra-se disponível desde outubro de 2012, no site do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Desse estudo, destacam-se alguns pontos importantes para o entendimento do modelo proposto, apontando os prováveis direcionamentos para os pontos críticos de decisão na modelagem da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos.

A modelagem proposta da logística reversa para os REEE do Brasil foi elaborada por meio da compilação de aprendizados em relação a sistemas de logística reversa existentes em outros países, avaliando os pontos fortes e os pontos fracos dessas experiências. Consideraram também as experiências de sucesso no setor de embalagens de agrotóxicos; pneus, pilhas e baterias e óleos lubrificantes que ocorrem no Brasil.

Algumas definições são importantes para o entendimento do sistema de logística reversa, destacando-se os modelos de competição e as atribuições de responsabilidades pela gestão dos REEE:

Modelo de competição: determina o grau de competição que caracteriza o modelo, e pode ser classificado como monopolista ou competitivo. No modelo

monopolista, somente uma instituição (governamental, ou particular ou não governamental) possui o controle de gestão da maior parte dos REEE, ou seja, maior que 80% do volume de REEE. No modelo competitivo, vários atores podem atuar na gestão dos REEE.

Quanto à responsabilidade pela logística reversa, que determina quem será o responsável pela gestão da reciclagem e disposição dos REEE, está distribuída entre três tipos: a responsabilidade estendida do fabricante – onde o fabricante é o responsável pelo processo de reciclagem e disposição dos resíduos, a responsabilidade compartilhada – a responsabilidade pelo processo de reciclagem e disposição dos resíduos é atribuída a mais de um agente, e a responsabilidade do governo – onde o governo fica responsável pelo processo. As opções de modelos de LR ficam distribuídas como:

- Responsabilidade do fabricante no modelo monopolista;
- Responsabilidade compartilhada no modelo monopolista;
- Responsabilidade do governo no modelo monopolista;
- Responsabilidade do fabricante no modelo competitivo; e
- Responsabilidade compartilhada no modelo competitivo.

Alguns casos de modelos de LR que estão sendo utilizados são, por exemplo:

- O sistema da União Européia para a LR dos REEE é um modelo de Responsabilidade do fabricante no modelo competitivo;
- O Japão possui para a LR dos REEE um modelo de Responsabilidade compartilhada no modelo competitivo;
- No Brasil, o sistema de LR para pneus, e para pilhas e baterias utiliza a Responsabilidade do fabricante no modelo monopolista. Para as embalagens de agrotóxicos são utilizadas a Responsabilidade compartilhada no modelo monopolista, e para os lubrificantes a Responsabilidade compartilhada no modelo competitivo.

O primeiro passo foi a identificação das variáveis-chave para definição da modelagem da logística reversa para os REEE. A descrição dessas variáveis está apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3 Descrição de cada variável-chave para modelagem de LR para REEE.**

<b>Variável-chave</b>	<b>Descrição</b>	<b>Alternativas a considerar</b>
Fonte de recursos para viabilização	Origem dos recursos para cobrir os custos previstos na modelagem do sistema de REEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxa ou imposto</li> <li>• Fabricante/importador</li> <li>• Custos compartilhados</li> </ul>
Responsabilidade pelos produtos órfãos	Determina quem será responsável pelos custos da LR dos resíduos desses produtos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poder público</li> <li>• Fabricante/importador</li> </ul>
Metas de recolhimento e reciclagem	É o estabelecimento ou não, de metas de recolhimento e reciclagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há metas estabelecidas</li> <li>• Somente meta de reciclagem</li> <li>• Metas de reciclagem e recolhimento</li> </ul>
Grau de responsabilidade do poder público	É o grau de envolvimento e responsabilidade do poder público na gestão, operação e viabilidade do sistema de LR dos REEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legislador, regulamentador e fiscalizador</li> <li>• Atuante</li> <li>• Operador</li> </ul>
Tratamento dos REEE	O tratamento formal ao REEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercadoria</li> <li>• Resíduo não perigoso</li> <li>• Resíduo perigoso</li> </ul>
Reuso no sistema de Logística reversa	O tratamento ao reuso dentro do sistema de LR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viabilizado pelo sistema</li> <li>• Estimulado por meio de campanhas</li> <li>• Não estimulado</li> </ul>
Segregação do resíduo por marcas	Determina se haverá a segregação dos REEE por marca (fabricante)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com segregação por marca</li> <li>• Monitoramento por amostragem</li> <li>• Sem segregação por marca</li> </ul>
Responsabilidade pelo REEE	Refere-se ao modelo de estabelecimento do volume de REEE sob a responsabilidade de cada fabricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individualizada</li> <li>• Definida proporcionalmente</li> </ul>
Modelo de competição	Refere-se ao grau de competição a ser estimulado na modelagem da LR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monopólio</li> <li>• Competitivo</li> </ul>

Fonte: INVENTTA, 2012.

O modelo proposto para o sistema de modelagem de LR para os REEE no Brasil tem como base a criação de um sistema competitivo, no qual poderão coexistir várias organizações gestoras, organizadas de formas distintas, cobrindo diferentes regiões, servindo a distintos fabricantes e importadores. Um resumo do enquadramento das variáveis-chave e das observações pertinentes do modelo proposto que está em avaliação e discussão para implantação no Brasil é apresentado na **Error! Not a valid bookmark self-reference..**

**Tabela 4 Resumo do modelo proposto para a LR dos REEE no Brasil.**

Variável-chave	Modelo	Observações
Fonte de recursos para viabilização	Custos compartilhados	Consumidor, Comércio, Fabricantes e Importadores arcam com os custos de todo o processo.
Responsabilidade pelos produtos órfãos	Poder público	Poder Público compensa custo de processamento dos produtos órfãos através de políticas de incentivos, desoneração fiscal, fomento a P&D, e outras iniciativas.
Metas de recolhimento e reciclagem	Com metas de reciclagem	100% dos REEE que entrarem no sistema estabelecido pelas organizações gestoras representantes dos fabricantes e importadores deverão ser processados.
Grau de responsabilidade do poder público	Atuante	Não opera o sistema, mas atua de forma a estimular o seu melhor funcionamento por meio de provimento de fonte de recursos para PD&I, financiamento para infra-estrutura, campanha para reuso e recolhimento de REEE, entre outros.
Tratamento dos REEE	Resíduos não perigosos	REEE não deve ser descaracterizado até chegar à recicladora, que deverá estar devidamente licenciada para processar sua destinação correta.
Reuso no sistema de Logística reversa	Possibilitado	Consumidor que declarar intenção de doar seu equipamento para reuso será instruído nos pontos de descarte/recebimento ou nas centrais de atendimento das gestoras.
Segregação do resíduo por marcas	Monitoramento por amostragem	REEE descartados via pontos de recebimento do sistema não serão segregados por marca. Deverão ser medidos por amostragem nos centros de triagem. Fica a critério dos fabricantes e importadores estabelecerem um sistema mais preciso de medição.
Responsabilidade pelo REEE	Definida proporcionalmente	Responsabilidade de cada fabricante é determinada por sua proporção de vendas do ano anterior. O equilíbrio do sistema será realizado por meio de recomendações dos órgãos fiscalizadores.
Modelo de competição	Competitivo	Fabricantes e Importadores se agrupam em organizações gestoras para estruturarem e gerirem a logística reversa, ficando a critério dos mesmos a escolha dos seus parceiros de logística e reciclagem. Incentiva-se que mais de uma organização gestora seja criada.

Segundo a ABINEE, para o sucesso do recolhimento e destinação final dos produtos, é necessário definir o papel de todos os atores da cadeia produtiva: fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores e poder público. Há ainda alguns desafios a superar para a implantação da PNRS, depois da finalização do estudo de viabilidade técnica e econômica, o alinhamento de propostas pela indústria e comércio, o edital de chamamento para acordos setoriais e a implantação do processo de Logística Reversa.

#### **4.2.2 NORMA BRASILEIRA DE MANUFATURA REVERSA**

A Norma **ABNT NBR 15833:2010**, especificamente sobre Manufatura reversa de aparelhos de refrigeração, prescreve os procedimentos para o transporte, armazenamento e desmontagem com reutilização, recuperação dos materiais recicláveis e destinação final de resíduos dos aparelhos de refrigeração. A Norma é aplicável a todos os estabelecimentos que realizam ou venham a realizar procedimentos de manufatura reversa de aparelhos de refrigeração, inclusive quando estas operações são realizadas nas próprias instalações dos fabricantes.

A Norma define Manufatura Reversa de aparelhos de refrigeração como:

“todas as ações utilizadas para o armazenamento e processamento dos aparelhos de refrigeração, com a finalidade de recuperação da maior quantidade possível de fluidos refrigerantes, agentes de expansão, fluido lubrificante e demais substâncias e materiais, bem como a promoção da destinação final adequada dos resíduos”

A realização da manufatura reversa de equipamentos de refrigeração tem por base procedimentos documentados e mantidos de forma a garantir que a coleta e o transporte dos equipamentos, o armazenamento, processamento, reutilização, reciclagem e destinação final de cada um dos materiais e substâncias que os compõem sejam realizados de acordo com as condições de operação estabelecidos na norma.

Os requisitos necessários para a instalação de plantas para operação de manufatura reversa, como licenciamento ambiental, registro no Cadastro Técnico Federal do IBAMA e plano de manejo de materiais e substâncias resultantes do processo, devem ser atendidos de acordo com o estabelecido pela norma.

### 4.2.3 PROGRAMA DE SUBSTITUIÇÃO DE REFRIGERADORES

O governo brasileiro tem um programa (para a população de baixa renda) de substituição de refrigeradores obsoletos por refrigeradores energeticamente eficientes, e que utilizem substâncias que não prejudiquem a camada de ozônio. Esse programa integra as concessionárias de energia elétrica, os fabricantes dos refrigeradores e os lojistas, e é uma resultante da lei que determina que as concessionárias de energia elétrica dispensem um percentual de seus lucros, em programas ou ações de eficiência energética para a população de baixa renda.

De acordo com informações no *site* da ELETROS, projetos semelhantes, de substituição de refrigeradores, foram realizados em países, como Itália, México, Colômbia e Cuba, para retirada de refrigeradores que ainda utilizassem CFCs. Esses programas tiveram apoio dos governos para viabilizar os custos da logística reversa e da reciclagem dos refrigeradores descartados.

Desde 2005 é mandatório que cada concessionária de energia invista parte dos recursos dos seus programas de eficiência<sup>11</sup>, em programas de eficiência energética do lado da demanda, em programas voltados para a população de baixa renda, beneficiadas pela Tarifa Social<sup>12</sup> de energia elétrica. Grande parte desses recursos vem sendo utilizada na substituição de refrigeradores, troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes, reparos ou instalação de rede elétrica adequada e aquecimento solar, para essa população. (JANNUZZI, 2007)

O objetivo do programa é a substituição de 10 milhões de refrigeradores antigos por modelos novos, eficientes energeticamente e utilizando substâncias que

---

<sup>11</sup> A lei nº 9.991/2000 refere-se à obrigação das concessionárias de energia elétrica de investirem uma parcela de suas receitas operacionais líquidas em programas de P&D e de eficiência energética. Esses programas são submetidos ao órgão regulador, ANEEL, para aprovação. A lei nº 12.212/2010 alterou o Art.11 da lei nº 9.991/2010: V - as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar, no mínimo, 60% (sessenta por cento) dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social.

<sup>12</sup> A Tarifa Social de Energia Elétrica é um desconto na conta de energia elétrica destinado às famílias inscritas no Cadastro Único com renda de até meio salário mínimo per capita. É resultante da Lei nº 12.212 de 20 de janeiro de 2010.

não afetem a camada de ozônio, assumindo-se a princípio, uma média de substituição de um milhão de refrigeradores por ano, a partir de 2010.

Nesse programa, na maioria dos casos, normalmente os refrigeradores antigos são recolhidos, e destinados à reciclagem dos materiais. As concessionárias de energia elétrica, usando recursos dos seus programas de eficiência energética, pagam às empresas para que façam o recolhimento e o tratamento adequado desses resíduos. Essas empresas então, utilizando maquinário próprio, tratam, trituram e separam os materiais que compõem esses resíduos. Os materiais resultantes do processo são vendidos para as indústrias.

No Brasil, duas empresas se destacam nesse mercado, pois resultaram de acordos entre o governo brasileiro e da cooperação de agências e de governos estrangeiros, fazendo a coleta e o tratamento dos refrigeradores substituídos no programa do governo brasileiro, tendo como principais clientes as concessionárias de energia elétrica do Brasil. A planta de instalação dessas empresas vem sendo denominada de planta de manufatura reversa. Abaixo são apresentadas as características dessas empresas e seus processos de reciclagem de acordo com informações disponibilizadas em seus respectivos “sites”:

a) A empresa “REVERT BRASIL” está localizada em Minas Gerais, no município de Careaçú. O estado de Minas Gerais é estratégico, bom para a logística, pois fica próximo aos principais mercados consumidores. São disponibilizados também postos de coleta dos refrigeradores descartados e escritórios de representação em Alagoas, Piauí e Pernambuco.

A empresa está inserida no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica assinado, em 2009, pelos governos alemão e brasileiro por meio do Ministério do Meio Ambiente Alemão e da Agência de Cooperação Técnica Alemã e do Ministério do Meio Ambiente do Brasil e da Agência Brasileira de Cooperação, além da participação da prefeitura de Careaçú, e tem por objetivo apoiar a introdução de um programa piloto de logística reversa de refrigeradores no Brasil, incluindo a instalação de um equipamento modelo de manufatura reversa. O valor total do projeto é de cerca de 10 milhões de euros, sendo 5 milhões do governo alemão e os outros 5 milhões do operador do equipamento, a Revert Brasil Soluções Ambientais

Ltda. O projeto compreende também o treinamento de pessoal para logística reversa de refrigeradores, incluindo catadores de materiais recicláveis e demais atores dessa cadeia e também o intercâmbio de informações técnicas sobre a logística reversa de refrigeradores entre os dois países.

Esse projeto foi pioneiro no Brasil, trazendo a tecnologia de equipamentos de reciclagem mais atual do mercado mundial, de fabricação alemã e utilizada na Europa e na América do Norte com o poder de eficiência maior que 99% na separação e reciclagem dos resíduos dos materiais encontrados nos refrigeradores e condicionadores de ar, seguindo os padrões alemães de segurança e controle de qualidade e serviço.

O equipamento utilizado é totalmente automatizado, com capacidade para processar até 450 mil unidades por ano, o que equivale a cerca de 1.500 geladeiras por dia. A eficiência de processamento do equipamento permite retirar mais de 99% dos gases CFCs existentes no refrigerador, tanto no sistema de refrigeração (CFC-12) quanto na espuma do isolamento térmico (CFC-11). O equipamento também separa os demais materiais que compõe o refrigerador, como poliuretano, plástico, ferro, cobre e alumínio.

O trabalho da empresa está vinculado a projetos sociais, beneficiando catadores, sucateiros, e pequenos empresários informais em parceria com organizações não-governamentais, capacitando-os para o uso correto das ferramentas, e dos procedimentos, garantindo a segurança e a qualidade no desenvolvimento das atividades. O resultado dessas ações são os benefícios para o meio ambiente, com a redução significativa de gases que destroem a camada de ozônio e que contribuem para o aquecimento global, redução dos resíduos nas cidades, além da redução no consumo de energia para produção e reciclagem de novos materiais.

b) A INDÚSTRIA FOX, fundada em 2009, está situada no estado de São Paulo, na cidade de Cabreúva. O investimento foi em torno de vinte milhões de reais, e são disponibilizados vários pontos de coleta distribuídos pela cidade de São Paulo, onde os refrigeradores usados são coletados por meio de cooperativas. A



empresa estuda a possibilidade de instalação de mais duas unidades de reciclagem, uma no Nordeste e outra no Sul.

O foco da empresa é a proteção climática com a redução de emissões de gases de efeito estufa decorrentes do gerenciamento inadequado do fim do ciclo de vida de equipamentos de refrigeração, a partir de alta tecnologia em reciclagem. Sendo a primeira empresa sul-americana a implantar o *Swiss Charter*<sup>13</sup>, escolhida como operadora do projeto pioneiro da Iniciativa Suíça de Proteção Climática com recursos da fundação *SENS International* e da Agência Suíça para o Desenvolvimento e Cooperação econômica, para implementar uma estratégia de sustentabilidade. Por meio de sua associada suíça, a empresa tem acesso a uma rede internacional de fornecedores de tecnologia de reciclagem, experiência em marketing de matéria-prima, ferramentas de gerenciamento de fábricas e recursos humanos, e, podem ser obtidas taxas de reciclagem maiores que 90% para refrigeradores e *freezers* aplicando-se modernas técnicas de separação.

Por meio de uma tecnologia alemã, o CFC é captado por sucção e enviado para uma câmara que atinge até 1400°C de temperatura, que o transforma em uma solução ácida que pode ser aproveitada por indústrias químicas. Em seguida, os equipamentos seguem para um mecanismo de trituração. Todo o processo de reciclagem apresenta ótimas taxas de aproveitamento, que geram as seguintes porções de matéria-prima para revenda: matéria ferrosa (60%) para usinas de aço, alumínio (5%), que segue para fundição, plástico (13%) e poliuretano (15%). A própria empresa realiza a logística reversa, transportando os refrigeradores para suas instalações, onde ocorrerá a reciclagem.

---

<sup>13</sup> **Swiss Charter:** é um documento fundamentado em princípios que definem uma estrutura para se executarem projetos de proteção do clima baseados em reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos em países em vias de desenvolvimento e em mercados emergentes. Os projetos visam especificamente a programas de reciclagem para redução das substâncias destruidoras da camada de ozônio que, por sua vez, causam o aquecimento global e mudanças climáticas.

Em entrevista para a revista Exame, em agosto de 2010, o diretor da empresa citou a experiência da Suíça com a gestão de resíduos sólidos, iniciada há vinte anos. O país possui mais de 12 mil pontos de coleta de refrigeradores e 35 empresas recicladoras, que reaproveitam mais de 350 mil refrigeradores, movimentando o equivalente a 200 milhões de reais por ano. As etapas do processo de reciclagem, ou de manufatura reversa, utilizadas nas empresas são basicamente as mesmas e estão distribuídas nos passos apresentados no

Quadro 3.

**Quadro 3 Etapas do processo de manufatura reversa de refrigeradores.**

**1. Pré-desmontagem:** são retirados as borrachas de vedação, as prateleiras, bandejas, gavetas, os cabos de força, fios condutores, capacitores, interruptores e lâmpadas.

**2. Remoção do óleo do compressor e do gás refrigerante:** a retirada do fluido de refrigeração e do óleo do compressor, com um equipamento de alta sucção.

**3. Desmontagem do compressor:** Nessa etapa o compressor é removido do refrigerador.

**4. Encaminhamento para a máquina de reciclagem:** Nessa etapa os refrigeradores são encaminhados para a máquina que faz a trituração por meio de uma esteira rolante.

**5. Trituração dos componentes dos refrigeradores:** A partir dessa etapa, o processo é hermeticamente fechado na máquina recicladora, evitando o escapamento de qualquer molécula de substância nociva ao meio ambiente e capturando o gás CFC contido na espuma de isolamento.

**6. Sucção e processamento do gás:** Essa é a etapa mais importante do processo. Por meio de tubos hermeticamente fechados o gás CFC é levado para um equipamento responsável pela liquefação, separação e armazenamento do mesmo.

**7. Separação dos metais:** Em uma esteira imantada, os metais são separados dos demais resíduos.

**8. Fragmentos dos materiais triturados:** Após a separação dos metais, restam os fragmentos da espuma e do plástico que são separados para a reciclagem.

**9. Espuma do isolamento térmico:** A espuma passa pelo processo de degaseificação, e em seguida é granulada ou peletizada para reaproveitamento.

**10. Metais triturados:** Os fragmentos dos metais (alumínio, cobre e ferro) são triturados e separados, e tornam-se matéria-prima na fabricação de novos produtos.

Certamente há outras empresas atuando no setor de reciclagem, mas destacou-se aqui a particularidade dessas duas empresas tratarem especificamente dos resíduos dos refrigeradores e *freezers*, além dos acordos internacionais estabelecidos entre governos.

Não há informações disponíveis sobre os custos do processo, quanto ao consumo de energia elétrica, manutenção do maquinário e outros custos pertinentes. O setor gera postos de emprego com mão-de-obra distribuída na planta de manufatura reversa e na cadeia de logística que envolve catadores, sucateiros, pontos de coleta e o transporte para as instalações de tratamento.

### **4.3 PANORAMA INTERNACIONAL**

#### **4.3.1 SUIÇA E DIRETIVAS EUROPÉIAS**

A Suíça foi pioneira na gestão dos REEE, mas somente em 1998 foi criado um decreto que constituiu a base jurídica do sistema de gestão suíço de REEE, denominada *ORDEE (Ordinance on the Return, Taking back and Disposal of Electrical and Electronic Equipment)*, pelo *Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)*. Entretanto, antes do decreto entrar em vigor, a coleta e o tratamento desses resíduos eram impulsionados por iniciativas voluntárias de organizações de fabricantes. Atualmente existem quatro tipos dessas organizações na Suíça, mas duas destacam-se por gerenciar a maior parte do fluxo de REEE em termos de peso e volume, e têm uma história operacional significativa: *SWICO Recycling Guarantee* e *S.EN.S (Stiftung Entsorgung Schweiz - Swiss Foundation for Waste Management)*. Essas organizações tinham estabelecido um sistema de coleta, tratamento e financiamento da gestão dos REEE bem antes da legislação tornar obrigatório que os fabricantes assumissem as responsabilidades sobre o descarte de seus produtos no final de vida. (NNOROM e OSIBANJO, 2008)

O elemento essencial do sistema de gestão suíço dos REEE é baseado no sistema de responsabilidade estendida do produtor, com uma definição clara dos papéis e das responsabilidades do governo, fabricantes e importadores, distribuidores e varejistas, consumidores, pontos de coleta e recicladores. Segundo Khetriwal et al.(2009), menos de 2% dos REEE na Suíça têm como destino os aterros.

A primeira ação relativa à gestão dos REEE na Suíça foi a formação da “S.EN.S” em 1990, como uma organização sem fins lucrativos para garantir o descarte adequado de refrigeradores e *freezers*. Depois, passou a incluir todos os produtos da linha branca, e atualmente tem 250 parceiros e gerenciam 98% dos REEE. (PORTE, 2006)

Na Suíça, o consumidor paga uma taxa de reciclagem. Essa taxa é uma função das vendas dos equipamentos e dos custos de coleta e reciclagem dos resíduos gerados. Na *SWICO* a taxa de reciclagem é definida por uma comissão, envolvendo os fabricantes dos setores da indústria, e é revista anualmente. É utilizado o índice de preços dos produtos de acordo com o qual a taxa de reciclagem é calculada. A *S.EN.S*, tem seis categorias de taxas distintas, em que todos os produtos são classificados. A categoria depende do tipo, e do tamanho do produto. A equipe do “S.EN.S”, com representantes de produtores, varejistas e recicladores se reúne duas vezes por ano para examinar suas operações e definir as taxas de reciclagem. O sistema suíço mostra que, quando os custos do descarte dos REEE são maiores do que o valor recuperável, uma taxa de reciclagem pode compensar a diferença financeira e garantir a operacionalidade do sistema. (KHETRIWAL et al., 2009)

A União Europeia estabeleceu três diretivas sobre equipamentos eletroeletrônicos: 2002/95/EC, sobre as restrições ao uso de determinadas substâncias perigosas (chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromobifenil (PBB) e/ou éter de difenil polibromado (PBDE)) em equipamentos eletroeletrônicos, amplamente conhecida como diretiva “RoHS”; 2002/96/CE, relativa aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, conhecida como diretiva “REEE”, e 2005/32/CE, sobre os requisitos de concepção ecológica dos produtos que consomem energia. Os refrigeradores estão incluídos na lista dos produtos no Anexo IB da diretiva dos REEE, e classificados na categoria de grandes eletrodomésticos no Anexo IA da diretiva.

A diretiva REEE é destinada aos problemas que o alto fluxo de REEE ocasiona, e tem como objetivo minimizar seus impactos no ambiente, aumentando a reutilização, a reciclagem, e a redução da quantidade de REEE que têm como

destino final os aterros. Os objetivos da diretiva serão alcançados tornando os produtores responsáveis pela coleta, tratamento e valorização dos REEE dos produtos listados por categorias, e os distribuidores, ao fornecerem um novo produto, sejam responsáveis por assegurar aos consumidores que os resíduos possam ser entregues, sem encargos, à razão de um por um, desde que esses resíduos sejam de equipamentos equivalentes e desempenhem as mesmas funções que os equipamentos adquiridos. A diretiva europeia também fornece orientações para estimular o *eco-design* em toda a União Europeia.

Países europeus lidam com o descarte de produtos eletroeletrônicos em nível nacional. Um certo número de países europeus, incluindo Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Itália, Portugal, Noruega, Suécia, Suíça e Holanda já adotavam algum tipo de tratamento dos REEEs, por meio de legislação ou acordos, antes das Diretivas da União Europeia. Os produtos da linha branca cobertos por esses dispositivos diferem de país para país. A legislação austríaca só era dirigida para refrigeradores e *freezers*, enquanto que, na Holanda a legislação sobre REEE abordava todos os produtos da linha branca. Essas leis ou acordos, responsabilizam os municípios pela coleta domiciliar, enquanto os produtores são obrigados a disponibilizar sistemas de tratamento, reciclagem e descarte adequados desses produtos no fim de vida útil. Normalmente, quando o consumidor compra um novo produto, o produto usado, descartado, pode ser entregue ao varejista, independentemente da marca. Como alternativa, o consumidor também pode devolver o produto usado para o serviço da autoridade local de coleta. (C.A.M.A., 2005)

As metas e as taxas de reciclagem diferem de um país para outro. Na Bélgica, foi estabelecida meta de coleta de 90% para grandes eletrodomésticos. Na Dinamarca, desde 2007, o objetivo é reciclar 75% de todos equipamentos descartados. Na Itália, há um acordo para que 68% do peso dos refrigeradores e *freezers* descartados, sejam coletados e reciclados. Na Noruega, a partir de 2004, foi estabelecida a meta de 80% de coleta e reciclagem para todos os eletrodomésticos descartados. Em Portugal, 75% do peso coletado do material de eletrodomésticos, deve ser reciclado ou reutilizado. (C.A.M.A., 2005)

A taxa de reciclagem mede o quanto em peso, é reciclado de um produto. Se um produto pesa 60 kg e for reciclado a uma taxa de 90%, significa que 54 kg desse produto foram reprocessados e voltarão para o mercado com matéria-prima para a fabricação de novos produtos. Os seis quilos restantes são considerados rejeitos e serão encaminhados para aterros para a disposição final. A taxa de reciclagem de certo modo mede o desempenho de processamento da unidade recicladora.

#### **4.3.2 COREIA DO SUL**

Em 2003 foi adotado um sistema baseado na responsabilidade estendida do produtor, mas, desde 1992, a Coreia adota medidas para o tratamento dos REEE com legislação específica para controle desses resíduos, e especificamente para os resíduos dos refrigeradores, são adotadas medidas desde 1993. Desde 1998, três grandes centros de reciclagem estão em pleno funcionamento para reciclar REEE, tais como refrigeradores, máquinas de lavar e aparelhos de ar condicionado, com capacidade total de 880 mil unidades/ano. A Coreia vem fazendo esforços consistentes para melhorar as taxas de reciclagem, para obter os padrões indicados nas directivas da União Européia. Metas de reciclagem para os refrigeradores passaram de 60% em 2005, para 70% a partir de 2006. (ENVICO, 2012)

Segundo Lee et al. (2007), apesar do governo coreano almejar atingir metas que sejam comparáveis aos padrões da diretiva REEE européia, problemas como: deficiência de tecnologias viáveis para a reciclagem dos REEE; aumento expressivo na quantidade de REEE; infra-estrutura insuficiente para a coleta de REEE e falta de entendimento do consumidor sobre o sistema, tornam insatisfatórios as taxas de reciclagem dos REEE.

#### **4.3.3 JAPÃO**

No Japão, desde 2001 há uma lei específica (*Home Appliance Recycling Law*), que define o tratamento adequado para quatro tipos de eletrodomésticos: refrigeradores; máquinas de lavar roupas; televisores com tubos de raios catódicos, e aparelhos de ar condicionado. A lei também determina os papéis de cada participante: os varejistas coletam os produtos dos consumidores e devolvem para os fabricantes, os fabricantes (incluindo importadores) têm a responsabilidade de coletar e tratar adequadamente os CFCs, HCFCs e HFC de refrigeradores e de

condicionadores de ar, além da responsabilidade pela reciclagem dos equipamentos predeterminados na lei, os consumidores pagam taxas de reciclagem no momento do descarte. Essas taxas significam valores médios de US\$ 42 para refrigeradores, US\$ 32 para aparelhos de ar condicionado, US\$ 22 para máquinas de lavar roupas, e US\$ 25 para televisores com tubos de raios catódicos. (AIZAWA et al., 2008)

Segundo Aizawa et al. (2008), esses equipamentos foram selecionados em função dos seguintes critérios: dificuldade na gestão desses resíduos pelos governos locais (prefeituras); existência de programas de devolução para os produtos no fim de vida útil, especialmente no momento da compra de um novo produto; viabilidade econômica da reciclagem; e a viabilidade da aplicação do *eco-design*, facilitando, por exemplo, o processo de desmontagem para recuperação dos materiais.

Antes da implementação da lei, os varejistas coletavam cerca de 80% dos eletrodomésticos descartados pelas famílias, e os governos locais recolhiam os outros 20%. A maioria desses equipamentos eram depositados diretamente em aterros, ou iam para os aterros depois de terem sido grosseiramente triturados (para reduzir seu volume). Em 2007, os fabricantes se dividiram em dois grandes grupos para a reciclagem dos produtos, de acordo com suas afinidades: um grupo com 23 empresas filiadas e o outro com 18 empresas. Os grupos são concorrentes entre si. Ao todo são cerca de 380 pontos de coleta e 48 plantas de reciclagem, no Japão. Cabe ressaltar, que a reciclagem prevista na lei, envolve também o reuso dos equipamentos, e um percentual do que é descartado e devolvido para os fabricantes pode ter como destino uma extensão da vida desse produto, sendo reutilizado internamente dentro do país, ou sendo exportado. (AIZAWA et al., 2008)

#### **4.3.4 EUA**

Segundo informações do *Appliance Recycling Information Center* (ARIC), de 2005 a 2010, 90% dos equipamentos eletroeletrônicos descartados anualmente, foram reciclados nos Estados Unidos, e esse percentual continua estável. Os cinquenta estados americanos contribuem, cada qual com suas regras, para que a reciclagem dos REEE seja bem gerenciada, evitando o desperdício e os custos desse material que seria depositado em aterros.

A Associação dos Fabricantes de Eletrodomésticos *AHAM – Association of Home Appliance Manufacturers*- ressalta que, embora o aço seja o material mais abundante nos produtos da linha branca, outros materiais como alumínio, cobre, plásticos e fluidos refrigerantes também são tratados e reciclados devidamente, nos estados americanos.

Alguns estados como Carolina do Norte, por exemplo, adotam taxas de reciclagem. Em 1993, quando se iniciou a cobrança de taxas, havia uma taxa de 10 dólares para equipamentos que continham CFC-12 em sua composição, e de 5 dólares para os que não continham CFC-12. A partir de 1998, foi adotada uma taxa de 3 dólares para todos os produtos da linha branca. Ao adquirir um produto novo, o consumidor paga a taxa de reciclagem, no ponto de venda, esses valores são repassados então para o *North Caroline Department of Revenue*. (C.A.M.A., 2005)

Segundo a Associação dos fabricantes de eletrodomésticos do Canadá, o sistema de reciclagem nos EUA está amplamente direcionado para a economia que a recuperação dos materiais metálicos representa. Mesmo que os preços do aço sofram alguma queda, as taxas de reciclagem permanecem altas, em cerca de 90%.

#### **4.3.5 CHINA**

Segundo Porte e Geering (2009), a China estabeleceu uma estratégia nacional para a implementação de um sistema de coleta e reciclagem para os REEE, a ser aplicado a partir de 2011. Uma versão preliminar do regulamento torna obrigatório a coleta e reciclagem de todos os tipos de televisores, refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, máquinas de lavar roupas e computadores. O regulamento faz com que os produtores e importadores responsáveis pelos seus produtos, criem um fundo para subsidiar a coleta formal e o tratamento desses resíduos, e define regras para a certificação e controle de qualidade das plantas de instalações de reciclagem.

No estudo elaborado por Porte e Geering (2009), foram analisados os dados colhidos de questionários aplicados e comparados com dados da literatura, sobre como as famílias chinesas dispoem seus EEE no fim de vida. A coleta de dados foi concentrada nas famílias chinesas de classe média alta. Verificou-se que a maioria



dos EEE é vendida a catadores de rua ou para o mercado de reuso (segunda mão), e que o setor de coleta informal desempenha, assim, um papel importante na separação desses produtos, ou de seus componentes. Os preços pagos não refletem as condições dos equipamentos quando vendidos, nem refletem com precisão o valor dos materiais que os compoem. Um refrigerador, por exemplo, pode ser vendido por cerca de 20 dolares.

Na pesquisa desses autores, observa-se que, com relação aos refrigeradores, as famílias chinesas têm o seguinte comportamento para o descarte desses produtos: a grande maioria vende os refrigeradores para os catadores. Depois em ordem de escolha, vem: armazenamento em domicílio, doação para outras pessoas, troca na compra de outros produtos, descarte direto e, por último, venda para o mercado de segunda mão.

Para melhorar todo o sistema, os reguladores têm que definir responsabilidades claras para a coleta, reutilização e reciclagem. Ao mesmo tempo, eles têm a preocupação sobre os trabalhadores que fazem a coleta informal desses resíduos, em como inserí-los formalmente ao sistema. Uma vez que as responsabilidades forem bem definidas, os catadores podem ser certificados e reembolsados, quando entregarem os resíduos às plantas de reciclagem.

O sistema de gestão de REEE, com a regulamentação da legislação, poderá incluir os catadores para preservar os empregos informais, bem como regular e controlar o reuso e a reciclagem, reagindo de forma eficiente às demandas dos clientes em estender o tempo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos. Assim como criar empregos e prevenir riscos ambientais. (PORTE e GEERING, 2009)

## 5 REMANUFATURA

### 5.1 DEFINIÇÕES DOS TERMOS DE REUSO

De maneira geral, pode-se dizer que a Remanufatura é uma das diferentes opções de estratégias de reutilização de um produto usado, onde, após uma série de intervenções, realizadas num ambiente industrial, o produto é recuperado às mesmas condições de um produto novo.

Reutilizar um produto é proporcionar que esse produto continue a ser usado para a mesma finalidade para a qual foi concebido, depois que suas especificações não mais atenderem as exigências do proprietário anterior. Podem ser reutilizados tanto o produto completo, como seus componentes separadamente.

De acordo com as definições para os termos associados ao reuso de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), o Relatório “*White Paper, 2009*” (StEP – *Solving the e-waste Problem*) define o potencial para reuso, como a capacidade que um EEE ou seus componentes, tenham para ser reutilizados, e as vantagens que podem proporcionar. De maneira geral, o potencial de reuso é composto de cinco fatores: tecnológico, econômico, ambiental, social e cultural, além de aspectos legais. Segundo Anityasari e Kaebernick (2008), baseado na premissa de que o reuso é uma estratégia favorável nos aspectos ambientais, os fatores técnicos e econômicos também devem ser considerados e satisfeitos, ao se decidir sobre utilizar essa estratégia.

Do ponto de vista de Sundin e Lee (2011), a estratégia de reuso dos EEE ou dos seus componentes, no contexto da hierarquia de resíduos, deve ser preferencialmente considerada, sobre todas as outras estratégias de recuperação. Os autores afirmam que ao estender a vida útil desses equipamentos, ou de seus componentes com potencial para a reutilização, evita-se a produção de resíduos, além da redução de materiais e energia que são dispendidos na fabricação de novos produtos.

A preparação para o reuso envolve uma série de atividades, como: desmontagem, limpeza, inspeção, substituição de peças ou componentes avariados, remontagem e, testes de funcionamento. Essas atividades, que tem como objetivo

recuperar os materiais e a energia que foram gastos no processo de fabricação dos equipamentos, resultam em quatro alternativas possíveis de reutilização dos EEE: Remanufatura; *Refurbishment*(Recondicionamento);Reparo e *Upgrade* (atualização), que são descritos a seguir:

**Remanufatura:** compreende as ações necessárias para que a partir de um equipamento usado ou de seus componentes, se obtenha um produto que tenha a mesma função, especificações e garantias do produto fabricado originalmente pelo fabricante. O processo de remanufatura requer a desmontagem da unidade; testes de inspeção; substituição dos componentes que estejam avariados ou que não atendam às especificações; remontagem e testes finais.

***Refurbishment* ou Recondicionamento:** compreende as medidas necessárias para restaurar um equipamento a uma condição definida na função e forma, que pode ser inferior a de um produto novo. O resultado satisfaz as especificações da funcionalidade original. É necessário a desmontagem parcial do equipamento, de modo que possam ser substituídos os componentes avariados. Essa modalidade é muito utilizada em determinadas categorias de equipamentos eletrônicos, onde normalmente são substituídos uma placa ou um módulo, realizados testes de desempenho, ajustes internos e calibração, para posterior venda.

**Reparo:** compreende as medidas necessárias para corrigir todos os defeitos de um equipamento, que impeçam seu funcionamento. O equipamento reparado volta às condições normais de operação. Para o reparo de um produto não é necessário desmontagem completa do produto.

***Upgrade* ou atualização:** descreve qualquer ação no *hardware* ou *software* dos EEE para melhorar e/ou aumentar seu desempenho e/ou sua funcionalidade.

Outra estratégia comumente utilizada é a reciclagem ou reprocessamento do produto e/ou de seus componentes, onde os materiais que os compõem são reprocessados, e voltam para a cadeia produtiva, como matérias-primas para a fabricação de novos produtos, não necessariamente com as mesmas funções e características daquelas dos produtos originais. Na reciclagem, recupera-se

somente os materiais, dependendo da tecnologia utilizada, a recuperação pode ter uma taxa mais significativa. Entretanto, no processo de reciclagem, a energia que foi gasta nos processos da fabricação do produto e/ou dos componentes é desperdiçada.

## **5.2 ESTRATÉGIAS DE FIM DE VIDA**

Atividades de recuperação dos produtos após seu uso são ações eficazes na busca da sustentabilidade. A recuperação dos produtos é denominada pela maioria dos autores como estratégias de fim de vida ou “*End-of-Life*” (EoL). Essas estratégias se distribuem em alternativas diferentes, com o mesmo objetivo, ou seja, reduzir impactos ambientais, econômicos e sociais. Com isso, garante-se a redução de extração de recursos naturais, a redução do consumo de energia e de água, a extensão do ciclo de vida de produtos e de componentes, a redução na geração do volume de resíduos e conseqüentemente a redução da necessidade de áreas destinadas à implantação de aterros (que geram custos de diferentes tipos).

Na pesquisa do desenvolvimento de uma ferramenta que forneça informações relevantes para os projetistas na fase de projeto do produto, com objetivo de encontrar a melhor estratégia de recuperação de fim de vida útil dos produtos, Gehin, Zwolinski, e Brissaud (2008), observaram que, embora a reciclagem seja atualmente a solução mais comum, está longe de atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. O conceito e as atividades de remanufatura, segundo os autores, ainda não estão maduros o suficiente, e para convencer as indústrias que essa escolha é a melhor solução, é necessário provar que em comparação com a estratégia usual, a remanufatura é economicamente, socialmente e ambientalmente mais rentável.

A idéia é que na fase do projeto já se permita desenvolver produtos com perfis de “produtos remanufaturáveis”, ou seja, que tenham características que facilitem a desmontagem e o reaproveitamento da maior parte do material para fabricar produtos remanufaturados. No entanto, esses autores são conscientes de que a remanufatura pode não ser a única estratégia de recuperação de fim de vida; eles propõem considerar uma combinação de estratégias de recuperação, entre reutilização, remanufatura e reciclagem. E recomendam ainda, que a incineração e a

disposição em aterros devem ser evitadas tanto quanto possível. O Quadro 4 apresenta um comparativo dos benefícios entre cada alternativa na busca da sustentabilidade.

**Quadro 4 Comparação entre estratégias de *EoL* no contexto da sustentabilidade.**

Bases da Sustentabilidade	Benefícios	Remanufatura	Reutilização	Reparo	Recondicionamento	Reciclagem
Área Ambiental	Redução no consumo de água.	✓	✓	✓	✓	✓
	Redução no uso de energia.	✓	✓	✓	✓	
	Redução no uso de materiais (extração de recursos).	✓	✓	✓	✓	✓
	Extensão da vida útil do produto ou de seus componentes.	✓	✓	✓	✓	
	Preservação dos materiais e da energia utilizada na fase de fabricação do produto.	✓	✓	✓	✓	
	Redução na geração de resíduos.	✓	✓	✓	✓	✓
	Redução na utilização de áreas de aterros para lixo.	✓	✓	✓	✓	✓
Área Econômica	Conservação da função original do produto.	✓	✓	✓	✓	
	Redução com custos de materiais.	✓	✓	✓	✓	✓
	Melhoramento na eficiência do processo, com identificação, por exemplo; dos componentes ou partes que apresentam mais falhas ou problemas.	✓			✓	
	Propicia a criação de novos mercados.	✓	✓	✓	✓	✓
Área Social	Intensivo na geração de empregos.	✓		✓	✓	✓
	Aquisição de produtos a menor custo.	✓	✓	✓	✓	
	Aquisição de produtos a menor custo, com a mesma qualidade e mesma garantia de um produto novo.	✓				

Fonte: Adaptado de SAAEDRA, 2010

As alternativas de recuperação dos produtos no final de vida útil podem acontecer por meio da remanufatura; da reutilização (reuso direto, sem qualquer reparo nem garantias- bens de segunda mão); do reparo; do recondicionamento e da reciclagem. Nessa comparação observa-se que somente a alternativa de remanufatura satisfaz todos os critérios listados como principais no contexto do

desenvolvimento sustentável, respeitando o equilíbrio entre as áreas ambiental, econômica e social.

Apesar de uma crescente consciência ambiental, as ações do ponto de vista das empresas muitas vezes ficam vinculadas ao cumprimento de regulamentos, normas e legislações. Ou seja, toda a ideologia de sustentabilidade se vê rapidamente reduzida ao cumprimento dessas “obrigações” para que possam operar e exercer suas atividades normalmente. A grande preocupação das empresas é se o fato de mudanças de padrões reduzirão seus lucros. No entanto, segundo Gehin et al., (2008), exemplos de estratégias *EoL* como remanufatura, têm permitido às empresas obter lucros melhorando o desempenho ambiental do produto, e, às vezes superando o exigido pela legislação.

Além disso, uma cobrança cada vez maior com as questões ambientais, e as leis, normas e regulamentos deverão tornar-se, ainda mais exigentes. Portanto, se tornará obrigatória para as empresas que de certa forma, antecipem a evolução do quadro ambiental, prevendo estratégias de *EoL* durante as fases iniciais do projeto, a fim de criar produtos ambientalmente mais amigáveis e adaptados às estratégias de recuperação.

### **5.3 REMANUFATURA**

Segundo Hatcher, Ijomah e Windmil (2011), o conceito de reutilização de produtos não é novo, e a remanufatura tem sido uma atividade industrial cada vez mais comum desde a Segunda Guerra Mundial. No entanto, foi no início da década de 80 que o interesse em remanufatura como tema de pesquisa acadêmica surgiu, com estudos do professor Robert Lund, que descreveu o conceito clássico de remanufatura, como:

Remanufaturar é recuperar um produto usado, descartado ou avariado, às suas especificações originais, e a sua funcionalidade, por meio de um processo industrial.

Segundo Sundin (2004), existem muitas definições para a remanufatura, mas, a maioria são variações da mesma idéia básica de refabricação de um produto. Conforme descreve o autor, um produto remanufaturado é geralmente, um produto usado (desgastado ou avariado), que foi restaurado às suas especificações

originais, ou foi modernizado e atualizado para novas especificações. Assim, a remanufatura não só promove a reutilização de vários materiais, como também permite a melhoria constante da qualidade e das funções dos produtos, sem a necessidade de fabricar produtos completamente novos. Os produtos usados e descartados que chegam ao processo de remanufatura são denominados “**cores**”. Neste trabalho será utilizada a denominação de “**núcleos**” para os produtos usados e descartados, que serão encaminhados para o processo de remanufatura.

### **5.3.1 CRITÉRIOS PARA A REMANUFATURA**

Inicialmente, Lund (1984), estabeleceu sete critérios que determinam se um produto é adequado à remanufatura:

- É um bem durável;
- É descartado;
- É padronizado e suas peças são intercambiáveis;
- Possui valor agregado;
- O custo do retorno do produto é menor em comparação ao valor agregado;
- É estável tecnologicamente; e
- O consumidor tem conhecimento de que há produtos remanufaturados.

Há um consenso geral de que a remanufatura é considerada entre as opções de recuperação do produto no final de vida, aquela que tem maiores benefícios ambientais em comparação à reciclagem dos materiais ou a fabricação de novos produtos. No entanto, não há um processo padronizado para realização destes cálculos ambientais. Sundin and Lee (2011) avaliaram o desempenho ambiental da remanufatura em comparação com a reciclagem de material e fabricação de novos produtos. Os resultados mostraram que, em geral, a remanufatura é a melhor opção devido a ganhos ambientais, tais como: redução de esgotamento de recursos, redução do potencial de aquecimento global e chances para fechar o ciclo dos materiais, garantindo maior segurança no manuseio de materiais tóxicos. Giuntini e Gaudette (2003) afirmam que a remanufatura pode ser um negócio rentável também, a economia de material e energia pode ser traduzido como redução de custos, quando comparado ao produto fabricado a partir de matérias-primas virgens.

Sundin e Tyskeng (2003) realizaram um estudo com objetivo de comparar os cenários de remanufatura e de reciclagem para um refrigerador no final de vida útil,

considerando os aspectos ambientais e econômicos. O estudo avaliou as emissões que contribuem para o efeito estufa, acidificação, e ozônio estratosférico. Comparando os dois tratamentos, e, de acordo com os resultados, os autores verificaram que, ambientalmente, a remanufatura é o modo mais adequado para tratar os resíduos de refrigeradores. No processo de remanufatura os autores observaram que a emissão de GEE é cerca de metade daquela gerada no processo de reciclagem. Os resultados da comparação dos dois cenários, foram obtidos por meio da avaliação do ciclo de vida, utilizando um *software* específico para esta finalidade, o *LCAiT*. Os dois cenários ocorreram na Suécia.

Na análise econômica, os custos da remanufatura foram classificados nas seguintes categorias: transporte, administração, armazenamento, testes, máquinas e ferramentas, material de limpeza, manutenção e inspeção. Além dos custos dos salários do pessoal, e dos custos das peças (novas) de substituição, que são utilizadas no processo. Na reciclagem, os custos advêm do transporte, da coleta dos produtos e do próprio processo de reciclagem. Os resultados dessa análise mostraram que os custos da remanufatura foram maiores. Essa diferença foi devido à necessidade de transportar o refrigerador por longas distâncias, para a instalação de remanufatura. Essas diferenças se dão por que, a empresa que realiza o processo de remanufatura está em outra cidade, a uma distância de 300 km, enquanto que a distância para o centro de reciclagem é de apenas 5 km.

Segundo os autores, algumas considerações devem ser feitas. O processo de reciclagem não pôde ser analisado tão profundamente como o de remanufatura, por falta de dados. Na remanufatura, existe a possibilidade de receita, a partir da venda do produto remanufaturado, porque esses produtos têm valor econômico depois do processo. Por isso, os autores consideraram nos resultados, que a remanufatura é rentável. E, afirmam que há outras razões importantes para um maior desenvolvimento de operações de remanufatura. O fato de a empresa criar um banco de dados, a partir das informações dos componentes ou peças que apresentem avarias com maior frequência (verificado no processo de remanufatura), possibilita alterações e melhorias no projeto, ou no processo de fabricação do produto, de modo que se reduzam falhas, e que melhore o desempenho do produto.



Então, a troca de informações entre a planta de produção e a de remanufatura, é muito importante para o desenvolvimento de produtos de qualidade, com garantias.

Para Bernard (2011) a Remanufatura é um tipo específico de reciclagem em que bens duráveis usados são restaurados a condição de bens novos. E, tanto a remanufatura como a reciclagem tem como objetivos evitar ou reduzir a geração dos resíduos pós-consumo e a extração de recursos naturais. No entanto, a reciclagem é um processo intensivo de energia que conserva apenas o valor do material, e o produto após a reciclagem (reprocessamento) pode ter como destino qualquer tipo de indústria. Na tentativa de atender múltiplos aspectos, a remanufatura pode ser uma opção mais adequada, que preserva a maior parte do valor agregado, ao estender a vida útil do produto e, normalmente, reduz o uso de energia, eliminando as etapas da fase de produção e, nessa prática o produto que passa pelo processo de remanufatura tem como destino a indústria de origem, ou seja, os resíduos desse produto serão utilizados para fabricar outro produto com a mesma função.

A indústria de remanufatura nos EUA, é bastante presente e tem atividades nos cinquenta estados americanos. Lund e Hauser (2010) observaram, também, um crescimento significativo das atividades de remanufatura na Europa, e já notam o grande interesse da China nesse mercado. Hatcher et al., (2011) ressaltam que o interesse em remanufatura está aumentando rapidamente devido a uma maior compreensão de seus benefícios, e da sua importância na nossa sociedade em busca da sustentabilidade.

Segundo Lund (2012), a indústria de remanufatura nos EUA está bem estabelecida. Em 2012, o banco de dados de remanufuradores contabilizou 7000 empresas ativas, que remanufuram cerca de 125 produtos de áreas diferentes (entre bens de capital<sup>14</sup> e bens de consumo duráveis<sup>15</sup>). Nesse banco de dados, constam três empresas que remanufuram refrigeradores domésticos, mas, não foi possível obter mais detalhes sobre suas operações. Segundo o autor, essas

---

<sup>14</sup> Bens de capital: maquinário e complexos equipamentos utilizados na fabricação de outros bens, em diversos segmentos industriais.

<sup>15</sup> Bens de consumo duráveis: São aqueles bens que apresentam duração média de vida útil de alguns anos a algumas décadas. São automóveis, eletrodomésticos, máquinas e equipamentos industriais, aviões, navios, dentre outros.

empresas têm dois objetivos básicos, recuperar a economia e reduzir os impactos ambientais. Enquanto que, na Europa, segundo Sundin (2006), as empresas cada vez mais, aumentam seus interesses quanto ao sistema de remanufatura, e às atividades associadas, como a logística reversa, por exemplo. Devido às pressões da legislação, os interesses de reutilização dos produtos vem aumentando, e empresas de remanufatura em novos setores industriais, e em novos países europeus, vem crescendo também.

Segundo Giuntini e Gaudette (2003), os tipos de produtos que são remanufaturados, vão dos complexos sistemas de armas militares, maquinários de mineração e equipamentos agrícolas, às máquinas de venda automática. Mas, há também alguns casos de remanufatura bem sucedidos, de bens de consumo duráveis, como: peças de automóveis (motores, alternadores, compressores, etc.), computadores, cartuchos e *toner* para impressão, máquinas fotocopadoras, telefones móveis e máquinas fotográficas. Sundin (2004), inclui também os eletrodomésticos da linha branca.

### **5.3.2 FASES DO PROCESSO DE REMANUFATURA**

Sundin (2004), descreve o processo de remanufatura em oito passos básicos. O autor ressalta que, dependendo do produto a ser remanufaturado, a ordem dos passos pode ser alterada. A sequência dos passos do processo, é descrita a seguir:

- Coleta dos “núcleos”;
- Inspeção e identificação das falhas;
- Desmontagem do produto;
- Limpeza e armazenamento das partes ou peças do produto;
- Reparo das partes ou peças avariadas, e substituição de partes ou peças novas, quando for necessário;
- Remontagem do produto; e
- Testes de verificação de desempenho, que garantam as mesmas especificações de um produto novo.

Segundo Ostlin (2008), o Sistema de Remanufatura engloba, desde o recolhimento do “núcleo”, passando por todas as fases do processo de remanufatura, até a comercialização do produto remanufaturado no mercado.

### 5.3.3 BENEFÍCIOS DA REMANUFATURA

O preço de um produto remanufaturado, dependendo do tipo de produto, normalmente equivale de 45% a 65% do preço de um produto novo equivalente (LUND, 1984). A remanufatura combina benefícios de rentabilidade e de sustentabilidade, reduzindo a utilização de aterros, o uso de matérias-primas virgens, e a energia utilizada na produção tradicional. Estima-se que, até 85% do peso de produtos remanufaturados podem ser obtidos a partir de componentes usados, e que tais produtos têm uma qualidade comparável à dos produtos equivalentes fabricados a partir de matérias- primas virgens, mas necessitam de 50% a 80% menos energia para obter o produto final remanufaturado. Seus benefícios econômicos correspondem de 20% a 80% de redução de custos em comparação à fabricação convencional. (SUNDIN, et al., 2009)

Em comparação com a produção de um produto completamente novo, as emissões de GEE e o consumo de energia resultantes das atividades de remanufatura são muito inferiores. A quantidade de energia necessária para produzir um refrigerador novo é 50 vezes maior do que a energia necessária para remanufurá-lo. A produção de uma máquina de lavar roupas requer energia 30 vezes maior do que a remanufatura de tal produto. Esses dados são de grande relevância, considerando-se que, atualmente, o uso racional de materiais e de energia é uma questão importante, perante os riscos do esgotamento dos recursos naturais. (LINDHAL et al., 2006)

As atividades de remanufatura melhoram a imagem ambiental das empresas, além de gerar lucros com a venda dos produtos remanufaturados. Em geral, a remanufatura emprega muitas pessoas, com menor habilidade ou qualificação, do que na área de produção. Por isso, tem uma contribuição significativa para as comunidades onde o desemprego entre os trabalhadores menos qualificados é alto. Além disso, muitas operações de remanufatura podem ser viabilizadas para tirar vantagem dos excedentes de trabalho locais.

A remanufatura requer investimento de capital relativamente baixo, por duas razões: os equipamentos utilizados na fabricação das peças, que normalmente são de alto custo, são desnecessários na remanufatura. O processo de remanufatura

utiliza basicamente ferramentas manuais, em alguns casos, máquinas com jato de vapor para limpeza, e alguns equipamentos para os testes de desempenho. E, as necessidades de capital de trabalho, são modestas, porque a matéria-prima principal é um produto usado descartado, cujo custo é muito menor do que seu valor econômico.

#### **5.3.4 MOTIVADORES PARA REMANUFATURA**

Os incentivos para a criação de uma empresa de remanufatura são numerosos e dependem, por exemplo, da localização geográfica da empresa e que produtos serão remanufaturados. E, são identificados três fatores motivadores para começar a remanufatura: demanda do mercado; legislação e questões ambientais. Lindhal et al.(2006).

Segundo Ijomah et al., (2007), o processo de produção gera uma grande quantidade de resíduos. Isto faz com que a legislação pressione as empresas a adotarem alternativas, para a redução de resíduos e dos impactos ambientais de seus produtos e processos de produção. Neste contexto, a remanufatura pode ser considerada como alternativa. Segundo Ostlin (2008), os efeitos das diretivas europeias podem tornar-se um significativo motivador para a indústria da remanufatura.

A remanufatura reduz a demanda por matérias-primas virgens, uma vez que seu processo é assegurado por produtos usados. Ao utilizar produtos usados, reduz-se a quantidade de resíduos que serão depositados nos aterros, ou lixões. A redução da extração de matérias-primas, e a redução na geração de resíduos, também tem contribuição para redução dos GEE.

Ao utilizar produtos usados, evita-se os custos de matérias-primas, energia e trabalho do processo de fabricação. A redução de custos é um aspecto econômico positivo. Além disso, não foram encontrados estudos indicando que a remanufatura pode afetar negativamente os lucros. Os custos que podem aumentar na empresa são aqueles decorrentes de aumento de mão-de-obra e os de logística. (SUNDIN et al., 2000)

A remanufatura propicia a aquisição de produtos de qualidade com garantias de produtos novos, a preços mais acessíveis. Gera postos de trabalho e de empregos, porque é intensivo em mão-de-obra, e possibilita abertura de novos mercados. Cooperativas de coleta, serviços especializados em logística reversa, inspeção e desmontagem dos “núcleos” são alguns dos mercados que podem ser criados com as atividades da remanufatura.

### **5.3.5 BARREIRAS PARA A REMANUFATURA**

Ostlin et al., (2009), afirmam que uma das questões que mais impactam para o êxito das atividades de remanufatura está na dificuldade de obtenção de “núcleos” em condições adequadas para a remanufatura. E, que fatores como tempo de vida do produto, tecnologia, e taxa de falhas influenciam no fluxo de retorno.

Segundo Ostlin (2005), comparado com o processo de produção, o processo de remanufatura está relacionado com uma série de fatores, como:

- O momento certo e a quantidade dos “núcleos” recuperados;
- A necessidade de equilibrar retorno com a demanda;
- A desmontagem dos “núcleos” recuperados;
- A incerteza quanto a qualidade dos “núcleos”; e
- A necessidade de uma rede de logística reversa.

Há um consenso geral entre autores, ao afirmar quanto as incertezas que as empresas de remanufatura experimentam, com relação à qualidade, quantidade, e frequência, no recebimento dos “núcleos”, o que torna o planejamento das atividades mais difícil. Lund (1984), ressalta que, por definição, quase todos os “núcleos” que chegam para remanufatura, estão defeituosos, de alguma maneira desconhecida, e que, ter ao final do processo produtos de qualidade equivalente à de produtos novos, a partir de “núcleos” de qualidade desconhecida, é o maior teste de habilidades do processo de remanufatura.

Segundo Sundin (2006), as instalações de remanufatura são de natureza diferente, dependendo, por exemplo, de quais produtos estão envolvidos, e em que volumes. Além disso, a cultura e a legislação podem afetar a remanufatura. Sundin relata também, o comentário do gerente de uma instalação de remanufatura na

Suécia, que diz ser mais rentáveis as operações de remanufatura, em países com salários mais baixos do que os praticados na Suécia.

Lund (1984) afirma ser insignificante o reconhecimento público do papel benéfico da remanufatura em nossa sociedade. As políticas públicas tendem a desencorajar, em vez de encorajar, as atividades da remanufatura. O autor enfatiza que os remanufaturadores devem ser mais agressivos em familiarizar os formuladores de políticas, com os benefícios de sua empresas. Alegando que podem fazer bens materiais durarem mais, ajudando a preservar riquezas naturais, e garantindo uma melhor qualidade de vida para essa geração, e para as futuras gerações.

Outros problemas estão relacionados com o projeto dos produtos. Normalmente os projetos têm foco na funcionalidade e nos custos, e os problemas das questões ambientais são negligenciados na fase de concepção do produto. Além disso, há uma escassez de conhecimento e pesquisa de remanufatura, e, por isso, a indicação para a reciclagem tem recebido mais atenção do que a remanufatura, apesar da remanufatura proporcionar maiores benefícios ambientais e financeiros do que a reciclagem. (SUNDIN et al., 2009)

Pode-se afirmar que a recuperação de produtos e de componentes, está presente em algumas atividades industriais de maneira expressiva, pelo menos desde a Segunda guerra mundial. Naquele período, a escassez de materiais, principalmente na indústria automotiva, fez com que as empresas recuperassem componentes e peças ao invés de produzi-las. (MAHL and OSTLIN, 2007)

### **5.3.6 TIPOS DE REMANUFATURADORES**

Existem três tipos de empresas que realizam atividades de remanufatura. Estas empresas são classificadas de acordo com sua relação com o fabricante original do equipamento (*OEM – Original Equipment Manufacturer*).

**Remanufuradores originais do equipamento** (*Original Equipment Remanufacturers*): é a empresa que fabrica e, paralelamente realiza a remanufatura de seus próprios produtos. Segundo Sundin (2004), os produtos para remanufaturar, vem dos pontos de assistência técnica, dos varejistas, ou de fim de contratos de

*leasing*. Para estas empresas, essa atividade é lucrativa, e pode oferecer aos clientes, uma faixa mais ampla de preços. A grande vantagem, é que há conhecimento das especificações e detalhes do projeto, facilidade de substituição de partes ou componentes, e possibilidades de aperfeiçoar o produto ou processo. Quanto ao consumidor, sua confiança e disposição ao comprar um remanufaturado, aumentam, quando o próprio fabricante remanufatura o produto.

**Remanufuradores contratados:** São empresas contratadas pelos *OEMs*, para realizar a remanufatura de seus produtos. Por estar relacionadas aos fabricantes originais, têm acesso a todas as informações técnicas do produto. O fato da empresa original ter atuação e responsabilidade nesse tipo de contrato, gera confiança do consumidor ao optar por um produto remanufaturado.

**Remanufuradores independentes:** essas empresas têm pouco, ou nenhum, contato com os fabricantes originais. Eles precisam coletar ou comprar os “núcleos” para remanufaturar, assim como, peças ou componentes para substituição daquelas avariadas ou desgastadas. Em algumas vezes, essas empresas são pagas pelo último proprietário ou distribuidor para recolher produtos descartados. Lund (1984) afirma ainda que, esse tipo de operação é uma abordagem integrada, na medida em que, adquire os “núcleos”, realiza a remanufatura, e disponibiliza os produtos no mercado com seu próprio nome, ou ainda, para marcas próprias de outras empresas. A qualidade e o desempenho de seus produtos, aliados ao preço, determinarão o nível de confiança do consumidor.

#### **5.4 LOGÍSTICA REVERSA**

A Remanufatura requer a criação de um canal de logística economicamente e ambientalmente viável para o fornecimento de “núcleos” para a cadeia de produção de remanufaturados. Uma nova cadeia logística será integrada para coletar o “núcleo”, realizar a remanufatura e realizar a comercialização do produto remanufaturado. A complexidade dessas operações muitas vezes incentiva os fabricantes de equipamentos originais (*OEM*) a procurar soluções mais fáceis, mas, nem sempre mais viáveis com as atuais tendências econômicas e ambientais. Por exemplo, para os REEE na Europa, a maioria dos *OEMs* prefere terceirizar as

atividades de recuperação de produtos no fim de vida, em vez de criar suas próprias cadeias reversas de suprimentos. (KORCHI et al., 2011).

O principal objetivo da logística é disponibilizar bens e serviços nos locais, no tempo, nas quantidades e na qualidade em que são necessários aos seus destinatários. A logística reversa é a mais nova área da logística empresarial, responsável pelo retorno de produtos de pós-venda e de pós-consumo e de seu endereçamento a diversos destinos. Leite (2009) define a logística reversa como:

“A logística reversa é a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valores de diversas naturezas: econômico, de prestação de serviços, ambiental, legal, logístico, de imagem corporativa, dentre outros.”

A sustentabilidade ambiental é um fator de incentivo à logística reversa, pois um de seus objetivos é planejar, operar e controlar o fluxo de retorno dos produtos de pós-consumo ao ciclo produtivo, por meio de canais de distribuição reversos. Esses canais podem ser divididos em reuso de bens duráveis<sup>16</sup> e semiduráveis<sup>17</sup>, remanufatura de bens duráveis e reciclagem de produtos e materiais.

O objetivo estratégico da logística reversa de bens de pós-venda (aqueles sem uso ou pouco usados) é agregar valor a um produto logístico que é devolvido por razões comerciais, erros no processamento de pedidos, garantia do fabricante, defeitos ou falhas de funcionamento, avarias no transporte, entre outros motivos. (LEITE, 2009)

O objetivo estratégico da logística reversa de bens pós-consumo é agregar valor a um produto logístico constituído por bens que não atendem mais às expectativas do proprietário original ou àqueles que ainda possuam condições de utilização, por produtos descartados que chegam ao fim da vida útil, e por resíduos industriais. Esses produtos pós-consumo poderão se originar de bens duráveis e

---

<sup>16</sup> Bens duráveis: apresentam duração média de vida útil de alguns anos a algumas décadas. São os automóveis, eletrodomésticos, máquinas e equipamentos industriais, aviões, navios, e outros.

<sup>17</sup> Bens semiduráveis: apresentam vida útil média de alguns meses até dois anos no máximo. Baterias de automóveis, óleos lubrificantes, baterias de equipamentos eletrônicos, dentre outros.



seguir por canais reversos de reuso, remanufatura ou reciclagem até a sua destinação final. (LEITE, 2009)

Para garantir o sucesso na remanufatura, a empresa deve implementar um canal viável de logística reversa para a recuperação e fornecimento de “núcleos” para a cadeia de produção de remanufaturados. O custo e o impacto ambiental do fornecimento dos “núcleos” variam de acordo com a estrutura do canal de logística reversa. Esta estrutura pode ser determinada por variação da localização geográfica das instalações de logística, ou pela variação das atividades de tratamento (triagem, desmontagem, limpeza, etc.). (KORCHI et al., 2011).

Segundo Leite (2009), as empresas que trabalham com atividades de remanufatura podem concorrer ou trabalhar em cooperação nos diferentes segmentos do mercado, desde a coleta dos “núcleos” até sua redistribuição ao mercado de remanufaturados, justificando, assim, a preocupação com o papel da logística em suas estratégias empresariais.

## **5.5 PROJETO PARA REMANUFATURA**

Segundo Ijomah et al., (2007), a maioria dos produtos apresentam baixa remanufaturabilidade, porque não foram projetados com essa finalidade. Lund (1984) e Sundin (2004) ressaltam que a grande diversidade de produtos, dificulta a remanufatura, devido à falta de padronização.

O projeto para Remanufatura ou *Design for Remanufacturing (DfReman)*, é uma parte do Projeto para o meio ambiente (*DfE*), e pode ter um grande impacto na eficiência da remanufatura. No *DfReman*, muitos aspectos devem ser considerados, tais como: a facilidade para desmontagem, triagem, limpeza, reparo e substituição de peças, remontagem e testes. Quando no projeto do produto são considerados esses aspectos, as etapas do processo de remanufatura podem ser executadas de maneira muito mais eficiente.

Segundo Hatcher et al., (2011), quando o próprio fabricante (*OEM*) remanufatura seus produtos, e aplica na fase de projeto os conceitos para remanufurá-los, alguns benefícios poderão ser obtidos, como a melhoria da eficiência do processo de remanufatura, reduzindo o desperdício de material e os

tempos de desmontagem, o que resulta numa maior rentabilidade da operação. Segundo os autores, os produtos projetados hoje serão os resíduos de amanhã, e uma empresa que planeja com uma visão pro futuro, pode obter vantagens competitivas.

Sundin (2004) identificou a relação entre as propriedades do produto e as etapas específicas do processo de remanufatura. Segundo o autor, diferentes fatores, como a facilidade de acesso ou facilidade de desmontagem, são alcançados, por meio do projeto de produto, que considere esses fatores.

Charter e Gray (2008) descreveram o *DfRem* como uma série de atividades, incluindo projeto para coleta dos “núcleos”, projeto para o meio ambiente, projeto para desmontagem, projeto para ciclos de vida múltiplos e, projeto para atualização. Mas, o objetivo geral é sempre o mesmo, facilitar as operações do processo geral de remanufatura.

Alguns dos problemas encontrados normalmente no processo de remanufatura, podem ser corrigidos por meio do *DfReman*. Na prática, a aplicação do conceito de *DfReman*, pode ser percebido com algumas alterações importantes no projeto, como: utilização de componentes modulares (permite desmontar e montar os produtos com muito mais facilidade, e maior rapidez), padronização de fixadores de componentes ou peças (o uso de conectores (que não utilizem soldagens), parafusos, e outros tipos de fixação, que permitam o uso de ferramentas simples, que facilitem as etapas de desmontagem e montagem), e a padronização das interfaces dos componentes (um menor número de peças são necessárias para produzir uma grande variedade de produtos similares).

## **6 AVALIAÇÃO DA REMANUFATURA PARA O CASO DOS REFRIGERADORES**

### **6.1 CARACTERÍSTICAS DA FABRICAÇÃO DOS REFRIGERADORES**

Na avaliação do ciclo de vida dos refrigeradores, há um consenso, tanto dos fabricantes desses produtos, quanto da literatura pertinente ao assunto, de que, é durante sua fase de uso, que o refrigerador apresenta maior impacto ambiental. Esse fato é devido ao uso intensivo de energia, durante o funcionamento do refrigerador. Os estudos de ACV assumem que o consumo de energia é constante durante todo o ciclo de vida do refrigerador, e que, representa o maior impacto ambiental, mas desprezam o fato do declínio da eficiência energética durante o tempo de vida do produto. Mas, o avanço na tecnologia, permite o desenvolvimento de componentes mais eficientes energeticamente, que reduzam esse impacto indesejado.

Considerando-se que o objetivo que se faz premente nesse momento seja a preservação dos recursos naturais, a sustentabilidade, a redução na geração de resíduos e da poluição, as fases de produção e fabricação dos refrigeradores também devem ser avaliadas, porque seus impactos são bastante expressivos. Na estratégia de remanufatura, ao reutilizar os produtos após a fase de uso, evita-se a extração e transformação dos materiais, a utilização de matérias-primas virgens, o consumo de energia e as liberações das emissões que são despendidas na fase de fabricação do produto, além dos diversos problemas decorrentes da disposição inadequada.

Os impactos ambientais associados às fases de produção e fabricação são geralmente bastante significativos. A extração de matérias-primas envolve escavações de grandes quantidades de terra e de rochas, além do uso de água. Essa movimentação gera grandes quantidades de resíduos, efluentes líquidos, gases de efeito estufa, material particulado, além da degradação da paisagem do local. Após a extração das matérias-primas, é necessário o processamento e beneficiamento desses materiais, que comporão as peças e componentes para a fabricação do produto na indústria. Nesse processo será necessária utilização de máquinas, energia, materiais químicos, transporte para as indústrias, dentre outros, que também geram resíduos, gases de efeito estufa, efluentes líquidos, material

particulado, poluição, e etc. A Tabela 5 apresenta alguns resultados da ACV de um refrigerador, e, com esses valores pode-se ter uma idéia da grandeza dos impactos da fase de produção. Para produzir **um único** refrigerador com peso de 89 kg, são gerados mais de 400 kg de resíduos e 225 kg CO<sub>2</sub> equivalente de GEE.

**Tabela 5 Resultados da ACV de um refrigerador modelo ER8199B.**

<b>Resultados da ACV</b>	<b>Fase de Produção</b>	<b>Fase de Uso</b>	<b>Fase de final de vida</b>	<b>Total</b>
<b>Recursos não renováveis</b>				
Materiais (kg)	<b>252</b>	<b>8</b>	0,006	260
Energia (kWh)	<b>1037</b>	<b>2070</b>	0,057	3110
<b>Recursos renováveis</b>				
Materiais (kg)	1,24	98	0,081	99,3
Energia (kWh)	<b>21</b>	<b>1650</b>	-	1670
<b>Consumo energia</b>				
Consumo energia (kWh)	<b>1058</b>	<b>3720</b>	0,057	4780
<b>Emissões</b>				
GEE (kg CO <sub>2</sub> equivalente)	<b>225</b>	<b>103</b>	69	397
<b>Recursos recicláveis</b>				
Materiais (kg)	3,3	-	51	54,3
Energia (kWh)	-	-	244	244
<b>Resíduos (kg)</b>				
Resíduos perigosos	0,13	0,08	0,32	0,53
Resíduos gerais	<b>414</b>	<b>179</b>	12	605

Esses dados são resultados da ACV de um refrigerador modelo ER 8199B, fabricado na Suécia. Esses resultados foram utilizados como referência para o certificado da declaração ambiental do produto (EPD). Para essa avaliação, foi considerado uma vida útil de 17 anos, a fonte de energia elétrica utilizada na Suécia, e os meios de transportes utilizados para transportar as matérias-primas e os produtos, entre os fornecedores, produtores e consumidores.

Os refrigeradores, devido às suas características de fabricação, têm algumas particularidades, e o processo de remanufatura exige certo grau de desmontagem do produto. Giannetti e Almeida (2006) relatam as etapas e dificuldades encontradas em um estudo realizado em 2002, na Universidade Federal de Santa Catarina, sobre a desmontagem manual de um refrigerador novo, de uma porta, com capacidade de 293 litros. A desmontagem do refrigerador foi realizada utilizando ferramentas como chaves de fenda, chaves tipo canhão, alicates de corte, serra manual, lâmina

metálica, formão, espátula, facão e martelo. Foi elaborada uma escala com grau de dificuldade variando de 1 a 5, sendo “1” extremamente fácil, “2” fácil, “3” difícil, “4” muito difícil e “5” extremamente difícil. Alguns resultados são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 Desmontagem de um refrigerador de uma porta.**

<b>Operação</b>	<b>Tempo utilizado (minutos)</b>	<b>Grau de dificuldade</b>	<b>Ferramentas utilizadas</b>
Remoção de prateleiras, gavetas, borracha de vedação e pés de suporte.	2	“1”	Não foi necessário uso de ferramentas
Remoção da porta	1,5	“2”	Chaves de fenda e chave canhão
Remoção da capa plástica interna (poliestireno)	6	“3”	Chaves de fenda e lâmina metálica
Remoção dos componentes elétricos internos	5	“3”	Alicate de corte e chaves de fenda
Remoção do evaporador e do condensador	5	“4”	Serra manual, alicate corte e chaves de fenda
Remoção da PUR da porta	28	“5”	Formão, espátula e martelo
Desmontagem do gabinete	55	“5”	Formão, espátula e martelo, facão e chaves de fenda

Ao analisar os resultados, observa-se que as operações de remoção da espuma rígida do isolamento (PUR) da porta e da desmontagem do gabinete foram consideradas as de maior grau de dificuldade (extremamente difícil), e de maior duração de tempo. Segundo relato de Giannetti e Almeida, a operação de separação da PUR mostrou-se extremamente difícil de executar e de completar, mostrando que é necessário desenvolver-se uma solução para esse problema.

Na fabricação do gabinete e das portas, a espuma do isolamento térmico é injetada entre a parte externa do refrigerador (aço) e o plástico do revestimento interno, de maneira a se adequar às formas do refrigerador, e aderir aos materiais (aço e plástico). Mas, na desmontagem, devido ao modo de fabricação, é difícil a separação desses materiais visando a remanufatura, e por isso, normalmente, o processo de reciclagem (reprocessamento) é mais utilizado para recuperação dos materiais que foram utilizados na fabricação do refrigerador.

Técnicas de reciclagem de ciclo fechado, que têm uma abordagem próxima ao conceito de remanufatura, estão sendo desenvolvidas e utilizadas na recuperação dos plásticos e das espumas do isolamento térmico.

Estima-se que a reciclagem de plásticos torne-se mais importante devido ao fato de que a fabricação do plástico tem como fonte, o petróleo, que é uma riqueza e fonte de energia não renovável. Em 2007, o Japão estabeleceu um padrão industrial de identificação de peças plásticas recicladas para equipamentos eletroeletrônicos, para promover sistematicamente um ciclo fechado de reciclagem. (AIZAWAA et al., 2008)

A variedade de tipos de plásticos, dificuldade na seleção, preocupações com a qualidade e preços instáveis de *pellets* (peças pequenas em forma de tubos ou esferas) de plástico reciclado, dificultam a reciclagem desses materiais. Apesar destas dificuldades, alguns fabricantes têm adotado a reciclagem de plástico em ciclo fechado. Por exemplo, os produtos de polipropileno são reciclados para fazer os mesmos tipos de produtos. Dessa forma, os plásticos que revestem a parte interna dos gabinetes de refrigeradores são reciclados e transformados em outros plásticos com a mesma função, de revestir internamente os refrigeradores. (AIZAWAA et al., 2008)

Para a retirada do compressor é necessário recolher o óleo e o fluido refrigerante do circuito de refrigeração. Isso pode ser feito sem problemas, desde que, após a identificação do fluido utilizado, o mesmo seja extraído de forma adequada. O óleo e o fluido são extraídos sob vácuo, com equipamentos próprios, com punção hermética da tubulação do sistema de refrigeração, para evitar vazamentos. Depois da extração, os fluidos são separados e acondicionados adequadamente, seguindo as normas em vigor. (ABNT NBR 15833:2010)

O compressor é o componente principal no desempenho do funcionamento e operação do refrigerador, e suas características e especificações determinam além do bom funcionamento do refrigerador, o consumo de energia elétrica. Quanto mais eficiente o compressor, menor o consumo de energia. Outras questões como as borrachas de vedação e a rede de energia elétrica também estão interligadas à eficiência energética do refrigerador.

Deng et al., (2008) compararam seis cenários para destinação de refrigeradores usados e verificaram que os resultados variam de acordo com o tempo de vida dos refrigeradores. Os autores consideraram que os compressores dos refrigeradores com idade até oito anos ainda estão em boas condições de uso, sem comprometer a eficiência energética, e, portanto, podem ser reutilizados.

Segundo Kondo et al., (2001) como estratégia alternativa na recuperação de recursos utilizados nos refrigeradores, a extensão do tempo de vida útil do produto deve ser considerada, e para que tenha um bom desempenho, pode-se melhorar suas características. Um dos cenários que os autores avaliaram foi substituir o compressor de um refrigerador com dez anos de uso, por um compressor novo. Os resultados mostraram perfeito funcionamento do refrigerador, que poderá ter uma extensão de sua vida útil, eficiente energeticamente e com carga ambiental reduzida.

No entanto, na Europa, de acordo com a legislação atual, não se reutilizam os compressores. Os compressores passam por um processo de descaracterização, pela retirada dos fluidos, e seguem para a reciclagem de seus materiais. (AGUIAR e VIZENTIM, 2011) No Brasil, segundo a Norma ABNT NBR: 15833:2010, os compressores devem ser retirados dos refrigeradores e encaminhados para descaracterização, recuperação dos materiais e destinação final das demais frações que não forem recuperáveis. Segundo a Norma, somente o fabricante original do equipamento pode reutilizar compressores provenientes de aparelhos pré-consumo (novos). Aqueles provenientes de aparelhos pós-consumo (usados e seminovos) não poderão ser reutilizados. A Norma não é clara quanto às definições do que é considerado pré-consumo e o que é considerado pós-consumo (quando menciona os seminovos) e abre espaço para suposições diversas.

Quanto à remanufatura de um compressor usado, verificou-se por meio de consulta a lojas de peças de reposição no centro do Rio de Janeiro, e de entrevista com profissionais técnicos de refrigeração, com bastante experiência na área, que o processo não é tecnicamente viável. Segundo as informações desses profissionais, o problema é quanto à vedação do compressor depois de desmontado, porque normalmente é necessário o fechamento da unidade por meio de solda, e, devido a

resíduos da solda que penetram no compartimento interno do compressor, e que, ao se misturarem ao óleo lubrificante e ao fluido refrigerante, podem provocar entupimentos na tubulação e nos capilares do circuito de refrigeração, comprometendo todo o sistema. Apesar de algumas lojas ainda disporem de poucas unidades ditas “remanufaturadas”, os próprios vendedores desestimulam a compra, alegando que ocorrem muitos problemas de funcionamento, não oferecem garantia, e que as empresas que “remanufuraram” aquelas unidades à venda não existem mais, ou não realizam mais esse tipo de trabalho. Um compressor novo com garantias do fabricante custava em média duzentos reais, em julho 2012.

No site do principal fabricante de compressores no Brasil é divulgada uma campanha de coleta dos compressores avariados. Na compra de um compressor novo, ao devolver o compressor antigo para o varejista, o consumidor pode obter um desconto no valor final. Segundo o fabricante, os compressores recolhidos são reprocessados e os materiais resultantes são utilizados na fabricação de novos compressores. Nesse caso, verifica-se também a reciclagem de ciclo fechado, onde o reprocessamento dos materiais de um produto é utilizado para produzir um produto com a mesma função do original. (EMBRACO, 2012)

Com as particularidades descritas anteriormente, em relação às dificuldades encontradas, pode-se concluir que a remanufatura, no contexto atual, é uma estratégia viável para a remanufatura de refrigeradores, desde que, em alguns casos pontuais. É importante, no caso dos refrigeradores, que a tecnologia utilizada seja mais próxima daquela utilizada nos refrigeradores recém fabricados, de modo que não comprometa a eficiência energética do produto. O compressor e a espuma do isolamento térmico são os principais componentes que devem ser avaliados na remanufatura do refrigerador. Se for necessária a substituição do compressor, deverá ser avaliado se os custos envolvidos para remanufaturar o refrigerador, compensam economicamente. Os benefícios ambientais são, sem dúvida, sempre favoráveis, mas, nesse caso, é preciso avaliar-se os aspectos econômicos, para viabilizar o processo de remanufatura.



## 6.2 CASOS ESPECIAIS PARA REMANUFATURA DE REFRIGERADORES

A remanufatura tem que ser interessante para o consumidor (quer economizar e ter um produto de qualidade), para os fabricantes e empresas (precisam lucrar num mercado competitivo), e para o meio ambiente (consumo de recursos e energia de forma racional). No contexto atual, a remanufatura de refrigeradores pode ser viável, economicamente e tecnicamente, em casos pontuais, em que não fique comprometida a questão da eficiência energética do produto. Podem-se considerar os seguintes casos, para os refrigeradores, como casos possíveis de remanufatura:

- Produtos que estão na garantia e apresentam problemas que a assistência técnica não resolve;
- Produtos que sofreram algum dano ou avaria no transporte ou no armazenamento;
- Produtos que foram utilizados como serviços (a função do produto foi comercializada, e não o produto físico)

O que caracteriza os casos apresentados (produtos com pouco ou nenhum uso), é a garantia de que a tecnologia utilizada é praticamente a mesma tecnologia que está embarcada nos produtos recém fabricados. Esse fator é importante para que o processo seja tecnicamente viável. Qualquer peça ou componente que necessite ser substituído não terá problemas e poderá ser prontamente atendido, pois, terá suporte técnico. Poderão ser utilizados componentes ou peças novos e/ou remanufaturados.

Observou-se na pesquisa deste trabalho, que há, ainda nesse setor, uma forte tendência em vender serviços ao invés de vender produtos físicos. Tudo indica que, adotando essas práticas o fabricante tem maior controle de seus produtos. O que torna possível conhecer mais detalhadamente e melhorar, seus processos, projetos de produtos, além de obter uma imagem melhor da empresa, prestando bons serviços com bons produtos. Para o consumidor, aparentemente, também é uma prática interessante. Quando há algum tipo de problema, o produto é substituído prontamente, e o consumidor não tem a preocupação e os problemas que normalmente ocorrem quando necessitam de assistência técnica.

Esses serviços são prestados por meio de contratos de aluguel ou *leasing*, e normalmente são contratos de dois anos em média. Esses serviços atendem àquelas situações em que, por exemplo, o consumidor/cliente precisa passar um período em determinado lugar, ou, que não tenha interesse em comprar os produtos. Nesses casos, por exemplo, na cozinha, o refrigerador e todos os outros equipamentos são fornecidos pelo mesmo fabricante. Quando algum problema ocorre com algum dos equipamentos, este é substituído por um novo. Como, normalmente são produtos com pouco tempo de uso, eles são passíveis de remanufatura, tornando mais fácil, para o fabricante, o controle dos produtos e a eficiência do processo. Esse controle permite, por exemplo, manter constantemente os produtos atualizados tecnologicamente.

Para os casos indicados acima, os próprios fabricantes dos produtos, ou empresas credenciadas e autorizadas por estes, realizam o processo de remanufatura. Quando o próprio fabricante realiza a remanufatura, a tendência é que se obtenham ganhos em diferentes aspectos, pois o fabricante tem o conhecimento detalhado de todas as fases de projeto do produto, e com o retorno do produto (usado) às instalações da fábrica, torna-se possível identificar quais componentes ou partes do processo apresentam problemas, e a partir desse conhecimento melhorar o desempenho desse produto ou processo.

Ao final do processo, os refrigeradores deverão ser identificados como remanufaturados, para que fique claro para o consumidor, que aquele produto é remanufaturado pelo fabricante, atende às suas especificações, com garantias e *status* de novo. O preço desse produto deve ser menor do que o preço do produto equivalente novo.

### **6.2.1 CASO DE REMANUFATURA DE REFRIGERADORES NA SUÉCIA**

Sundin (2004) relata o caso de remanufatura de refrigeradores que é realizada numa indústria de eletrodomésticos de grande porte na Suécia. A empresa começou a remanufaturar seus produtos em 1998. Inicialmente, o fator ambiental foi o principal motivador, embora o retorno econômico (empresa, varejistas e consumidores) também fosse importante. No início, os lucros com essa atividade eram incertos, e foi decidido colocar o processo de remanufatura em um galpão

raramente usado, próximo da fábrica principal. Os equipamentos utilizados no processo consistiam de máquinas que não estavam sendo utilizadas na planta de produção convencional. Desde o início do processo de remanufatura a empresa obteve lucros, e ainda melhorou seu perfil ambiental. Essa empresa tem outra planta de remanufatura de eletrodomésticos na Inglaterra.

Na Suécia, em 2004, a empresa recebeu cerca de 7.500 eletrodomésticos para remanufaturar. Dos 7.500 produtos recebidos, 35% eram refrigeradores, 30% máquinas de lavar roupas, 20% fogões e 15% fornos de microondas. Desse total, aproximadamente 5.500 eletrodomésticos foram remanufaturados. O restante foi enviado para reciclagem (para aproveitamento dos materiais) ou para aterros (quando não havia qualquer possibilidade de recuperação).

A maioria dos produtos que chegam às plantas de remanufatura são produtos praticamente novos, com falhas cobertas pela garantia, e que não foram resolvidas pelo setor de assistência técnica. Entretanto, outros casos, como: produtos danificados no transporte e produtos usados em contratos de *leasing* também sejam remanufaturados na empresa. Segundo Sundin, na época da pesquisa, a empresa previa, para o futuro, uma extensão da remanufatura de produtos que foram usados por períodos mais longos. Quando os produtos chegam às instalações da fábrica, são registrados numa base de dados, e a seguir passam por um conjunto de procedimentos, ou etapas do processo de remanufatura, apresentados no Quadro 5.

**Quadro 5 Etapas do processo de remanufatura na Suécia.**

1. Teste e controle de segurança.
2. Troca de componentes e reparos.
3. Limpeza (limpeza profissional terceirizada).
4. Testes de desempenho.
5. Identificação com novo número de série (identificando produto remanufaturado).
6. Embalagem do produto.

Nesse processo há poucos passos automáticos. São utilizadas máquinas para o teste de refrigeradores, e computadores (banco de dados). Quando os volumes de serviços são maiores, o processo de limpeza pode ser automatizado, para agilizar e facilitar o processo. A empresa contrata uma empresa de logística, que transporta os “núcleos”/produtos que entram e saem da empresa. As vendas dos produtos remanufaturados são realizadas para os mesmos varejistas que distribuem os produtos recém fabricados na empresa. A diferença é que os produtos remanufaturados normalmente são encomendados à empresa, e à medida que são disponibilizados, seguem os canais normais de comercialização. Os produtos são identificados como remanufaturados com a utilização de etiquetas com as informações pertinentes.

Sundin destaca a importância da troca de informações entre as plantas de produção e de remanufatura. O contato e troca de experiências entre engenheiros e o quadro técnico possibilita o desenvolvimento de produtos melhores, por meio do conhecimento de componentes que apresentem falhas freqüentes, ou processos de fabricação que precisem ser aperfeiçoados. A fábrica tem parcerias também com estudantes e pesquisadores da universidade local, isso permite grandes cooperações com as pesquisas realizadas. Por exemplo, com uma das pesquisas sobre as atividades da planta de remanufatura, foi possível melhorar o processo de limpeza dos produtos e reduzir os custos. Essas parcerias geram também melhorias no projeto dos produtos, de maneira que facilite os processos de remanufatura ou de reciclagem ao fim de vida.

Alguns problemas ou pontos fracos foram verificados no processo de remanufatura: não havia registros das peças de reposição encontradas no estoque e a etapa da limpeza era demorada e dispendiosa (isso melhorou com a parceria da universidade). O fluxo de entrada de “núcleos” é constante (na Suécia, devido às pressões da legislação dos REEE, os fabricantes são responsáveis por seus produtos durante todo seu ciclo de vida, incluindo a fase em que são descartados, isso mantém o fluxo de “núcleos” para as empresas de remanufatura e de reciclagem). Os custos do processo estavam concentrados principalmente no setor de armazenamento e no de administração. São necessárias áreas de armazenamento para os produtos que chegam à planta de remanufatura, para

àqueles prontos para comercialização e para o material de reposição. Dependendo do espaço necessário, do local e dos preços de aluguéis, por exemplo, pode inviabilizar o processo. Os custos de administração são devidos aos salários do pessoal. Os custos com o processo de limpeza e com peças de reposição também são considerados na avaliação do processo de remanufatura da empresa.

No aspecto geral, a atividade de remanufatura trouxe boas oportunidades para a empresa, porque contribuiu para melhorar sua imagem ambiental, e gerou lucros financeiros. Além disso, muitos equipamentos avariados, sem condições de reparo fora da fábrica, foram recuperados e vendidos aos varejistas com status de produtos novos, a preços menores. Ao final da pesquisa, Sundin relatou o comentário feito por um dos principais gerentes da empresa estudada, que afirmou, ao dizer que a remanufatura, como opção de tratamento de fim de vida para os equipamentos, é uma das melhores possíveis para as empresas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento da pesquisa, constata-se que a remanufatura mostra-se claramente, como estratégia importante na recuperação de produtos usados e descartados, e está fundamentada nos conceitos de sustentabilidade.

À medida que o esgotamento dos recursos naturais se torne cada vez mais crítico, abordagens de modos diferentes de produção tenderão a ser adotadas, e mudanças significativas deverão ocorrer no âmbito das indústrias, dos consumidores, e nas políticas públicas. Essas mudanças ocorrerão alterando-se padrões produtivos, hábitos de consumo (e desperdício), além de leis e políticas que obriguem indústrias e cidadãos a preservar o meio ambiente. O objetivo que se fará premente será a preservação dos recursos naturais, a qualidade de vida da população e do planeta.

Com o agravamento da escassez dos recursos, os preços dos insumos e das matérias-primas tenderão a aumentar significativamente. À medida que os preços se tornarem impactantes no processo de fabricação dos produtos, as indústrias, naturalmente, serão obrigadas a alterar seus padrões de produção. A estratégia de remanufatura, a extensão da vida útil dos produtos a partir do projeto de concepção, visando maior durabilidade do produto, serão provavelmente abordadas de maneira bastante ampla nas atividades industriais.

A sustentabilidade requer mudanças significativas no sistema de produção industrial. É preciso "fazer mais com menos". A partir desta perspectiva, verifica-se que o tratamento e a mitigação dos impactos ambientais dos processos de produção não são suficientes para alcançar a sustentabilidade. As indústrias têm que avançar em busca de estratégias de recuperação dos produtos, incluindo a reutilização, a remanufatura e a reciclagem. Atualmente, a reciclagem de produtos usados e seus materiais tornou-se a estratégia mais comumente utilizada. A estratégia que se mostra mais viável ambientalmente, em termos de preservação de recursos naturais e de energia é aquela que enfatiza o reaproveitamento de peças usadas ou dos produtos inteiros (usados).

No Brasil, com a implantação da Lei dos Resíduos Sólidos (PNRS), a partir de 2013, vislumbra-se uma mudança, se, de fato for colocada em prática com seriedade, empenho e comprometimento dos gestores e de toda a cadeia envolvida, inclusive dos consumidores. Apesar de ainda ter um tempo para adaptação das partes envolvidas, que normalmente será de cerca de quatro anos (o período que a Europa levou para adaptação às diretivas), poderá abrir boas oportunidades de negócios, e dar uma solução inteligente para os resíduos gerais, e em particular dos REEE. A sociedade esperou mais de vinte anos pela regulamentação dessa lei, e agora precisa cobrar e colaborar para que a gestão dos resíduos seja eficaz e eficiente. Serão necessárias campanhas intensivas para informar e educar a população na mudança de hábitos. A sociedade deve ser conscientizada dos benefícios e oportunidades que poderão ser obtidos por meio dessas mudanças. Na Europa, quando foram implementadas as diretivas, houve uma massificação de campanhas de conscientização da população sobre a importância da coleta seletiva e da revalorização dos materiais por meio de tratamentos adequados dos resíduos.

A PNRS pode ser uma boa oportunidade para o desenvolvimento da remanufatura no Brasil, porque as inovações dessa lei exigirão alterações na conduta dos fabricantes quanto ao retorno de produtos, pois os responsabiliza pelo recolhimento destes produtos, com a logística reversa, incentivando o reuso e a reciclagem. As obrigações com a responsabilidade ambiental levam ao fechamento dos ciclos dos materiais, e fazem com que essas empresas/fabricantes tomem decisões que considerem as questões ambientais, econômicas e sociais, em relação ao retorno dos seus produtos. As empresas necessitam de conhecimentos e experiências de remanufatura, uma vez que a extensão da vida útil dos produtos usados também evita os altos custos de utilização dos aterros. A reintegração dos resíduos na cadeia produtiva permite aos fabricantes a isenção de sanções decorrentes do descarte inadequado de seus produtos e também a maximização de seus lucros.

A extensão do tempo de vida útil de um produto evita impactos ambientais associados à produção de um produto novo (utilizando somente matérias-primas). De outro modo, substituir um produto mais antigo e ineficiente por outro mais

eficiente pode reduzir o consumo de energia e as emissões durante a fase de uso do produto.

Nessa dissertação, quatro hipóteses foram levantadas para abordar o objetivo principal da pesquisa, que é avaliar a contribuição da estratégia de remanufatura dos refrigeradores para o desenvolvimento sustentável. Trata-se da possibilidade de uma estratégia abrangente e sistemática para a indústria de refrigeradores.

Quanto à 1ª hipótese, - Os refrigeradores têm características adequadas para a remanufatura – pode-se dizer que, o refrigerador, a princípio, atende a vários critérios para remanufatura: é um bem durável, com expressiva produção industrial, com tecnologia estável (não se vislumbra grandes alterações na funcionalidade do produto), e, não se vislumbra sua substituição. No entanto, da maneira como são fabricados atualmente, os refrigeradores possuem características e particularidades, como às do compressor e da espuma do isolamento térmico, que dificultariam sua remanufatura em larga escala. Essas particularidades comprometeriam a eficiência energética do produto, e isso colocaria a perder a busca da sustentabilidade e a economia de energia.

O desenvolvimento de técnicas ou materiais que possam permitir maior durabilidade e eficiência da espuma do isolamento térmico e do compressor, e também o desenvolvimento de projetos que facilitem a adoção da estratégia de remanufatura ao final de vida útil, podem favorecer a adoção da prática na indústria.

Problemas relacionados com a perda de eficiência energética da espuma do isolamento térmico e do compressor, com o decorrer do tempo de vida útil do refrigerador precisam ser solucionados para que atenda a todos os critérios para ser remanufurado em larga escala.

No que diz respeito à 2ª hipótese, - A remanufatura de refrigeradores é uma estratégia favorável na busca de padrões de desenvolvimento sustentáveis – pode-se afirmar que, a remanufatura está bem fundamentada nos conceitos de sustentabilidade. A economia de materiais e energia (gastos nos processos de fabricação dos produtos) que são recuperados quando são remanufurados, disponibilidade de produtos de qualidade a preços mais acessíveis, geração de



postos de trabalho (as atividades são intensivas em mão-de-obra) e redução de resíduos e recuperação do valor agregado a esses resíduos, confirmam essa hipótese. Em particular, no caso dos refrigeradores, observando-se os resultados da ACV, podem-se verificar as grandezas dos impactos ambientais que podem ser evitados, remanufaturando esses produtos.

Quanto à 3ª hipótese, - A remanufatura de refrigeradores é tecnicamente viável – pode-se dizer que, devido às particularidades de fabricação, e ao comprometimento com a eficiência energética do produto, não é viável, no momento atual, a atividade de remanufatura de refrigeradores em larga escala industrial. Somente em alguns casos pontuais (onde a eficiência energética não está comprometida), em refrigeradores com até dois anos de uso, verifica-se a possibilidade da estratégia da remanufatura. Esses casos são realizados na indústria, num setor à parte da produção principal, para refrigeradores que apresentaram defeito não solucionado com os serviços da assistência técnica do fabricante, para aqueles que apresentaram danos no transporte ou no armazenamento, e para aqueles que foram utilizados como serviços.

Finalmente, no que tange à 4ª hipótese - A remanufatura de refrigeradores é economicamente viável – pode-se afirmar que devido às condições citadas anteriormente, ainda não se pode avaliar com dados precisos a viabilidade econômica. Alguns fatores indicam que a remanufatura pode ser viável economicamente. O fato de a matéria-prima ser fornecida por produtos usados poderia reduzir significativamente os custos com materiais e energia, que são despendidos no processo de fabricação a partir de matérias-primas virgens. Os custos principais estariam relacionados com a logística reversa, espaços para armazenamento, peças de reposição e, salários do pessoal. Seria necessário manter contratos de longo prazo com fornecedores, para manter a operação do processo de remanufatura, com suprimentos garantidos.

Acredita-se que, as indústrias têm uma visão de que, se uma parcela significativa de sua produção for destinada a produtos remanufaturados, não poderiam competir no mercado, por inovação com novos produtos. Para a indústria, esse fato prejudicaria o desempenho financeiro da empresa. Mas, se uma parcela

da produção for destinada à produção de remanufaturados de um determinado modelo, projetado para esse fim, como por exemplo, o modelo que seja mais comercializado pela empresa, e que atenda a uma parcela grande de consumidores. Isso poderia garantir o mercado e trazer lucro para a empresa. E, nada impediria que continuasse lançando produtos novos na competição por inovação no mercado.

No modelo atual, a remanufatura de refrigeradores não é viável em larga escala, como uma atividade industrial sistemática, constante, com porcentagem significativa da produção de refrigeradores remanufaturados. São encontradas dificuldades iniciais como: a oferta regular de refrigeradores usados (“núcleos”) como matéria-prima para o processo de remanufatura, a dificuldade de desmontagem, a visão da empresa da impossibilidade de competição por inovação de produtos no mercado, e a cultura do consumidor, que vê o produto remanufaturado com preconceito.

De maneira geral, com as particularidades descritas anteriormente em relação às dificuldades encontradas, pode-se concluir que, no contexto atual, a remanufatura é uma estratégia viável para o caso dos refrigeradores, desde que, em alguns casos pontuais. E, na possibilidade da aplicação da estratégia de remanufatura em larga escala na indústria, alguns exemplos de propostas de mudanças na legislação, poderiam ser um primeiro passo.

Os casos pontuais se referem aos produtos que estão dentro do prazo de garantia do fabricante (apresentam problemas que a assistência técnica não pode resolver), aos produtos que sofreram algum dano ou avaria no transporte ou no armazenamento, e aos produtos que foram utilizados como serviços (a função do produto foi comercializada, e não o produto físico). Normalmente, são refrigeradores com até dois anos de funcionamento. Um ponto comum é que a tecnologia utilizada é muito próxima daquela utilizada nos refrigeradores recém fabricados, isso garante peças de reposição com maior facilidade e rapidez.

Esses casos são aqueles produtos remanufaturados na empresa sueca de eletrodomésticos, relatados anteriormente. O lote de remanufaturados é pequeno, e não se compara ao lote da produção industrial tradicional, mas consegue-se

recuperar produtos/materiais e prolongar sua vida útil, evitando todos os problemas já mencionados anteriormente.

Um dos problemas enfrentados é a grande diversidade de modelos diferentes, e a falta de padronização, o que dificulta o processo de remanufatura. A solução para esse problema é padronizar alguns modelos de refrigeradores, por exemplo, para que se possam intercambiar suas peças, quando passarem pelo processo de remanufatura. Vários autores são unânimes em afirmar que a grande maioria dos produtos apresenta baixa remanufaturabilidade porque não foram projetados com essa finalidade.

Talvez estudos mais aprofundados sejam necessários para avaliar casos mais gerais de remanufatura de refrigeradores. Nesse sentido, a dificuldade maior é a falta de dados importantes da produção e da fabricação de refrigeradores, além de estudos de avaliação do ciclo de vida desses produtos.

Uma maneira de tornar a remanufatura uma estratégia utilizada pelos fabricantes, de maneira sistemática, com uma parcela significativa de produção, pode ser viabilizada com propostas de alterações na legislação, de maneira que a remanufatura seja incentivada, ou que seja mandatória em alguns casos. Podem-se citar alguns exemplos de propostas de mudanças na legislação que favoreçam as atividades de remanufatura na indústria:

Proposta 1: Uma das propostas é a criação de um modelo padrão de refrigerador que seja projetado com base nos conceitos de Projeto para Remanufatura (*DfReman*). Nessas bases de projeto, quando o produto usado for descartado, terá condições favoráveis à remanufatura, como a facilidade de desmontagem e da substituição das partes, peças ou componentes avariados, por exemplo.

Nessa proposta, durante um período determinado, certo percentual da produção da fábrica, deve ser obrigatoriamente, destinado à fabricação de um modelo padronizado (por exemplo, o modelo que tenha venda mais expressiva), para que o processo de remanufatura seja viável, quando o produto chegar ao fim de vida útil. Um diferencial para esses modelos é que poderiam ser fabricados em

diversas cores, por exemplo, desde que, mantenham a forma geométrica do produto padronizada. A empresa teria um mercado e lucro garantidos. Isso não impediria que a empresa continuasse a competir no mercado com a inovação de novos produtos.

Proposta 2: Proposta da inclusão de refrigeradores remanufaturados nas estratégias de compras do governo (escolas, hospitais, creches, delegacias, etc.). O programa de substituição de refrigeradores obsoletos, por exemplo, também poderia ser incluído. Como o preço dos refrigeradores remanufaturados é inferior àqueles recém-fabricados, essa prática reduziria também os gastos com dinheiro público (que vêm dos impostos e taxas que pagamos).

Proposta 3: Proposta de uma lei que estimule ou incentive de alguma forma, com isenção ou redução de impostos, para aqueles fabricantes que incluírem o processo de remanufatura na rotina de suas práticas industriais.

Algumas outras considerações sobre observações ao longo do desenvolvimento da pesquisa merecem ser destacadas:

No Brasil, os grandes fabricantes de refrigeradores (que dominam o mercado), estão concentrados na região Sul. Isso poderá ocasionar custos altos com a logística reversa. O modal utilizado normalmente é o rodoviário, com transporte por caminhões ou carretas. Esse fator poderá inviabilizar a remanufatura dos “núcleos” que estiverem a longas distâncias das fábricas, e, nesses casos, a remanufatura perderá para a reciclagem, que provavelmente será o destino mais certo para esses materiais. Para contornar o problema, seria necessário a distribuição de plantas de remanufatura em diversas localidades, atendendo às necessidades da demanda.

Na pesquisa do tratamento destinado aos REEE e aos resíduos dos refrigeradores, em outros países que possuem algum tipo de legislação ou organização, verificou-se algumas diferenças e particularidades entre eles. Suíça, Japão e alguns estados americanos cobram taxas de reciclagem aos consumidores. Cada país tem uma meta diferente para coleta e tratamento. O Japão possui 380 pontos de coleta e 48 plantas de reciclagem, a Coreia do Sul tem três grandes

centros de reciclagem. A Suíça possui 12 mil pontos de coleta e 35 plantas de reciclagem de refrigeradores. A China ainda está bastante desorganizada, mas, vem se adaptando à legislação desde 2001. No Brasil, aguarda-se a implantação da Lei dos Resíduos Sólidos, a partir de 2013.

Técnicas de reciclagem de ciclo fechado, que têm uma abordagem próxima ao conceito de remanufatura, estão sendo desenvolvidas e utilizadas na recuperação de materiais, obtendo maior pureza dos materiais ao final do reprocessamento. A reciclagem de ciclo fechado processa um lote de materiais de um determinado produto, para servirem como matéria-prima na fabricação de novos produtos com aquela mesma funcionalidade. A reciclagem dos plásticos dos refrigeradores, por exemplo, servirão de matéria-prima para a fabricação dos plásticos de novos refrigeradores. Os materiais dos compressores também são reciclados em ciclo fechado.

A venda de serviços também se destaca. Vender a função do produto e não o produto físico. Pode ser uma tendência para o futuro, porque se observa vários estudos nessa área (em outros países). Como nesses casos são feitos contratos de curto prazo, os produtos podem ser remanufaturados e atualizados tecnologicamente, com maior frequência e controle dos fabricantes. Para o consumidor, a compra de serviços é muito prática (resta saber se tem preço acessível), porque qualquer problema ou insatisfação com o produto pode ser rapidamente resolvido com sua substituição. No Brasil temos a venda desses serviços nos decodificadores de TV a cabo, nos *modems* de internet, nos filtros para água, etc.

O Projeto para o Meio Ambiente, nas suas derivações, como o Projeto para Remanufatura, deve ser obrigatório na concepção dos produtos, de maneira geral. As diretivas européias incentivam essas práticas para os fabricantes europeus. O objetivo é reutilizar, reduzir e reciclar (nas várias possibilidades) os produtos e seus materiais, para evitar a extração de recursos naturais, e preservar a qualidade de vida e dar condições dignas e iguais a todos, na busca da sustentabilidade.

Deve-se considerar também a estratégia de condicionamento (para todos os produtos eletroeletrônicos), quando adequada, de maneira que se prolongue a

vida útil do produto ao máximo, mantendo sua operacionalidade e especificações. De maneira geral, devido às particularidades dos refrigeradores, a estratégia de recondicionamento não deve ser descartada, quando se fizer adequada. O recondicionamento faz com que o produto volte a funcionar atendendo às suas especificações originais, apesar de não ter a garantia e nem o *status* de novo, como na remanufatura. Considerando-se que o recondicionamento seja realizado por empresas autorizadas pelos fabricantes dos equipamentos, isso pode atender completamente às necessidades e expectativas dos consumidores.

No Brasil, esse aspecto precisa ser melhorado, e ter mais atenção dos fabricantes quanto aos serviços prestados pelas autorizadas ou assistências técnicas. Normalmente, os preços cobrados pelas peças ou componentes de reposição, para o recondicionamento do equipamento são muito altos, às vezes, correspondendo a praticamente o preço de um equipamento novo. Esse fato faz com que o consumidor descarte o produto, e vá à busca da compra de um novo.

Atendendo às questões que se apresentam atualmente, no panorama da sustentabilidade, uma maior atenção por parte dos fabricantes deveria ser dedicada. Buscar a melhoria nos serviços prestados pelas empresas, por eles autorizadas, traria benefícios para os consumidores, para os próprios fabricantes e para o meio ambiente. Com a implementação da lei dos resíduos sólidos, em particular dos REEE, os fabricantes serão responsáveis por todo o ciclo de vida do produto, até seu descarte. Dessa forma, a prestação de serviços de qualidade, com pessoal capacitado e treinado, e preços justos, estendendo a vida útil dos produtos, pode ser uma estratégia bastante interessante em vários aspectos, melhorando, também, a imagem da empresa.

No Brasil, ainda há um grande número de refrigeradores obsoletos em uso (estimava-se 11 milhões em 2008), o programa de substituição do governo vem fazendo a troca desses refrigeradores. Não foi possível avaliar (por falta de dados) se o programa realmente vem atingindo suas metas. Esses refrigeradores ainda utilizam CFCs, e, portanto, devem ter tratamento adequado quando descartados. A reciclagem desses materiais é a melhor estratégia nesses casos.

Desenvolvimentos e trabalhos futuros: As principais linhas reveladas por este trabalho, quanto aos possíveis desenvolvimentos e trabalhos futuros são:

-Estudos mais detalhados sobre a avaliação do ciclo de vida dos refrigeradores produzidos no Brasil. Não há estudos disponibilizados para o Brasil. Os dados utilizados nos estudos da avaliação dos impactos ambientais são aqueles disponíveis para outros países. Há diferenças importantes como fontes de matrizes energéticas, dentre outras, que modificam os resultados da avaliação.

-Desenvolvimento do projeto para remanufatura de refrigeradores. Observando principalmente as questões da espuma do isolamento térmico e do compressor, proporcionando maior durabilidade da que existe atualmente, além da facilidade de desmontagem do produto.

-Desenvolvimento de estudos mais abrangentes da questão produto/serviço. Observou-se que há uma forte tendência em vender serviços ao invés de vender produtos físicos. Adotando essas práticas o fabricante poderá ter maior controle da qualidade e do desempenho de seus produtos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, R. **Repensar a economia. O desafio do século XXI.** Entrevista ao Instituto Humanitas Unisinos da Universidade Vale do rio dos Sinos. São Leopoldo, RS. 2012. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/508460-repensar-a-economia-entrevista-especial-com-ricardo-abramovay>. Acesso em setembro 2012.

AGENDA 21. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21.** Disponível em <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em setembro 2012.

AGUIAR, A. O. e VIZENTIM, F. A. **Manufatura reversa de refrigeradores.** Revista de Gestão Social e Ambiental. Vol. 5, n.2, p.139-153. 2011.

AHAM – *Association of Home Appliance Manufacturers*. Disponível em <http://www.aham.org>. Acesso em junho 2012.

AIZAWA, H., YOSHIDA, H. and SAKAI, S. **Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances.** Resources, Conservation and Recycling 52, p.1399–1410. 2008.

ANITYASARI, M. and KAEBERNICK, H. **A concept of reliability evaluation for reuse and remanufacturing.** International Journal of Sustainable Manufacturing, Vol. 1, Nos. 1-2, 2008.

ARIC - *Appliance Recycling Information Center. AHAM Technical Services.* Disponível em [http://www.aham.org/industry/ht/d/items/cat\\_id/1378/pid/1228/cids/425,437,1378](http://www.aham.org/industry/ht/d/items/cat_id/1378/pid/1228/cids/425,437,1378). Acesso em julho 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15833:2010. **Manufatura Reversa – Aparelhos de refrigeração.** Rio de Janeiro, 2010.

BERNARD, S. **Remanufacturing.** Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbonne. Université Paris. France, 2011.

BERNARD, S. **Remanufacturing.** Journal of Environmental Economics and Management, 62, p. 337–351. 2011.

BRINGHENTI, I. **Modelo Vibroacústico do gabinete de um refrigerador.** 2012. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Santa Catarina. 2012.

CARDOSO, R. B. **Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo PROCEL em Freezers e Refrigeradores. 2008.** Dissertação de mestrado. Engenharia da Energia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Minas Gerais. 2008.

CETESB. **Inventário de Emissão dos gases de efeito estufa: CFCs, HCFCs, HFCs, PFCs e SF6 no Setor de refrigeração e ar condicionado no estado de São Paulo.** Versão para consulta pública. Janeiro 2011.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro. Qualitymark Ed., CNI, 1997. 1ª reimpressão 2002.



CHERTOW, M.R. **INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and Taxonomy**. Annual Reviews Energy and Environment, 25, p.313–37. 2000.

COSTA, M. M. **Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço**. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2002.

DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010. Presidência da República. Casa Civil. **Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm).

DENG, J., WEN, X. and ZHAO, Y. **Evaluating the treatment of E-waste – a case study of discarded refrigerators**. Journal of China University of Mining & Technology, Vol.18, p.0454-0458, 2008.

DIRETIVA 2002/96/CE. PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 27 de Janeiro de 2003. Jornal Oficial da União Européia. 2003.

DuPONT - **DuPont Fluidos Refrigerantes Brasil**. Disponível em [http://www2.dupont.com/Refrigerants/pt\\_BR/index.html](http://www2.dupont.com/Refrigerants/pt_BR/index.html). Acesso em junho 2012.

ELETROBRAS; PROCEL. **Relatório de resultados do Procel 2012 - ano base 2011**. Rio de Janeiro, 2012.

ELETROS – **Associação Nacional de Fabricantes de produtos eletroeletrônicos**. Disponível em <http://www.eletros.org.br>. Acesso em março 2012.

EMBRACO. **Como nasce um compressor de alta qualidade**. Revista Bola Preta, nº95. Junho 2008. Publicação trimestral da EMBRACO dirigida a profissionais da refrigeração.

ENVICO – **Korea Environment & Resources Corporation**. Disponível em <http://www.envico.or.kr> Acesso em agosto 2012.

ERKMAN, S. **Industrial ecology: an historical view**. Journal of Cleaner Production. Vol. 5, Nº 1-2, p. 1-10,1997.

ERKMAN, S. **Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system**. Institute for Communication and Analysis of Science and Technology (ICAST), Geneva. 2001.

ESTADO DO MUNDO 2012. **Relatório do Worldwatch Institute sobre os Avanços Rumo a uma Sociedade Sustentável**. Edição em português. Disponível em [http://www.worldwatch.org.br/estado\\_2012.pdf](http://www.worldwatch.org.br/estado_2012.pdf). Acesso em junho 2012.

FELTRE, R. **Fundamentos da Química**. Editora Moderna Ltda. 2ª ed. rev. São Paulo. SP. 1998.

FONSECA, GIANNETTI, E. Artigo: **Economicamente incorreto**. Publicado na revista Guia Exame de Sustentabilidade 2011.

FONSECA, GIANNETTI, E. **Jornal Valor Econômico**. Entrevista publicada em 20/01/2012. São Paulo. SP. 2012.

FROSCHE, R. and GALLOPOULOS, N. **Strategies for Manufacturing**. *Scientific American*, 261, p.144-152. 1989.

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

GEHIN, A., ZWOLINSKI, P., BRISSAUD, D. **Integrated design of product lifecycles – The fridge case study**. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1, p. 214-220, 2009.

GIANNETTI, B. e ALMEIDA, C. **Ecologia Industrial. Conceitos, Ferramentas e Aplicações**. Edgar Blucher. São Paulo. 1. ed. 2006.

GIUNTINI, R., GAUDETTE, K. **Remanufacturing: The next great opportunity for boosting US productivity**. *Business Horizons*. 2003.

Government of Canada. Action Plan 2000 on climate change enhanced recycling program. **Generation and diversion of white goods from residential sources in Canada**. Canadian Appliance Manufacturers Association (C.A.M.A.). 2005.

GRAEDEL, T.E. and ALLENBY, B.R. **Design for Environment**. Prentice Hall. AT&T. 1996.

GRAEDEL, T.E. and ALLENBY, B.R. **Industrial Ecology**. Prentice Hall. AT&T. 1995.

GRAY, C., and CHARTER, M. **Remanufacturing and product design**. The Centre for sustainable design. University College for the Creative Arts. Farnham, UK. 2007

HATCHER, G.D., IJOMAH, W.I., and WINDMILL, J.F.C. **Design for remanufacture: a literature review and future research needs**. *Journal of Cleaner Production* 19, p.2004-2014. 2011.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD. 2011**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2011/default.shtm>. Acesso em julho 2012.

IBGE. **Produção e vendas dos 100 maiores produtos e/ou serviços industriais**, segundo a posição nacional em valor das vendas, com indicação da descrição dos produtos e as principais Unidades da Federação. *Pesquisa Industrial Anual - PIA*, v.29 n.2, Produto, Tabela2. 2010. Disponível em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Industrias\\_Extrativas\\_e\\_de\\_Transformacao/Pesquisa\\_Industrial\\_Anuar/Produto2010/Tabela2.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Industrias_Extrativas_e_de_Transformacao/Pesquisa_Industrial_Anuar/Produto2010/Tabela2.pdf). Acesso em julho 2012.

IBGE. **Produção Industrial Anual – PIA. 2010**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2010/defaultproduto.shtm>. Acesso em julho 2012.

IJOMAH, W. L., MCMAHON, C. M., HAMMOND, G. P. and NEWMAN, S. T. **Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing**. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, p.712–719. 2007.

INDUSTRIA FOX. Disponível em <http://www.industriafox.com.br/>. Acesso em setembro 2012.

INMETRO. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/refrigeradores.pdf>. Acesso em setembro 2012.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION. **Global warming: refrigeration-sector challenges**. Eleventh session of the Conference of the Parties (COP11). 2005.

INVENTTA. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Versão completa para revisão e diagramação. Setembro 2012.

**IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Climate Change 2007: Synthesis Report**. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf). Acesso julho 2012.

JANNUZZI, G. M. **Análise de custo-benefício de programa de substituição de refrigeradores domésticos para domicílios de baixa renda no Brasil**. Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional. 2007.

JUNIOR, M. F., GIANNETTI, B. F. e ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: Projeto para Meio Ambiente**. Revista de Graduação da Engenharia Química ANO VI, No. 12, Jul-Dez 2003.

KATZ, S., LINDNER, A. S. **A life-cycle comparison of several auxiliary blowing agents used for manufacture of rigid polyurethane foam**. Journal of the Air & Waste Management Association. 53, p.469-477. 2003.

KHETRIWAL, D. S., KRAEUCHI, P. and WIDMER, R. **Producer responsibility for e-waste management: Key issues for consideration e Learning from the Swiss experience**. Journal of Environmental Management, 90, p.153-165. 2009.

KONDO, Y., HIRAI, K., KAWAMOTO, R. and OBATA, F. **A discussion on the resource circulation strategy of the refrigerator**. Resources, Conservation and Recycling 33 p. 153–165, 2001.

KORCHI, A. and MILLET, D. **Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework**. Journal of Cleaner Production, 19, p. 588 – 597. 2011.

LEE, J.C., SONG, H.T. and YOO, J.M. **Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea**. Resources, Conservation and Recycling 50 p. 380–397. 2007.

LEI Nº 12.305, DE 02 DE AGOSTO DE 2010. Presidência da República. Casa Civil. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm).

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2009.

LEMONS, H. M. e BARROS, R. L. **Ciclo de vida dos Produtos: Certificação e Rotulagem**. Rio de Janeiro. Comitê Brasileiro das Nações Unidas para o Meio ambiente. 2006.

LINDAHL, M., SUNDIN, E. and ÖSTLIN, J. **Environmental Issues within the Remanufacturing Industry**. Department of Mechanical Engineering, Linköping University, Sweden. PROCEEDINGS OF LCE2006. 2006.

LOPES, E. e BECKER, D. **Influência do uso do polioli reciclado obtido pela glicólise na preparação da espuma rígida de poliuretano**. *Polímeros*, Vol.22, n.2, p.200-205, 2012.

LUND, R. and HAUSER, W. **Remanufacturing – An American perspective**. ICRM 2010 – Green Manufacturing, Ningbo. China. 2010.

LUND, R. **Remanufacturing**. *Technology Review*, 87. 1984

LUND, R. **The database of remanufacturers**. Boston University. 2012.

MÄHL, M., ÖSTLIN, J. **Lean Remanufacturing: Material Flows at Volvo Parts Flen**. Department of Business Studies, Uppsala University, Uppsala, 2007.

MANZINI, E. e VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Tradução Astrid de Carvalho. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MDIC. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**. Disponível em <http://www.desenvolvimento.gov.br/>. Acesso em outubro 2012.

MELO, C. A. e JANNUZZI, G. M. **O Estoque de Refrigeradores no Brasil: Diferenças e Semelhanças Regionais por Faixa de Renda**. *Revista Espaço Energia*, nº 8, p. 20-27. 2008.

MELO, C. **Uso de refrigerantes alternativos em refrigeração doméstica em equipamentos compactos de refrigeração comercial**. Seminários “Difusão do Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e ar-condicionado. Realizados em Recife (Pe) e Manaus (AM) em 2010. Brasília: MMA, 2011.

MELO, C. e HERMES, C. **CO<sub>2</sub> (R-744) em equipamentos de refrigeração comercial**. Artigos técnicos. Seminário “Uso de Refrigerantes Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar- condicionado”, realizado em São Paulo, no período de 21 e 22 de novembro de 2007. Publicação Técnica. 2008. Ministério do Meio Ambiente – MMA.

MMA – **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em setembro 2011.

MME - Ministério de Minas e Energia. Eficiência energética. In: **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

NNOROM, I.C., and OSIBANJO, O. **Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries**. *Resources, Conservation and Recycling* 52, p.843–858. 2008.

O FUTURO QUE QUEREMOS. **Declaração final da conferência das nações unidas sobre desenvolvimento sustentável (RIO + 20)**. Junho 2012.

ORSIOLI, D. A. **Estudo da relação entre os parâmetros do processo de injeção em alta pressão de espuma rígida de poliuretano na indústria de refrigeração**. 2005. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville. Santa Catarina. 2005.

OSTLIN, J. **Material and Process complexity- Implications for Remanufacturing**. Linköping University, Sweden. 2005.

OSTLIN, J. **On Remanufacturing Systems Analysing and Managing Material Flows and Remanufacturing Processes**. Linköping Studies in Science and Technology, Thesis N°. 1192. LINKÖPINGS UNIVERSITET. Sweden. 2008.

OSTLIN, J., SUNDIN, E. and BJORKMAN, M. **Product life-cycle implications for remanufacturing strategies**. Journal of Cleaner Production, 17, p. 999-1009. 2009.

PALM, B. **Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems- A review**. International Journal of Refrigeration, 31. p.552-563. 2008.

PIMENTA, J. M. D. **Uso de hidrocarbonetos refrigerantes em aplicações residenciais**. Artigos técnicos. Seminário “Uso de Refrigerantes Naturais em Sistemas de Refrigeração e Ar- condicionado”, realizado em São Paulo, no período de 21 e 22 de novembro de 2007. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Publicação Técnica. 2008.

PORTE, M., GEERING, A. **Opportunities and threats of current E-waste collection system in China: a case study from Taizhou with a focus on refrigerators, washing machines and televisions**. Environmental Engineering Science, 2009.

PORTE, Martin Streicher. **SWICO/ S.EN.S, the Swiss WEEE recycling systems, and best practices from other European systems**. Institute for Spatial and Landscape Planning. Federal Institute of Technology. Zurich, Switzerland. 2006 IEEE.

REVERT BRASIL. **Revert Brasil**. Disponível em <http://www.revertbrasil.com.br/>. Acesso em setembro 2012.

REVISTA EXAME. **Expertise europeia para reciclar geladeira no Brasil**. Edição de 10 agosto 2010. Disponível em <http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/noticias/tecnologia-alema-expertise-suica-reciclar-geladeira-586382?page=2>. Acesso em março 2012.

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. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Produção. São Carlos. São Paulo. 2010.

SACHS, Ignacy. **De volta à mão invisível: os desafios da segunda Cúpula da Terra no Rio de Janeiro**. Estudos avançados, 26. 2012.

SILVA JUNIOR, Herculano Xavier. **Metodologia de Rotulagem Ambiental no Brasil: Identificação, Classificação e Seleção, por Critérios Ambientais e Socioeconômicos dos Refrigeradores Residenciais**. 2009. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas. São Paulo. 2009.

SILVA, G. A. e KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida**. Modelos e ferramentas de gestão ambiental. Desafios e perspectivas para as organizações. Vários autores. Organizadores: Alcir Vilela Junior e Jacques Demajorovic. Editora Senac. p. 313-336. 2006.

Solving the E-Waste Problem (StEP) White Paper. **One Global Understanding of Re-Use-Common Definitions**. 2009.

SONNEMANN, G., CASTELLS, F. and SCHUHMACHER, M. **Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes**. Lewis Publishers. A CRC Press Company.2003.

SUNDIN, E. **How can Remanufacturing Processes become Leaner?** Department of Mechanical Engineering. Linköping University. Linköping. Sweden. 2006.

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

SUNDIN, E. **Product and Process Design for Successful Remanufacturing**. Department of Mechanical Engineering. Linköpings Universitet. Sweden. Dissertation No. 906. 2004.

SUNDIN, E., BJORKMAN, M. and JACOBSON, N. **Analysis of service selling and design for remanufacturing**. Department of Mechanical Engineering, Division of Production Systems Linköpings Universitet. Sweden. 2000.

SUNDIN, E., LINDAHL, M. and IJOMAH, W. **Product design for product/ service systems: Design experiences from Swedish industry**. Journal of Manufacturing Technology Management. Vol.20, N°05, p. 723-753. 2009.

SUNDIN, E., TYSKENG, S. **Refurbish or Recycle Household Appliances? An Ecological and Economic study of Electrolux in Sweden**. Proceedings of EcoDesign 2003 Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan, 2003.

UNEP. Division of Technology, Industry and Economics (DTIE). **Manual for Refrigeration Servicing Technicians**. United Nations Environment Programme 2010.

UNEP. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. **2010 Report Of The Refrigeration, Air Conditioning And Heat Pumps Technical Options Committee – RTOC**. 2010 Assessment.

UNEP. United Nations Environment Programme & United Nations University. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. **Recycling from e-waste to resources**. 2009

WIDMER, R., KRAPF, H., KHETRIWAL, D., SCHNELLMANN, M., BÖNI, H. **Global perspectives on e-waste**. Environmental Impact assessment review, p. (436-458), 2005.