

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - PPGEP

**AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS ELETRO-ELETRÔNICOS
ORIENTADOS AO MEIO-AMBIENTE**

Rafael Schabbach

Springer Carrier S.A.

Orientador:

José Luís Duarte Ribeiro, Dr.

Banca Examinadora:

Lia Buarque de Macedo Guimarães, PhD

Luis Felipe Nascimento, Dr.

Paulo Schneider, Dr.

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia - Profissionalizante.

Porto Alegre, abril de 2000.

Agradecimentos

A Deus, que está presente em todos os momentos de minha vida, iluminando meu caminho e indicando a direção correta a seguir.

Aos meus pais, Antônio e Liane, que com tanto carinho e dignidade me educaram, privando-se de seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus.

A minha namorada Fernanda, que tem acompanhado e me ajudado nos momentos mais importantes de minha vida, sempre com palavras carinhosas e de incentivo.

Ao professor José Luis Duarte Ribeiro, que não contentou-se apenas em transmitir seu conhecimento, mas conseguiu inculcar em mim o desejo pelo saber.

E à Springer Carrier SA e seus funcionários, que permitiram que eu realizasse este trabalho, não medindo esforços para que os resultados fossem os melhores possíveis.

Resumo

Este trabalho trata sobre um assunto relativamente novo, mas com uma importância cada vez maior no desenvolvimento de produtos. Trata-se do Projeto para o Meio-Ambiente (*Design for Environment - DFe*).

São analisados os aspectos do DFe relacionados com o desenvolvimento de produtos eletro-eletrônicos, abrangendo métricas ambientais, práticas de projeto e métodos de análise de produtos.

Estes conhecimentos são aplicados no desenvolvimento de um conjunto de métricas ambientais e de uma metodologia de avaliação ambiental de produtos, a serem adotadas pela Springer Carrier SA no desenvolvimento de seus novos produtos. Esta ferramenta foi criada através da análise de uma ferramenta anterior, desenvolvida nos Estados Unidos, mas incorporou sugestões presentes na literatura e a experiência prática acumulada pelo autor.

A nova ferramenta foi testada em um estudo de caso no qual foi feita a avaliação das duas últimas linhas de condicionadores de ar de parede desenvolvidos pela empresa. O estudo de caso permitiu (i) identificar oportunidades de melhoria para os novos desenvolvimentos relacionados com esta linha de produtos e (ii) avaliar a ferramenta desenvolvida, identificando novos recursos que ela poderia incorporar.

Abstract

This work discusses the methodology of Design for Environment (Dfe), a relatively new subject, which is attaining an increasing importance in the scenario of product development.

The aspects of DFe related to the development of electrical and electronic products, covering environmental metrics, design practices, and product assessment methods, are analyzed.

This knowledge is applied in the development of a set of environmental metrics and of a methodology for assessment of product environmental impact, to be used by Springer Carrier SA for the development of new models. The methodology was created based on the analysis of a previous one, developed in the United States, but it also incorporated suggestions presented in the literature as well as the practical experience of the author.

The new methodology was tested in a case study that evaluate the last two series of window air conditioner developed by Springer Carrier. The case study conducted to (I) the identification of improvement opportunities for the new series of this product, and (ii) the evaluation of the proposed methodology followed by the suggestion of new attributes, which could be incorporate in the near future.

Índice

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Comentários Iniciais	1
1.2.	Tema e justificativa	2
1.3.	Objetivos	3
1.4.	Metodologia	3
1.5.	Estrutura	4
1.6.	Limitações	5
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1.	Motivações para o DFe	6
2.2.	Princípios Conceituais do DFe	9
2.3.	Elementos do DFe	11
2.3.1.	Métricas de Desempenho Ambiental	12
2.3.2.	Práticas de Dfe	18
2.3.2.1.	Recuperação e reutilização	19
2.3.2.2.	Projetar para desmontagem	21
2.3.2.3.	Minimização dos resíduos	23
2.3.2.4.	Conservação de energia	29
2.3.2.5.	Projetar para conservação de material	31
2.3.2.6.	Redução de riscos crônicos	34
2.3.3.	Métodos de Análise da Performance Ambiental	36
3.	FERRAMENTA PROPOSTA	43
3.1.	Comentários sobre a Ferramenta Antiga	43
3.2.	Conjunto de Métricas Ambientais Propostas	45

3.3.	Método de Avaliação Ambiental Proposto	52
3.4.	Relacionamentos entre a Planilha de Métricas Ambientais e as Planilhas de Avaliação Ambiental	56
3.5.	Melhorias alcançadas	57
4.	ESTUDO DE CASO	59
4.1.	Produtos WRAC 105 e 106	59
4.2.	Estratégia de Final de Ciclo de Vida	62
4.3.	Definição dos Objetivos para as Métricas Ambientais	64
4.4.	Realização da Avaliação	68
4.5.	Comparação 105 x 106	69
4.6.	Orientações para o Desenvolvimento da Linha 07	78
4.7.	Comentários sobre o uso da ferramenta	79
5.	COMENTÁRIOS FINAIS	81
5.1.	Conclusões	81
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros	84
	Bibliografia	85
	Anexos	89

Lista de Figuras

Figura 1: Maneiras de alcançar Eficiência Ambiental (Fiksel, 1996)	10
Figura 2: Exemplo de ciclo de vida de bem durável (Brochura Carrier, 1999)	11
Figura 3: Exemplos do uso de termoplásticos compatíveis (Brochura da Carrier, 1999)	26
Figura 4: Exemplos de estruturas fabricadas com polpa de papelão (Orcon, 1999)	28
Figura 5: Exemplos do uso de encostos de papelão (Corrupad, 1999 & Orcon, 1999)	28
Figura 6: Chaleira a resistência Mec-Kambrook (Gertsakis, 1999)	30
Figura 7: Exemplos de aplicações de PET reciclado (Marubeni, 1999)	32
Figura 8: Diferentes formas de LCA (Lewis, 1996)	39
Figura 9: Planilha de Métricas Ambientais da Springer Carrier	49
Figura 10: Curva de normalização dos dados	51
Figura 11: Grupo Geral	52
Figura 12: Grupo Separabilidade/Reciclabilidade	53
Figura 13: Grupo Desmontabilidade	53
Figura 14: Grupo Descrição/Comentários e Idéias	53
Figura 15: Modelos 106	60
Figura 16: Modelos 105	60
Figura 17: Comparativo da composição material entre 105 e 106	62
Figura 18: Comparativo entre os tempos de desmontagem de 105 e 106	70
Figura 19: Tempo para a desmontagem das submontagens	72
Figura 20: Diagrama Espinha-de-peixe Reversa do Modelo 106	73
Figura 21: Diagrama Espinha-de-peixe Reversa do Modelo 105	74
Figura 22: Resultado da Avaliação Ambiental do 105 e 106	75

Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação entre as métricas e os estágios do ciclo de vida (Fiksel, 1996)	13
Tabela 2: Interações entre os diversos atributos de projeto (Fiksel, 1996)	13
Tabela 3: Classes de Fornecimento dos Elementos (Graedel & Allenby, 1995)	33
Tabela 4: Substâncias identificadas no <i>EPA's Industrial Toxics Project</i> (Graedel & Allenby, 1995)	35
Tabela 5: Relação entre as métricas ambientais e os estágios do ciclo de vida	48
Tabela 6: Proposta de Categorização de Estratégias de Final de Ciclo de Vida	63

Lista de Quadros

Quadro 1: Exemplos de regulações ambientais relacionadas a produtos	7
Quadro 2: Compatibilidade de termoplásticos (Brochura da Carrier, 1999)	25
Quadro 3: Separabilidade de Termoplástico (Brochura da Carrier, 1999)	26
Quadro 4: Matriz de Melhoria dos Produtos da AT&T (Lewis, 1996)	38
Quadro 5: Conjunto de métricas ambientais selecionadas	46
Quadro 6: Relação entre as planilhas de métricas e de avaliação ambiental	57
Quadro 7: Comparação entre a Ferramenta Antiga e Ferramenta Proposta	58
Quadro 8: Relação dos Objetivos "bom" e "ruim" das Métricas Ambientais	65

Lista de Siglas

ABS: Acrilonitrilo-butadieno-estireno

CFC: Gás Cloro-fluor-carbono

Dfe: Projeto Orientado ao Meio-ambiente (*Design for Environment*)

EER: Razão de eficiência energética

EPS Poliestireno expandido

HCFC: Gás Hidro-cloro-fluor-carbono

HDPE: Polietileno de alta densidade

HFC: Gás Hidro-fluor-carbono

HIPS: Poliestireno de alto impacto

LCA: Avaliação de Ciclo de Vida

LDPE: Polietileno de baixa densidade

PC: Policarbonato

PC-ABS: Blenda de Policarbonato e Acrilonitrilo-butadieno-estireno

PET: Tereftalato de Polietileno

PP: Polipropileno

PS: Poliestireno

PVC: Cloreto de Polivinila

R134A: Gás Refrigerante tipo HFC

R-22: Gás refrigerante tipo HCFC

R407C: Gás Refrigerante tipo HFC

R410A: Gás Refrigerante tipo HFC

WRAC: Condicionador de ar de parede

1. INTRODUÇÃO

1.1. Comentários Iniciais

O aumento do consumo, conseqüência do desenvolvimento econômico, bem como a globalização e o aumento da concorrência, geram uma necessidade crescente de desenvolvimento de produtos cada vez mais eficientes, com menores custos e com mais atrativos para os clientes.

O sucesso de um produto baseia-se na experiência vivida pelo cliente frente a suas necessidades iniciais, sendo que estas nem sempre são anunciadas, da mesma forma que estão em constante transformação.

O mesmo consumismo desenfreado que o mundo moderno está experimentando trouxe consigo a excessiva exploração dos recursos materiais e energéticos, renováveis ou não, bem como o crescimento da poluição, saturação das áreas de deposição de resíduos, com seus conseqüentes problemas ambientais, tais como o efeito estufa, o problema da camada de ozônio, entre tantos. Estes problemas não estão restritos a uma região ou país, e suas conseqüências afetarão todo o planeta.

Este cenário está induzindo um novo comportamento nos agentes econômicos envolvidos. Produtores e consumidores estão adotando novas estratégias de desenvolvimento, produção e consumo, que tem como objetivo principal aumentar a eficiência no uso da energia e das matérias-primas. Está ocorrendo um processo de aperfeiçoamento contínuo, de tal forma que os recursos necessários para disponibilizar uma certa função sejam cada vez menores. Isto

significa menos energia e matéria-prima consumidos, maior durabilidade e menores impactos ambientais.

Este cenário retrata uma realidade a nível mundial, e sendo assim, todos os países devem se preocupar com ela e procurar resolver seus problemas internos, sob pena de, num futuro próximo, sofrerem sanções internacionais. Infelizmente, estas iniciativas são tomadas pelos países mais desenvolvidos, e depois seguidas pelos países do terceiro mundo.

A Comunidade Econômica Européia já vem mostrando esta tendência, através de um projeto de lei relacionado aos produtos eletro-eletrônicos. Em linhas gerais, este projeto de lei responsabiliza as empresas produtoras destes produtos pelo que será feito com eles após o final da sua vida útil, fazendo com que estas empresas se preocupem com os impactos ambientais gerados e projetem novos produtos procurando facilitar o processo de reciclagem e reutilização no final da vida útil. Outros países como o Japão também estão seguindo esta tendência.

Como pode ser visto, as iniciativas já estão sendo lançadas no Primeiro Mundo, e provavelmente, com a integração comercial e a crescente globalização, não demorará a atingir também os países em desenvolvimento e as empresas brasileiras.

Espera-se, obviamente, que elas não esperem que estas necessidades venham sob a forma de leis, mas que tomem suas próprias iniciativas, adotando uma postura pró-ativa, tendo como objetivo atingir uma diferenciação competitiva através desta nova exigência do mercado.

1.2. Tema e justificativa

Como pode ser visto, o desenvolvimento tecnológico e o aumento do consumo trouxeram consigo muitos problemas. O tratamento destes problemas, dentro em breve, norteará decisões dentro das empresas que tiverem como objetivo continuarem no mercado, que se apresenta cada vez mais competitivo.

Existirão aquelas, que somente reagirão à imposições governamentais, e talvez somente se darão conta do problema quando for tarde demais. Mas existirão

também aquelas empresas que procurarão tomar atitudes pro-ativas, tentando transformar estes esforços em diferenciais com relação aos seus competidores. Estas empresas sim, irão colher resultados muito positivos, e serão reconhecidas pelos seus esforços.

Com esta visão, o presente trabalho tem como tema a técnica do Projeto Orientado ao Meio-ambiente (Dfe), capaz de reduzir os problemas ambientais gerados por um produto, atuando ainda na sua fase de desenvolvimento. Esse é um tema importante para o setor industrial pelo que já foi colocado anteriormente, e será indispensável para o desenvolvimento das próximas gerações de produtos.

1.3. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação ambiental de produtos, a ser utilizada pela Springer Carrier SA, no desenvolvimento de seus produtos.

Como objetivos secundários estão o estudo das linhas atuais de condicionadores de ar da Springer Carrier SA, como forma de testar a ferramenta desenvolvida, e também como subsídio para os novos lançamentos, orientando os grupos de projeto para o desenvolvimento de produtos com menor impacto ambiental.

1.4. Metodologia

A metodologia a ser empregada no trabalho contempla inicialmente uma pesquisa bibliográfica utilizando livros que versam sobre o assunto, páginas na internet, trabalhos científicos, revistas especializadas, entre outros.

Em seguida, será feito um estudo da ferramenta de avaliação ambiental de produtos desenvolvida pela Carrier dos Estados Unidos, procurando verificar os pontos positivos e negativos da mesma. Após este estudo, será desenvolvida uma ferramenta mais apropriada para a avaliação de produtos eletro-eletrônicos, entre eles, o condicionador de ar. Este desenvolvimento iniciará com uma seleção de

métricas ambientais, objetivando realizar uma avaliação coerente dos produtos, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida. Com isto definido, será criada uma metodologia de avaliação para dar suporte e fornecer os dados necessários para as métricas escolhidas. Para finalizar este desenvolvimento, será feita uma avaliação das melhorias alcançadas com esta nova ferramenta em relação à ferramenta americana.

A ferramenta desenvolvida será analisada através de um estudo de caso, a ser realizado com duas gerações diferentes de condicionadores de ar de parede. Estes modelos, por sua vez, apresentam conceitos um tanto diversos, sendo um composto principalmente por materiais metálicos e plásticos enquanto que o outro é fortemente constituído de matérias-primas plásticas. Esta diversidade de conceitos enriquece o trabalho, mostrando a abrangência e versatilidade da ferramenta de avaliação em questão.

Por fim, a análise destas duas gerações de condicionadores de ar servirá também para avaliar a evolução do produto em termos ambientais, e trará subsídios para a identificação dos pontos fracos destes projetos, e para a identificação de melhorias a serem utilizadas quando do desenvolvimento da próxima geração destes produtos.

1.5. Estrutura

O trabalho inicia com uma introdução, onde são colocados os comentários gerais, o tema e a justificativa do mesmo, os objetivos do trabalho, a metodologia que será seguida para alcançar estes objetivos, bem como sua estrutura e suas limitações.

A seguir, no capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica que coloca a opinião de outros autores sobre os assuntos, bem como os conhecimentos necessários para o entendimento do trabalho. São colocadas as motivações para a implantação do DFe, os seus princípios conceituais e elementos, abrangendo métricas ambientais, práticas de projeto e métodos de análise.

No capítulo 3 são traçados comentários a respeito da ferramenta de avaliação ambiental de produtos desenvolvida pela Carrier nos Estados Unidos, apresentando seus pontos positivos e negativos. Em seguida é apresentado o conjunto de métricas ambientais selecionado e o método de avaliação desenvolvido, que serão utilizados na Springer Carrier, salientando para as melhorias alcançadas em relação à ferramenta desenvolvida nos Estados Unidos.

Já no capítulo 4 é apresentado um estudo de caso, onde são avaliadas duas gerações de condicionadores de ar. Isso irá permitir a avaliação da ferramenta desenvolvida e irá conduzir à identificação de possíveis melhorias no produto, ou seja, recomendações gerais, com o objetivo de melhorar ecologicamente as linhas futuras.

Ao final, no capítulo 5, o trabalho é concluído com uma breve revisão dos resultados alcançados e com sugestões para trabalhos futuros a serem realizados nesta área.

1.6. Limitações

Mesmo o assunto tendo relação com as mais diversas atividades produtivas, tanto industriais quanto de serviços, o trabalho está focado em produtos eletroeletrônicos.

Além disso, as métricas e a ferramenta de avaliação desenvolvidas, mesmo tendo aplicação para uma grande variedade de produtos, serão testadas apenas em condicionadores de ar de parede.

O trabalho analisa os aspectos ambientais do produto. No desenvolvimento do produto também devem ser consideradas as questões referentes à qualidade, custo, manufaturabilidade, montagem, entre outros. O foco deste trabalho são os aspectos ambientais, e as outras questões serão tratadas de modo superficial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as motivações para o desenvolvimento do DFe, os seus princípios conceituais e elementos, englobando as métricas ambientais, as práticas de projeto e os métodos de análise.

2.1. Motivações para o DFe

No momento em que iniciamos a discussão sobre este assunto é necessário que sejam feitas algumas definições, para que todos entendam e utilizem a mesma linguagem. O DFe, segundo Fiksel (1996), é a sistemática consideração da performance do projeto com respeito aos objetivos de meio-ambiente, saúde e segurança, considerando todo o ciclo de vida do produto e do processo.

O DFe está se tornando fundamental no ambiente industrial atual. No momento em que grandes empresas passam a reconhecer a importância da responsabilidade ambiental para o sucesso a longo prazo, inúmeras experiências revelam que o DFe gera vantagens competitivas reduzindo custos de produção e de gerenciamento de resíduos, encorajando inovações e simplificações dos produtos, e atraindo novos clientes.

São muitas as motivações que levam as empresas a desenvolver o DFe:

- a) **Legislação:** Regulações internacionais que estão surgindo requerem o retorno e a deposição apropriada dos produtos, por parte dos seus fabricantes, no final da sua vida útil. Também proibições do uso de produtos químicos e materiais perigosos e eficiência energética são itens cobertos por estas regulações. Atualmente, segundo Matthews & Chambers (1997),

os países europeus estão liderando estes esforços, mas é apenas uma questão de tempo para que a maior parte dos países industrializados tenham alguma legislação relativa às questões ambientais dos produtos que são comercializados. Esta tendência de regulação é resultado direto dos avanços tecnológicos e dos ciclos de vida mais curtos dos produtos eletrônicos, diminuição dos espaços para deposição disponíveis e a preocupação ambiental mundial. Lueckefett, Orlandella & Holbrook (1997) apresentam o Quadro 1 com exemplos de regulações e leis ambientais relacionadas a produtos.

Quadro 1: Exemplos de regulações ambientais relacionadas a produtos

Região	País	Cobertura
União Européia		Baterias, cádmio, restrições químicas, substâncias nocivas ao ozônio, embalagem
	Áustria	Baterias, restrições químicas, embalagem
	Bélgica	Eco-taxas sobre baterias, embalagem
	Dinamarca	Mercurio, cádmio
	França	Embalagem, asbestos
	Alemanha	Baterias, proibições químicas, dioxinas, embalagem
	Holanda	Eco-taxas sobre baterias, cádmio, embalagem
	Noruega	Cádmio, substâncias nocivas ao ozônio
	Suécia	Cádmio, restrições químicas, mercúrio, embalagem
América	Canadá	Direito ambiental, embalagem
	Estados Unidos	Baterias, subst. tóxicas, subst. nocivas ao ozônio, dados de segurança de materiais
Ásia Pacífico	Austrália	Direito ambiental
	China	Restrições químicas
	Japão	Baterias

- b) **Mercado:** Os consumidores, de uma forma geral, estão desenvolvendo uma consciência ecológica devido à preocupação com os inúmeros problemas ambientais com os quais se deparam atualmente. Desta forma, estão dando preferência para produtos "ecologicamente corretos", tornando o DFe um diferencial para a venda. Outro apelo forte para a indústria de eletrodomésticos, segundo o Relatório Ambiental 1998 da Eletrolux, é o fato de que os principais impactos ambientais deste tipo de produto ocorrem durante a fase de uso do mesmo, e além disso, estão ligados diretamente com a economia doméstica. Isto significa que, para o consumidor, a escolha de produtos com alto desempenho ambiental se traduz em economia a longo prazo.
- c) **Tendência mundial:** A competição empresarial está cada vez mais acirrada, principalmente com a globalização da economias, ao mesmo tempo que a preocupação ambiental está se mostrando uma tendência forte neste meio, uma tendência que veio para ficar. Desta forma, empresas que demorarem a reagir certamente serão penalizadas pela concorrência.
- d) **Inovação tecnológica:** O desenvolvimento de produtos e processos que agridam menos o meio ambiente possivelmente trará consigo inovações tecnológicas que poderão apresentar custos mais competitivos, agregando uma outra vantagem competitiva ao produto.
- e) **Senso de Responsabilidade:** Esta talvez seja uma das principais motivações para o desenvolvimento do Dfe, e pode ser descrita pelo seguinte provérbio: "Trate bem a terra. Ela não lhe foi dada pelos seus pais. Ela lhe foi emprestada pelos seus filhos."

Mesmo com todas estas motivações, Fiksel (1996) salienta que desenvolver o DFe de um modo consistente e efetivo é um grande desafio, por várias razões:

- O conhecimento ambiental necessário não está amplamente disponível entre engenheiros de desenvolvimento de produto;
- A natureza complexa dos fenômenos ambientais os torna difíceis de serem analisados;
- Os sistemas econômicos onde produtos são produzidos, utilizados, e reciclados são muito mais difíceis de entender e controlar que os próprios produtos.

2.2. Princípios Conceituais do DFe

Segundo Fiksel (1996), o *Business Council on Sustainable Development* (BCSD) sugere o agrupamento das iniciativas de eficiência ambiental em três categorias, conforme Figura 1:

a) **Processos Limpos:** Modificação dos processos e tecnologias de produção, para que eles gerem menos poluição e resíduos. Estas iniciativas assumem que a definição do produto é algo já fixado. A forma pela qual a prevenção da poluição é praticada atualmente possui algumas limitações inerentes:

- Tende a refinar os processos de produção incrementalmente, como eles existem atualmente, em vez de repensar as suas tecnologias e projetos fundamentais;
- Tende a focar em medidas unidimensionais de melhoria em vez de adotar uma visão global da performance ambiental;
- Tende a melhorar processos que não estavam com sua eficiência otimizada;
- Tende a ser praticada numa base “caso a caso”, em vez de ser integrada na estratégia de negócio da companhia.

Mesmo assim, o movimento de prevenção da poluição é muito importante por ter sido o primeiro passo significativo em direção ao desenvolvimento sustentável.

b) **Produtos Limpos:** Modificação do projeto e da composição material dos produtos, para que estes gerem menos impactos ambientais ao longo de todo o seu ciclo de vida. É consequência de uma mudança de pensamento, que substitui o tratamento de resíduos “no final do tubo”, pelo eficiente gerenciamento de recursos “no tubo”. Uma vez que a produção é um dos estágios do ciclo de vida de um produto, estas iniciativas incluem as iniciativas de processos limpos.

- c) **Utilização sustentável de recursos:** Modificação do sistema de produção como um todo, incluindo a relação entre fornecedores e clientes, para que menos recursos materiais e energéticos sejam consumidos por unidade de valor produzida. Iniciativas de processos e produtos limpos estão incluídas nesta categoria.

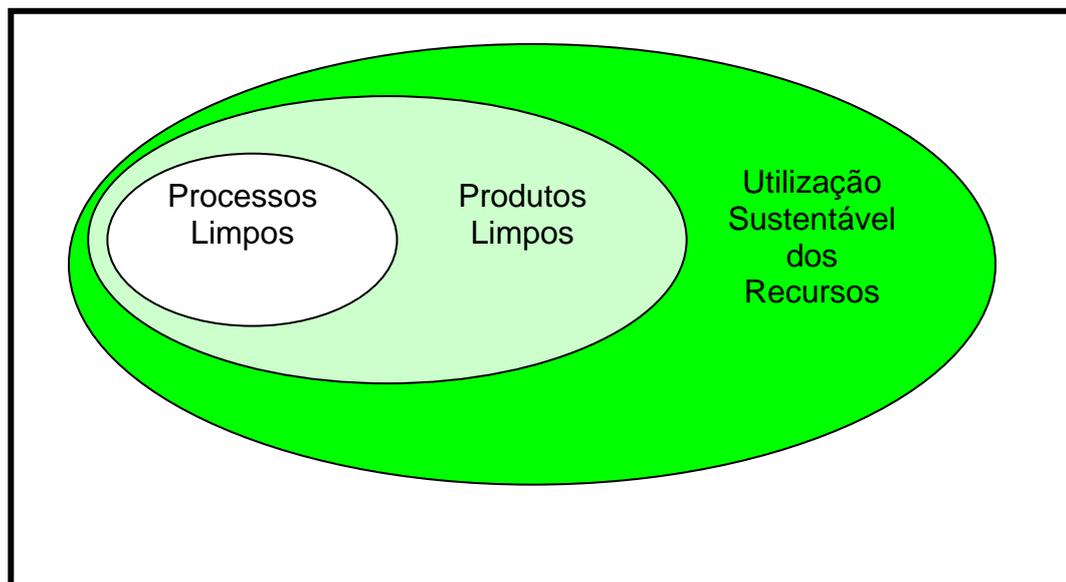


Figura 1: Maneiras de alcançar Eficiência Ambiental (Fiksel, 1996)

O DFe é uma prática de projeto que engloba estas três categorias. Mais do que isto, ele iguala o critério ambiental aos demais critérios que conduzem os processos decisórios nas empresas, entre os quais poderíamos citar o custo, a qualidade, a funcionalidade, a estética, entre outros.

Desta forma, o princípio mais fundamental do Dfe é o de que sejam consideradas todas as etapas do ciclo de vida do produto nas avaliações de impacto ambiental. Isto significa considerar desde a extração dos materiais até a deposição do produto no final da sua vida útil, sem esquecer dos laços de reciclagem, remanufatura ou reutilização. A Figura 2 ilustra um exemplo de ciclo de vida físico de um bem durável, como um condicionador de ar.

Segundo a Brochura da Carrier (1999), a proposta do DFe é de minimizar os fluxos de energia e material para dentro deste ciclo, ou seja, minimizar o consumo de recursos virgens; minimizar o fluxo de resíduos para fora do ciclo e maximizar os

laços, procurando encurtá-los sempre que for possível. Isto significa que as estratégias de final ciclo de vida devem ser priorizadas seguindo a seguinte seqüência preferencial: reutilização, remanufatura, reciclagem, incineração (recuperação de energia) e deposição.

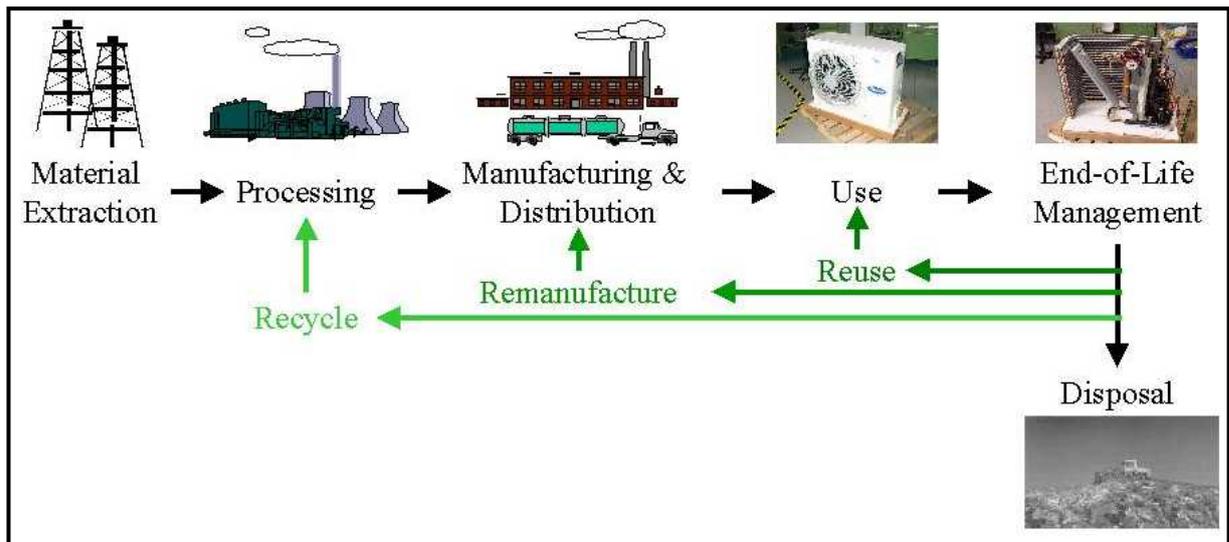


Figura 2: Exemplo de ciclo de vida de bem durável (Brochura Carrier, 1999)

2.3. Elementos do DFe

O DFe procura provocar inovações no produto que resultem em redução do impacto ambiental em qualquer estágio do ciclo de vida, e da mesma forma satisfazer objetivos de custo e desempenho. Desta forma, de acordo com Fiksel (1996), ele não pode ser praticado isoladamente, mas sim ser balanceado com outras considerações de projeto. Para que o DFe seja integrado eficientemente no processo de desenvolvimento de novos produtos, os seguintes elementos são necessários:

Métricas Ambientais: direcionadas pelas necessidades fundamentais dos clientes, do meio ambiente, ou pelos objetivos da empresa, para suportar as medições de desempenho ambiental;

Práticas de Projeto: baseadas no entendimento profundo das tecnologias relevantes, e suportado pelas diretrizes da engenharia;

Métodos de Análise: com o objetivo de avaliar os projetos propostos em relação às métricas supracitadas, de uma forma rápida e objetiva.

2.3.1. Métricas de Desempenho Ambiental

A necessidade de métricas provém do fato de que não se pode gerenciar o que não se pode medir. Portanto, na ausência de medidas de qualidade ambiental é muito difícil, ou quase impossível, realizar melhorias contínuas na performance ambiental dos produtos.

No contexto do DFe, métricas de performance ambiental são parâmetros usados para medir as melhorias de projeto com respeito aos objetivos ambientais. Fiksel (1996) apresenta alguns exemplos destas métricas, dos quais alguns estão listadas a seguir:

- *Métricas de utilização energética*

- energia total consumida durante o ciclo de vida do produto

- potência consumida durante a utilização

- *Métricas de utilização de materiais*

- materiais tóxicos e perigosos usados na produção

- quantidade de resíduos gerada na produção

- emissões ou resíduos perigosos gerados durante a produção ou uso

- substâncias relacionadas com efeito estufa e degeneração da camada de

- ozônio lançadas durante o ciclo de vida

- *Métricas de recuperação e reutilização*

- tempo de desmontagem do produto

- percentual de materiais recicláveis no final da vida útil

- percentual do produto recuperado e reutilizado

- percentual de materiais reciclados usados no produto

- *Métricas de volume*

- massa do produto

- percentual do produto a ser depositado e incinerado

- fração de embalagem reciclada

Métricas ambientais idealmente devem englobar todas as etapas do ciclo de vida do produto ou processo que está sendo desenvolvido. A Tabela 1 ilustra como os vários tipos de métricas estão tipicamente relacionados com os diversos estágios do ciclo de vida.

Tabela 1: Relação entre as métricas e os estágios do ciclo de vida (Fiksel, 1996)

Métrica	Melhoria	Materiais	Fabricação	Transporte	Uso	Final ciclo
Consumo de energia	↓	X	X	X	X	X
Consumo de água	↓	X	X		X	
Volume	↓	X	X	X	X	X
Reciclagem e reutilização	↑		X		X	X
Resíduo e emissões	↓	X	X	X	X	X
Materiais reciclados	↑	X	X			

X representa uma métrica relevante

Em alguns casos, limitações relacionadas com as fontes de informação ou com as metodologias utilizadas podem dificultar a avaliação de algumas células. Além disso, muitas vezes algum estágio do ciclo de vida pode não ter relevância para as decisões da empresa. Por isso, a razão e o escopo pretendido para cada métrica escolhida devem ser esclarecidos, de modo a definir sua abrangência.

Outra consideração importante na seleção das métricas é considerar as interações entre as métricas ambientais e as outras métricas relacionadas com produto e processo. Para que o DFe esteja corretamente integrado com o desenvolvimento do produto, o time de projeto deve entender as sinergias e *trade-offs* entre os atributos de desempenho ambiental e os outros atributos de projeto como custo, desempenho de funções e satisfação do cliente. A Tabela 2 ilustra essas interações.

Tabela 2: Interações entre os diversos atributos de projeto (Fiksel, 1996)

Métrica	Melhoria	Perform.	Custo	Segurança	Conveniên.	Estética
Consumo de energia	↓		X			
Consumo de água	↓		X		X	
Volume	↓	?	X	?	X	
Reciclagem e reutilização	↑		X		?	
Resíduo e emissões	↓	X	X	X	X	
Materiais reciclados	↑		?			?

X representa interação favorável

? Representa interação desfavorável

Uma prática comum é a utilização de escalas ou pesos para agregar várias medidas de performance específicas e gerar um resultado global único. Enquanto esta prática pode ser desejável a título de simplificar a tomada de decisão, existem alguns aspectos problemáticos relacionados com ela: ao mesmo tempo que as métricas de desempenho possuem um significado mais claro quando consideradas separadamente, quando apresentadas de uma forma agregada elas podem gerar comparações incorretas entre produtos não similares, escondendo diferenças importantes entre eles. Por estes motivos o mais interessante é possuir um resultado agregado para ser usado nas tomadas de decisão, mantendo a visualização individual das métricas para possibilitar análises mais aprofundadas.

Várias empresas já possuem um sistema de métricas ambientais desenvolvido. Brinkley *et al.* (1997) apresenta o caso da IBM, que possui um sistema integrado de desenvolvimento de produto que estabelece objetivos enfatizando melhorias na eficiência energética, utilização de materiais reciclados, reutilização e reciclabilidade dos produtos e projeto para desmontagem. Foram desenvolvidas métricas, tanto para os novos produtos desenvolvidos como para o programa como um todo.

As métricas de produto são compostas por uma série de atributos, organizados em forma de somatório e gerando um resultado global. Neste esquema, alguns atributos possuem uma importância maior na composição do somatório, para enfatizar aos projetistas as áreas onde maiores melhorias são desejadas para o novo produto. As avaliações são realizadas em diferentes fases do desenvolvimento do produto, com o intuito de demonstrar a evolução do DFe ao longo deste desenvolvimento e possibilitando ao time de projeto estabelecer objetivos para o produto final, além de gerar um comparativo entre o realizado e o idealizado durante a fase conceitual.

São utilizados basicamente dois tipos de atributos: alguns estão baseados no percentual de peças que possuem o atributo, como a codificação de peças plásticas, enquanto que outros são computados por uma soma de pontos relacionados a características individuais que afetam o atributo, como projeto para desmontagem. O exercício de avaliação destes atributos instrui engenheiros de projeto sobre os

requisitos do DFe e introduz a preocupação com o ciclo de vida no desenvolvimento dos produtos.

Além disso, existem as métricas do programa, que refletem o progresso do desenvolvimento do DFe na empresa como um todo. Foi dada ênfase em indicadores de performance que fossem claros e simples de entender, baseados em processos de coleta de dados já existentes ou de simples implementação. Foram selecionados os seguintes indicadores:

- Utilização de materiais reciclados;
- Simples desmontagem;
- Reciclabilidade do produto;
- Reutilização.

Para a IBM, a seleção correta das métricas influencia diretamente no sucesso de um programa. É importante também que estas métricas e objetivos sejam continuamente revisados e refinados para aumentar sua eficácia e refletir as mudanças nas prioridades da empresa.

Segundo Shiovitz & Craig (1997), a Sun Microsystems Inc. está muito preocupada em antecipar as demandas dos clientes, bem como as tendências da legislação ambiental, que estão andando para uma mesma direção. Como consequência de pesquisas e da utilização de ferramentas da qualidade, três temas ambientais emergiram: eficiência energética; projeto para recuperação, reutilização e reciclagem; e substâncias perigosas. Assim, a Sun desenvolveu seu programa de DFe objetivando estas três áreas.

A eficiência energética é importante para o consumidor pois minimiza os custos de utilização através da economia de energia. Além disso, equipamentos eficientes conservam os recursos naturais necessários para a geração de energia e minimizam as emissões danosas que causam as mudanças climáticas globais.

Quanto à recuperação para reutilização e reciclagem, o principal interesse nesta tema se relaciona com a utilização sustentada de materiais. Um uso ineficiente dos materiais significa menos materiais disponíveis para as futuras gerações.

Já na redução ou eliminação de substância perigosas, o objetivo é proteger a saúde humana e ambiental dos riscos toxicológicos associados a elas. Elas podem ser geradas em qualquer estágio do ciclo de vida do produto: podem estar

associadas à extração da matéria-prima, podem ser perigosas por si só (chumbo), também podem ser um subproduto do processo de manufatura (CFC), ou até gerarem suas conseqüências danosas durante o uso ou deposição.

Com isso, cada uma destas áreas está relacionadas com diferentes frentes de desenvolvimento dentro da empresa, as quais possuem profissionais específicos, com responsabilidades bem definidas. A identificação clara destas relações ajuda a Sun a utilizar ferramentas mais focadas, em vez de práticas abrangentes, habilitando engenheiros de produto a desenvolver soluções que estejam dentro de suas habilidades e responsabilidades.

Já para Hoffmann & Locascio (1997) da Motorola, as métricas ambientais devem considerar a complexidade e o rigor numérico em relação às informações disponíveis em cada estágio de projeto. Não adianta utilizar métricas que exijam um conhecimento detalhado do produto, durante uma fase em que o produto ainda não foi detalhado.

Para resolver este impasse, a Motorola dividiu o processo de desenvolvimento de produtos em três fases: Desenvolvimento Conceitual, Projeto Detalhado e Construção do Protótipo. Com isso, foi possível o desenvolvimento de métricas adequadas para cada uma das fases.

- a) **Desenvolvimento Conceitual:** As métricas ambientais utilizadas nesta fase devem ser de natureza geral, direcionadas principalmente no questionamento de projetos antigos e direcionando o time de projeto para opções de melhoria de projeto.
- b) **Projeto Detalhado:** Esta fase caracteriza-se pela disponibilidade de informações sobre os materiais e as estruturas utilizadas na construção do produto.

A determinação das métricas relativas a esta fase partiu de uma grande lista, a qual foi reduzida resultando nos oito critérios seguintes: energia, massa, uso de material reciclado, reciclabilidade, número de materiais, toxicidade, tempo de desmontagem e valor de comodite dos materiais.

A partir disto, uma forma de agregação destes escores deveria ser encontrada. A primeira tentativa foi o desenvolvimento de uma metodologia baseada na transformação de todas as métricas utilizando uma escala de 0 a 100 para cada critério. Mesmo que o método tenha funcionado, ele ignora o fato de que cada

critério possui um peso diferente, e que os impactos ambientais podem não serem lineares. Além do mais, cada critério é definido em uma escala diferente. Devido a estas restrições, foi escolhida uma técnica conhecida como teoria de valor de atributo múltiplo, a qual permite considerar vários atributos simultaneamente, levando em conta os diferentes níveis de importância de cada um destes atributos, ao mesmo tempo que possibilita uma normalização individual dos mesmos, facilitando a comparação entre as alternativas de projeto. Esta técnica esta baseada na seguinte equação:

$$V = \sum_{i=1}^8 [w_i V_i(x_i)]$$

e

$$\sum_{i=1}^8 w_i = 100$$

onde: V é o escore ambiental;
 w_i é um parâmetro de peso relacionado a cada critério i ;
 $V_i(x_i)$ é a função de preferência do critério i , podendo ser tanto linear, como não-linear ou complexa, e fornece um resultado normalizado entre 0 e 1.

O resultado desta equação é um escore único, refletindo a escolha apropriada dos pesos e das funções de preferência pré-determinados.

- c) **Construção do Protótipo:** Nesta fase, um protótipo foi construído e as informações sobre os processos de manufatura, tempo total de montagem, especificação dos fornecedores, tamanho e composição das peças já são normalmente conhecidas. Nestas condições, a Motorola está começando a utilizar a ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida para mensurar as melhorias ambientais de seus produtos.

Portanto, nos estágios iniciais do projeto, os projetistas são guiados por métodos qualitativos. Assim que o produto começa a ser definido, começam a serem

feitos questionamentos sobre os impactos ambientais dos materiais e componentes. Finalmente, quando o projeto está razoavelmente consolidado é realizada uma avaliação consistente sobre os impactos ambientais do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

2.3.2. Práticas de Dfe

O desafio do Dfe é habilitar os times de projeto a criar produtos eco-eficientes sem comprometer seu custo, qualidade e o cronograma de desenvolvimento. Um produto eco-eficiente é aquele que tanto minimiza os impactos ambientais adversos, como maximiza a conservação dos recursos através de todo seu ciclo de vida. Para atingir este objetivo, o Dfe deve estar integrado no processo de desenvolvimento, desde a análise das necessidades dos clientes e estabelecimento dos requisitos do projeto até a verificação de que estes requisitos foram satisfeitos.

Segundo Fiksel (1996), existem pelo menos dois tipos de práticas:

- **Prescritivas:** são afirmações sobre o que os projetistas deveriam e o que não deveriam fazer, também chamadas de regras de projeto. Como exemplo, podemos citar as listas de materiais banidos.
- **Sugestivas:** representam conhecimento acumulado, sem estabelecer regras restritivas. Elas somente indicam as direções mais usadas, separando as que não são produtivas.

A princípio, todas as práticas que serão discutidas são sugestivas. Existem muitas razões para isto, iniciando pelo fato de que o Dfe ainda está no estado embrionário, ainda não existindo normas definitivas, até o fato de que sua prática envolve muitos *trade-offs* complexos, de modo que regras gerais são difíceis de serem definidas.

A seguir é apresentada uma lista de práticas de Dfe. É importante salientar que esta lista já é fruto de uma seleção de práticas que estão mais diretamente ligadas ao produto condicionador de ar, não deixando de ser aplicável aos diversos tipos de eletrodomésticos.

Alguns pontos importantes devem ser mencionados: a classificação hierárquica destas práticas é arbitrária, uma vez que muitas delas estão intimamente

relacionadas; cada uma pode impactar em um ou mais estágios do ciclo de vida do produto; e existe uma considerável sobreposição com as outras aplicações do Dfx (*Design for x*), como por exemplo a redução da complexidade de um projeto, que supõe menos peças, menor custo de montagem e desmontagem simplificada.

2.3.2.1. Recuperação e reutilização

a) Recuperação de material: Para serem recuperados com ganho econômico, os materiais devem estar o mais próximo possível do seu estado original, quando matéria-prima. Portanto, sua homogeneidade, pureza e reprocessabilidade são considerações importantes na determinação do seu valor de recuperação.

Materiais compostos como a fibra de carbono, muito conhecidos por suas propriedades mecânicas superiores, são problemáticos sob o ponto de vista ambiental. Muitos destes materiais não são passíveis de serem separados em seus constituintes iniciais, portanto, não são recicláveis, exceto para fins de incineração.

Materiais recicláveis incluem termoplásticos, plásticos de engenharia, metais e vidro. Em geral, segundo Fiksel (1996) a reciclabilidade de um material depende de inúmeros fatores:

- A atratividade econômica de reciclar o material e a existência de um mercado consumidor deste produto;
- Volume, concentração e pureza do material reciclado;
- Existência de tecnologias de separação e reciclagem, bem como a adequada infra-estrutura;

Graedel & Allenby (1995) apresentam a situação atual dos processos de reciclagem. Segundo eles, metais são reciclados atualmente com uma eficiência razoável, e geralmente podem ser refinados até a pureza desejada. A reciclagem de papel é menos eficaz, uma vez que cada estágio da reciclagem encurta suas fibras, restringindo o material a usos menos nobres, seqüência conhecida por reciclagem em cascata. No caso dos plásticos, as dificuldades de separar e reprocessar tem tido pequenos progressos, mas grandes esforços para melhorar este cenário estão em andamento.

Para o caso específico de produtos eletromecânicos, Legarth & Nilsson (1997) mostram a necessidade de uma maior preocupação com peças como motores e transformadores, que contém cobre. Além deste material ser considerado escasso, com fontes limitadas, ele não é compatível com o aço nos processos de reciclagem. Aço contendo mais que 0,3 % de cobre apresenta consideráveis perdas de qualidade. Além disso, as enormes quantidades de resíduos de cobre reciclados junto com o aço representam uma considerável perda de fonte de recursos. Na reciclagem de um motor de um eletrodoméstico como uma máquina lava-roupas, é enorme a quantidade de aço necessária para manter o teor de cobre em níveis aceitáveis. As conclusões do estudo mostram que para o caso de motores industriais de grande porte deve-se procurar estender a vida útil para que eles sejam reutilizados, e no caso de motores para eletrodomésticos deve-se procurar facilitar a reciclagem de material, focando especialmente na reciclagem do cobre.

b) Projetar para recuperação de componentes. Em casos onde a tecnologia se torna obsoleta rapidamente, os sistemas inteiros podem ser reprocessados e vendidos para mercados secundários, como é o exemplo do setor automobilístico e de computadores. Caso não seja possível fazê-lo com o sistema inteiro, por motivos de mercado ou operacionais, a segunda prioridade seria desmontá-lo e recuperar os componentes com maior valor agregado, que podem ser vendidos para mercados secundários, como o de manutenção, ou reprocessado e utilizado em produtos novos, contribuindo para atingir a chamada reciclagem de laço curto, quando consegue-se reciclar o material e também a energia gasta para transformá-lo em um bem útil.

No caso da reutilização, uma das grandes dificuldades que ainda impedem a disseminação desta idéia é a identificação das características do componente que garantam a sua confiabilidade após a vida útil do produto. Klausner, Grimm & Hendrickson (1998) apresentam uma solução para o caso de motores elétricos. Trata-se de um circuito chamado EDL (*eletronic data log*) desenvolvido para medir, computar e arquivar parâmetros fortemente relacionados com a degradação de motores durante o seu estágio de uso. Os dados gravados são lidos após o final da vida útil do produto, quando este retorna para ser

desmontado, e servem como base na aprovação do componente para ser reutilizado. Uma análise econômica revelou que a reutilização de motores usados baseada na equipagem de motores novos com o EDL será uma alternativa vantajosa caso o percentual de reutilização for suficientemente alto.

Fiksel (1996) sugere que os projetistas podem aumentar o valor de final de vida de componentes de várias maneiras:

- Projetando componentes que possam ser reutilizados no propósito de reciclagem de laço curto;
- Projetando componentes que possam ser reutilizados em aplicações secundárias devido a sua funcionalidade genérica, flexibilidade ou programabilidade;
- Facilitando a remoção não destrutiva dos componentes.

Segundo a Brochura da Carrier (1999), um exemplo prático de reutilização de componentes está ocorrendo na XEROX, onde 3000 componentes foram reutilizados na Europa em 1995.

2.3.2.2. *Projetar para desmontagem*

Embora alguns defendam os processos de moagem com posterior separação em relação à desmontagem, como é o caso de Langerak (1997), a grande tendência mundial é a simplificação dos processos de desmontagem dos produtos, atuando no projeto dos mesmos, com o objetivo de tornar a reciclagem mais atrativa. Segundo Graser & Hooek (1996), os processos de desmontagem e separação são responsáveis por aproximadamente 47% dos custos dos materiais plásticos automotivos reciclados. Outra vantagem desta tendência é possibilitar a reutilização de peças com maior valor agregado. Segundo a Brochura da Carrier (1999), um exemplo disto é uma nova máquina lava-louça da Bosch-Siemens em que conseguiu-se reduzir o tempo para a separação de 75% do material de 18 para 10 minutos.

a) Facilitar o acesso aos componentes. O objetivo é garantir que o produto seja desmontado com custo e esforço mínimos. Segundo Fiksel (1996), este é um

importante pré-requisito para outras considerações de final de ciclo de vida, como separabilidade e reciclabilidade. Caso não se tenha fácil acesso ao componente, poderá ser inviável recuperá-lo, mesmo que ele tenha um alto valor comercial. Da mesma forma, será economicamente inviável desmontar um produto que possua muitos materiais diferentes e de difícil identificação.

A facilidade para remover componentes é uma preocupação que deve ser tomada. Por exemplo, peças embutidas não são facilmente recuperadas. Além disso, caso uma peça seja embutida em um material não compatível, isso torna a montagem difícil de ser reciclada. Como consequência, caso o projeto não permita fácil desmontagem de peças, elas devem ser construídas de materiais recicláveis compatíveis.

b) Simplificar as interfaces dos componentes. A desmontagem envolve a remoção seqüencial dos componentes, e a tecnologia utilizada nas interfaces influencia diretamente a facilidade de desmontagem. Fiksel (1996) apresenta regras básicas que contribuem para melhorar a desmontagem:

- Evitar molas, polias e armaduras que complicam a desmontagem;
- Minimizar o uso de adesivos ou colagens entre componentes que devam ser separados ou entre materiais incompatíveis. Caso sejam necessários, procurar usar materiais compatíveis;
- Utilizar engates rápidos para fixar componentes sempre que for possível;
- Evitar fixadores com rosca, pois aumentam os custos de montagem e desmontagem;
- Utilizar métodos de colagem alternativos, como ultra-som ou solvente, que são aceitos nos casos de peças com mesmo material e que não são separadas no final da vida útil;
- A utilização de clips pode ser uma maneira eficiente e barata de juntar materiais, uma vez que permitem fácil montagem e desmontagem, e não introduzem contaminantes.

Graedel & Allenby (1995) também preocupam-se com este problema recomendando que não sejam utilizados sistemas de união de materiais diferentes de modo a dificultar a separação. Como exemplo podemos citar injetados plásticos com insertos metálicos ou de um plástico não compatível.

c) Projetar para simplicidade. Projetos simplificados geralmente acarretam menores custos de manufatura, menos massa de material, maior durabilidade e confiabilidade, desmontagem facilitada com o propósito de manutenção e reciclagem. Conforme Fiksel (1996), existem várias formas de se atingir simplicidade de projeto:

- Reduzir a complexidade dos enclausuramentos e montagens do produto em termos do seu projeto geométrico e espacial, bem como a complexidade de sua operação;
- Reduzir o número de peças distintas que são incorporadas ao projeto;
- Projetar peças multifuncionais, que absorvem uma maior variedade de funções;
- Utilizar peças comuns a outros projetos.

Graedel & Allenby (1995) colocam como uma das considerações mais importantes para a reciclabilidade de um produto como um todo, a minimização do número de materiais diferentes, bem como do número de componentes individuais utilizados no projeto. Muitas vezes questões de funcionalidade e estética tornam isto difícil, mas ainda assim este ponto deve ser priorizado pelos projetistas.

2.3.2.3. Minimização dos resíduos

a) Reduzir as fontes de resíduos. É a alternativa mais utilizada para a prevenção de poluição. Reduzir a massa do produto é a maneira mais correta e direta para reduzir resíduos, e geralmente também resulta em menores custos de fabricação. Fiksel (1996) apresenta algumas das práticas mais comuns de redução de fonte de resíduo:

- Reduzir dimensões físicas do produto;
- Especificar materiais mais leves;
- Projetar enclausuramentos menos espessos;
- Reduzir a massa de componentes importantes;
- Reduzir o peso e complexidade das embalagens;
- Documentação eletrônica em vez de papel.

Da mesma forma Graedel & Allenby (1995) afirmam que, independentemente de qual material for escolhido para um produto, a quantidade utilizada geralmente pode ser minimizada através de técnicas de análise de tensões. Paredes mais finas e elementos de suporte geralmente são viabilizados através destas técnicas, especialmente caso regras físicas simples de projeto sejam aplicadas, como por exemplo:

- Onde chapas de aço ou plástico são usadas, prover rigidez através de repuxos e nervuras e não aumentando espessuras;
- Utilizar um maior número de nervuras menores em vez de poucas nervuras grandes;
- Projetar os repuxos para que estes provenham rigidez para suportar os elementos estruturais principais do produto.

A Brochura da Carrier (1999) apresenta como exemplo o novo Passat da Volkswagen, onde conseguiu-se 60 kg de redução da massa do automóvel através da utilização de materiais mais leves como magnésio, alumínio e plástico.

b) Separabilidade dos materiais. A separabilidade de materiais e componentes incompatíveis é uma característica importante na determinação da reciclabilidade global de um produto. Depois de desmontados, os materiais devem ser separados com a finalidade de reciclagem. Uma estratégia importante e barata é facilitar a identificação dos materiais através de codificações ou marcações. Deve-se observar a ISO 11469, norma para identificação e marcação de produtos plásticos.

Segundo Fiksel (1996), os custos associados com a identificação, separação, classificação, e manuseio do material aumenta a medida que aumenta o número de diferentes materiais. Projetar com menos materiais diferentes facilita a identificação e separação, resultando em volumes maiores, o que torna o processo de reciclagem mais vantajoso economicamente. Da mesma forma, o uso de materiais compatíveis reduz o trabalho de separação.

A Brochura da Carrier (1999) apresenta um quadro de compatibilidade de termoplásticos da Bayer, onde a linha superior apresenta os materiais principais, a coluna a esquerda apresenta os materiais de adição, e na convergência da coluna do material principal com a linha do material de adição pode ser verificada

a compatibilidade entre eles, que pode ser classificada como uma boa compatibilidade, compatibilidade apenas para um baixo percentual de material de adição, ou não compatível.

Quadro 2: Compatibilidade de termoplásticos (Brochura da Carrier,1999)

		Main Material																			
		ABS	ASA	PA	PBT	PBT+PC	PC	PC+ABS	PC+PBT	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	(PPO+PS)	PS	PVC	SAN	TPU	
"Added" Material	ABS	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C	
	ASA	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C	
	PA	CBC	CBC	C	CBC	CBC	NC	NC	NC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	CBC	CBC	NC	CBC	C	
	PBT	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	CBC	
	PBT+PC	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	CBC	CBC	NC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	C	
	PC	C	C	NC	C	C	C	C	C	CBC	C	C	NC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	CBC	
	PC+ABS	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	C	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	C
	PC+PBT	C	C	NC	C	C	C	C	C	CBC	C	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	C
	PE	NC	NC	CBC	NC	NC	CBC	NC	NC	C	NC	NC	NC	C	NC	CBC	NC	CBC	NC	CBC	
	PET	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	C	CBC
	PMMA	C	C	CBC	CBC	CBC	C	C	C	CBC	CBC	C	NC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	CBC
	POM	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	NC	NC	NC	CBC	CBC	NC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC
	PP	NC	NC	CBC	NC	NC	NC	NC	NC	CBC	NC	NC	NC	C	NC	CBC	NC	CBC	NC	CBC	
	PPO	CBC	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C	C	NC	CBC	CBC
	(PPO+PS)	CBC	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C	C	NC	CBC	CBC
	PS	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C	C	CBC	CBC	CBC
	PVC	C	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	CBC	NC	C	C	CBC	NC	CBC	CBC	C	C	C	
	SAN	C	C	CBC	C	C	C	C	C	CBC	CBC	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	CBC
	TPU	C	C	C	CBC	C	C	C	C	CBC	C	C	C	CBC	CBC	CBC	CBC	CBC	C	C	C

- C = Good compatibility over wide range of percentage of added material
- CBC = Compatibility for low percentages of added material
- NC = No compatibility

Source: Bayer

Existem inúmeros exemplos práticos que foram desenvolvidos e estão em produção atualmente. Entre eles, podemos citar desde faróis para carro, até conjuntos inteiros de painéis de porta e painéis de instrumento de automóvel, desenvolvidos utilizando materiais compatíveis de tal forma que durante o processo de desmontagem estas peças vão todas para um mesmo container, como pode ser visto na Figura 3.

Além disso, a Brochura da Carrier (1999) também apresenta um quadro de separabilidade automática de termoplásticos da Renault, a qual identifica aos pares quais os termoplásticos são possíveis de serem separados através da utilização das tecnologias atuais de separação. Nestes processos as peças plásticas são primeiramente moídas, e posteriormente separadas com o uso de máquinas especiais, as quais utilizam a densidade das resinas como agente separador.

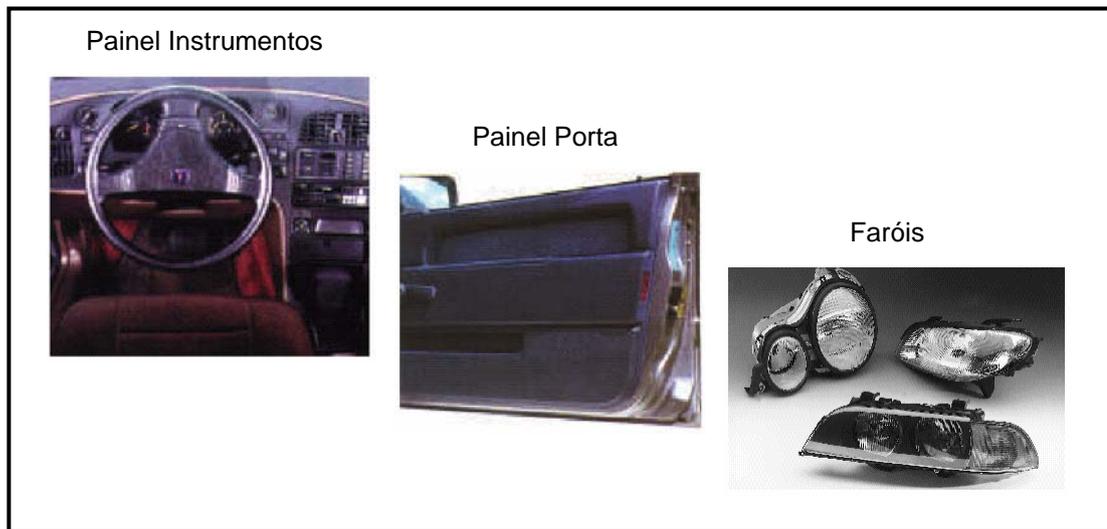


Figura 3: Exemplos do uso de termoplásticos compatíveis (Brochura da Carrier,1999)

Quadro 3: Separabilidade de Termoplástico (Brochura da Carrier,1999)

Density [g/cm3]	Polyethylene		Copolymere P/E				Polypropylene							Polyamide				Polystyrene			other materials												
	PE-HD	PE-LLD	P/E	P/E T 20	P/E + EPDM	P/E + EPDM T 30	PP	PP T 20	PP T 40	PP GF 30	PP MD 30	PP + EPDM	PP + EPDM T 26	PP + EPDM GF 20	PA 6	PA 66	PA 66 GF 20	PA 66 GF 25	PA 66 GF 30	PA 66 GF 40	ABS	ABS GF 15	ABS + PC	PPE + PA	PC + PBT GF 30	ASA	PF GF 30	POM	PVC	PMMA	PUR	TPE	UP
PE-HD	0.94-0.95	X																															
PE-LLD	0.92-0.94	X	X																														
P/E	0.90	X	X	X																													
P/E T 20	1.04-1.06	X	X	X	X																												
P/E + EPDM	0.89-0.90	X	X	X	X	X																											
P/E + EPDM T 30	1.13-1.15	X	X	X	X	X	X																										
PP	0.90	X	X	X	X	X	X																										
PP T 20	1.04	X	X	X	X	X	X	X																									
PP T 40	1.20-1.24																																
PP GF 30	1.10-1.14																																
PP MD 30	1.15																																
PP + EPDM	0.89	X	X	X	X	X	X	X																									
PP + EPDM T 26	1.08																																
PP + EPDM GF 20	1.22																																
PA 6	1.07																																
PA 66	1.14																																
PA 66 GF 20	1.28-1.29																																
PA 66 GF 25	1.30																																
PA 66 GF 30	1.35-1.36																																
PA 66 GF 40	1.48																																
ABS	1.04-1.06	X	X																														
ABS GF 15	1.17																																
ABS + PC	1.10-1.15																																
PPE + PA	1.10																																
PC + PBT GF 30	1.50																																
ASA	1.07																																
PF GF 30	1.55																																
POM	1.36-1.40																																
PVC	1.30-1.40																																
PMMA	1.15-1.20																																
PUR	0.40-0.70																																
TPE	1.20																																
UP	1.80-1.90																																

c) **Evitar contaminantes.** Existem inúmeros contaminantes que não são facilmente separados dos materiais do produto ou embalagem, como adesivos, tintas, pigmentos, insertos, etiquetas.

Algumas soluções que podem ser empregadas são as etiquetas integradas à peça, com as gravações feitas no molde de injeção de plástico, ou a utilização de etiquetas com o mesmo material que a peça base, utilizando tinta e adesivo compatíveis com este material. A 3M comercializa a Etiqueta Compatível 8000, que é feita de um material compatível com os termoplásticos mais difundidos mundialmente, como PC, PS, ABS, PC-ABS e HIPS.

- d) Projetar para a recuperação de resíduos e reutilização.** De acordo com Fiksel (1996), resíduos podem ser gerados em qualquer estágio do ciclo de vida do produto, e não apenas durante a produção ou no final da vida útil. Um aspecto importante de prevenção da poluição é a minimização de resíduos gerados por sub-produtos ou consumíveis utilizados em todas estas fase, como pilhas, água, produtos de limpeza, entre outros.

Falando um pouco sobre os resíduos gerados durante a fase de fabricação, Graedel & Allenby (1995) mencionam o problema dos canais de injeção das peças plásticas, que são pequenas sobras de material. Uma solução para este problema é a utilização de canais com resistência, também conhecidos por “canais quentes”, os quais eliminam a geração dos resíduos, mas encarecem o molde. A solução proposta por Graedel & Allenby (1995) é a de que o projeto do produto preveja uma reutilização deste resíduo, como por exemplo na sua utilização em peças internas onde a questão estética não é importante. Obviamente as restrições estruturais devem ser devidamente estudadas.

- e) Redução da embalagem.** Segundo Graedel & Allenby (1995), nos locais onde avaliações detalhadas foram realizadas, tanto na Europa como nos Estados Unidos, em torno de 30% do lixo municipal sólido são resíduos de embalagem. Por conseqüência, foi estimado que em torno de um terço da produção de plástico é usada em embalagens descartáveis. O uso de materiais tóxicos, como metais pesados nas tintas destas embalagens, pode ser o maior impacto ambiental deste tipo de produto. A lista a seguir mostra diversos conceitos de embalagem em ordem decrescente de preferência:

- Ausência de Embalagem;
- Embalagem Consumível, Retornável ou Reutilizável;
- Embalagem Reciclável.

Outra tendência que deve ser seguida é a diminuição do volume das embalagens. Os esforços neste sentido se justificam por si mesmos, uma vez que barateiam a movimentação, o transporte, a estocagem. A diversidade de materiais usados na embalagem pode ser reduzida utilizando estruturas fabricadas usando a polpa de papelão, e com encostos de papelão em substituição ao EPS, como mostram as Figuras 4 e 5:



Figura 4: Exemplos de estruturas fabricadas com polpa de papelão (Orcon, 1999)



Figura 5: Exemplos do uso de encostos de papelão (Corrupad, 1999 & Orcon, 1999)

2.3.2.4. **Conservação de energia**

- a) Reduzir o uso de energia na produção.** Fiksel (1996) comenta que a conservação de energia é uma das formas mais atrativas de prevenção da poluição, porque é fácil de implementar e resulta diretamente em redução de custo. Segundo a *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, cada kilowatt-hora de eletricidade não usada previne a emissão de 680 gramas de CO₂, 5.8 gramas de SO₂ e 2.5 gramas de NO_x, considerando os padrões de geração de energia dos Estados Unidos. Portanto, projetar processos de produção eficientes em termos energéticos é uma estratégia importante de Dfe.
- b) Reduzir o consumo energético do produto.** Neste ponto todos os autores consultados estão em comum acordo: um bom desempenho energético é imprescindível para a performance ambiental de um produto. Segundo o Relatório Ambiental da Eletrolux de 1998, os maiores impactos ambientais de um eletrodoméstico geralmente ocorrem durante o uso do produto, além de estarem intimamente ligados à economia doméstica. Para alguns tipos de produtos, como máquinas de lavar, é sabido que os custos relacionados com consumo de água, detergente e eletricidade, excedem os custos iniciais de aquisição, demonstrando que a escolha por um produto com uma alta performance ambiental significa economia a longo prazo. No caso da Europa, em torno de 15% de toda eletricidade consumida é atribuída aos eletrodomésticos, de forma que o lançamento de produtos ecológicos é uma boa forma de focar os clientes nas questões ambientais e econômicas.

Segundo Fiksel (1996), a redução no consumo de energia em computadores e periféricos é alcançada através das “funções de gerenciamento de potência”, que reduzem o regime de potência do aparelho quando ele não é usado por um certo período de tempo. Em outros tipos de produtos, a eficiência energética é alcançada através do desenvolvimento de motores mais eficientes e da redução da carga energética do sistema.

Como exemplo podemos citar o projeto de uma chaleira elétrica apresentado por Gertsakis (1999). Inicialmente, através de uma análise de ciclo de vida, verificou-se que o maior impacto ambiental durante a fase de uso é o consumo de energia

e que uma redução na diversidade dos materiais poderia tornar a reciclagem no final da vida útil mais viável. A chaleira pode ser vista na Figura 6.



Figura 6: Chaleira a resistência Mec-Kambrook (Gertsakis, 1999)

Através da análise de vários cenários que consideraram a maneira de utilização do aparelho foi possível reprojeta-lo chegando a um conceito com 25% de redução no consumo de energia, em torno de 50% de redução na quantidade de materiais diferentes, 66% da massa do produto de material reciclável (contra 36% do conceito anterior), 40% de redução no número de componentes, 16% de redução na massa total e técnicas de construção que facilitam a desmontagem.

- c) Reduzir o uso de energia na distribuição.** Este é um ponto que muitas vezes passa despercebido, e engloba o envio de componentes dos fornecedores aos produtores ou montadores, destes aos centros de distribuição, e, por sua vez, destes pontos intermediários aos consumidores.

Mesmo que o plano de distribuição geralmente não seja considerado na atividade de projeto, é certamente uma importante peça do desenvolvimento integrado de produto. Além disso, existem certos aspectos do projeto físico do produto, incluindo forma, tolerância térmica e vibracional, que limitam as opções de distribuição disponíveis. Fiksel (1996) apresenta algumas práticas que são largamente usadas para aumentar a eficiência do sistema de distribuição:

- Reduzir a distância de transporte total de um produto ou seus componentes, por exemplo, enviando módulos que são terceirizados diretamente do fornecedor para o cliente final;
- Reduzir o volume a ser transportado reprojetoando a geometria das peças e do produto, reduzindo o volume da embalagem, possibilitando encaixe e empilhamento das peças para que menos espaço seja perdido;
- Evitar requisitos de temperatura especial, ou outras restrições de transporte que consumam energia.

2.3.2.5. *Projetar para conservação de material*

a) Projetar produtos multifuncionais. Produtos que oferecem múltiplos usos são considerados eco-eficientes, uma vez que para a mesma quantidade de material, atinge-se um nível mais elevado de funcionalidade. Existem basicamente dois tipos de funcionalidade múltipla:

- Funções Paralelas, em que o aparelho pode servir a diversos propósitos simultaneamente;
- Funções Seqüenciais, em que um produto é aposentado do seu uso primário e é então aplicado a usos secundários e até ternários.

b) Especificar materiais reciclados. Outro importante aspecto do desenvolvimento sustentável é a conservação dos recursos não renováveis. Inúmeras empresas tem encorajado o uso de materiais “ambientalmente conscientes”, que possuem níveis razoáveis de conteúdo reciclado. Em muitos casos, a substituição por materiais reciclados com potencial de ocorrência de impurezas é favorável economicamente, e não compromete a qualidade do produto final.

Segundo Fiksel (1996), metais são de fácil reciclagem, uma vez que podem ser purificados no seu estado fundido. Entretanto, para termoplásticos de engenharia, as propriedades mecânicas e estéticas associadas às resinas recicladas podem estar significativamente comprometidas. Uma alternativa seria a utilização de materiais virgens somente para componentes críticos, e materiais reciclados para aplicações com menor demanda em termos de propriedades mecânicas e estéticas. Graedel & Allenby (1995) citam a existência de plantas de

reciclagem para as seguintes qualidades de plásticos: PET, PVC, PS e poliolefinas como HDPE, LDPE e PP.

Como exemplo podemos citar o caso apresentado no Marubeni Corporation Annual Report (1999), onde PET reciclado é utilizado como embalagem para inúmeros produtos, como mostra a Figura 7.

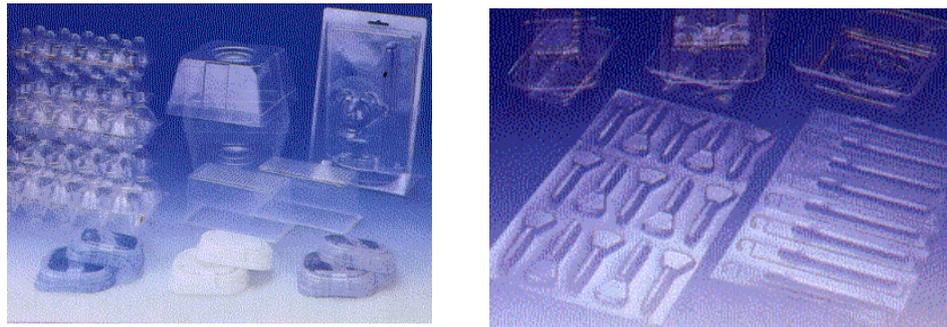


Figura 7: Exemplos de aplicações de PET reciclado (Marubeni, 1999)

Além disso, a Brochura da Carrier (1999) apresenta o caso da lava-louças da Bosch-Siemens, onde 30% das peças plásticas são feitas de material reciclado.

Este item possui uma importância crucial para o contínuo desenvolvimento de produtos eco-eficientes, uma vez que a especificação de materiais reciclados na fabricação de produtos novos cria uma demanda extremamente necessária para o desenvolvimento de um mercado forte de materiais reciclados, sem o qual o aumento da reciclabilidade dos produtos não faz nenhum sentido.

- c) Especificar materiais renováveis.** Em vez de reciclar materiais não renováveis, uma alternativa seria a substituição destes por materiais renováveis. De acordo com Fiksel (1996), um material é considerado renovável quando a taxa com que ele é recomposto for suficiente para compensar o seu uso. Como exemplo podemos citar os produtos extraídos da madeira.

Graedel & Allenby (1995) abordam o problema da disponibilidade global de recursos através de uma tabela com a classificação dos elementos químicos em cinco itens, de acordo com um índice de fornecimento, caracterizado pela relação entre a taxa de utilização atual do elemento com as reservas mundiais do mesmo. Os elementos que aparecem entre parêntesis são sub-produtos dos que os antecedem.

Tabela 3: Classes de Fornecimento dos Elementos (Graedel & Allenby, 1995)

Fornecimento Infinito	A, Br, Ca, Cl, Kr, Mg, N, Na, Ne, O, Rn, Si, Xe
Fornecimento Amplo	Al (Ga), C, Fe, H, K, S, Ti
Fornecimento Adequado	I, Li, P, Rb, Sr
Fornecimento Potencialmente Limitado	Co, Cr, Mo(Rh), Ni, Pb(As,Bi), Pt(Ir,Os,Pa,Rh,Rn), Zr(Hf)
Fornecimento Potencialmente Altamente Limitado	Ag, Au, Cu(As,Se,Te), He, Hg, Sn, Zn(Cd,Ge,In,Th)

Cabe salientar que é utilizada uma quantidade razoável de cobre em condicionadores de ar, material este que é considerado como Fornecimento Potencialmente Altamente Limitado.

d) Projetar produtos com vida longa. Fiksel (1996) afirma que quanto mais longa for a vida do produto, mais eco-eficiente ele será, desde que a mesma quantidade de material gere uma quantidade maior de valor econômico.

Para alguns tipos de produtos, a expectativa de vida é maior que a duração real do seu uso primário, devido à obsolescência tecnológica. Computadores pessoais são um exemplo. Neste caso, uma outra forma de alcançar a longevidade é estendendo a vida dos componentes. São apresentados dois caminhos para conseguir isto:

- Projetar componentes que possam sofrer atualização;
- Projetar plataformas reutilizáveis.

Graedel & Allenby (1995) apresentam o conceito de hierarquização das formas de reciclagem de produtos industriais. Segundo este conceito, a prática mais importante é a realização de manutenções preventivas durante o maior período de tempo que for possível, incluindo *upgrades* para atingir eficiência e ganhos de performance através da inovação tecnológica. Mais cedo ou mais tarde, as manutenções se tornarão impraticáveis ou haverá a disponibilidade de produtos com desempenho superior, exigindo modificações mais significativas. Neste ponto, as características incorporadas ao produto através do projeto físico do mesmo irão determinar a que nível da corrente de materiais a reciclagem pode

ser realizada: o projeto ideal permite que as modificações necessárias sejam alcançadas através da troca de um pequeno número de submontagens e com a reciclagem das que foram rejeitadas; num segundo nível está o projeto que necessita da troca do produto, mas permite que muitas das submontagens sejam recuperadas e recicladas em novos produtos; num terceiro nível caracteriza-se caso as submontagens não possam ser reutilizadas, em que esforços podem ser feitos no desenvolvimento de componentes passíveis de recuperação e reutilização; o quarto nível e normalmente a alternativa menos desejável é a remoção do produto e a recuperação dos materiais e da energia contida nele, para a posterior reinjeção destes na cadeia produtiva. A simples deposição do produto, sem a possibilidade de nenhuma destas alternativas de reciclagem, não é uma alternativa aceitável sob o ponto de vista do Dfe.

- e) **Desenvolver programas de *leasing*.** Uma alternativa eficiente para a comercialização de produtos é a introdução de programas de *leasing*, em que o produtor retém a propriedade e a responsabilidade pelo produto físico. Esta forma agrega maior controle sobre a reciclagem e gera uma diminuição dos resíduos através da reutilização do produto após a sua devolução pelo cliente. A Brochura da Carrier (1999) cita como exemplo a XEROX, que comercializa suas copadoras através deste sistema.

2.3.2.6. *Redução de riscos crônicos*

- a) **Evitar substância indesejadas.** Muitas empresas desenvolveram listas de materiais a serem evitados por motivos regulatórios, ambientais ou de saúde. Por exemplo, materiais contendo retardantes de chama halogenados devem estar restritos dos canais comuns de reciclagem devido à sua toxicidade. Como alternativa, a BASF desenvolveu uma resina chamada Ultramid KR 4480 livre de halogenados e de fósforo, que atinge o nível UL94 V-2 de retardamento de chama.

Graedel & Allenby (1995) apresentam a lista do *U.S. EPA's Industrial Toxics Project*, um esforço voluntário para a redução de emissões químicas nos EUA, considerando tanto substâncias relativas aos produtos como aos processos.

Além disso, a Carrier também possui a sua própria lista de materiais a serem evitados.

Tabela 4: Substâncias identificadas no *EPA's Industrial Toxics Project*
(Graedel & Allenby, 1995)

Benzeno	Cadmium e seus compostos
Carbino tetraclorido	Chumbo e seus compostos
Diclorometano	Níquel e seus compostos
Metil isobutil cetona	Cromo e seus compostos
Tetracloroetileno	Mercúrio e seus compostos
Tricloroetano	
Xilenos	
Cloroforme	
Cianidos	
Metil etil cetona	
Tolueno	
Tricloroetileno	

b) Evitar produtos químicos danosos à camada de ozônio. O banimento mundial dos CFCs foi o resultado do Protocolo de Montreal. Na aplicação em condicionadores de ar, o substituto mais largamente utilizado atualmente é o HCFC R-22, que mesmo sendo muito superior, ainda apresenta um pequeno potencial de destruição da camada de ozônio. Desta forma, este também será eliminado da cadeia produtiva, o que já ocorreu em alguns países da Europa. Como substitutos, entre outros, já estão sendo utilizados os gases HFC, mais especificamente o R407C para os produtos já existentes, o R410A para os produtos novos e o R134A para os grandes sistemas, como chillers.

Mesmo com esta alternativa, segundo Sasaki, Kawahara & Yanagitani (1997) ainda estaremos convivendo com o aquecimento global, de forma que se faz necessário o desenvolvimento de produtos que necessitem uma quantidade mínima destas substâncias, e que possuam estruturas para a simples recuperação destes gases no final da vida útil do produto.

c) Assegurar depositabilidade dos resíduos. De acordo com Fiksel (1996), alguns resíduos não podem ser recuperados e reprocessados de uma forma econômica. Nestes casos, é importante que a forma física destes resíduos e seus constituintes perigosos sejam controlados para garantir sua deposição segura e eficiente.

2.3.3. Métodos de Análise da Performance Ambiental

O comprometimento de uma organização em incorporar os conceitos do DFe requer um sistema de medição e análise que seja eficiente e atrativo para o uso. Segundo Graedel & Allenby (1995), um sistema conveniente deve ter as seguintes características:

- servir para gerar comparações entre produtos;
- ser consistentemente utilizável por diferentes grupos de avaliação;
- englobar todos os estágios do ciclo de vida e todas as questões ambientais relevantes;
- ser simples o suficiente para permitir avaliações relativamente rápidas e baratas.

O método mais aceito e universalmente na análise dos impactos ambientais relacionados com um material, produto ou processo, é chamado de Análise de Ciclo de Vida (LCA). A essência do LCA é a avaliação das implicações ambientais, econômicas e tecnológicas relevantes de materiais, produtos ou processos ao longo de toda a sua vida útil, ou seja, desde o nascimento até a morte, ou melhor ainda, até o renascimento em outra forma útil.

A SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) define o processo do LCA como um processo objetivo para avaliar os encargos ambientais associados com um produto, processo ou atividade através da identificação e qualificação das utilizações de energia e material, e descargas ambientais, para avaliar os impactos destes, e para avaliar e implementar oportunidades de melhoria ambiental, abrangendo todo o ciclo de vida, englobando extração e processamento da matéria-prima, fabricação, transporte e distribuição, uso, reuso e manutenção, reciclagem e deposição final.

Esta análise requer um grande esforço devido a sua complexidade, e existem muitas variantes. Entretanto, existe uma concordância preliminar sobre a estrutura formal do LCA, e Graedel & Allenby (1995) a dividem em três estágios: análise do inventário, análise do impacto e análise da melhoria. A análise do inventário utiliza dados quantitativos para estabelecer os níveis e tipos de entradas de energia e material, e as descargas ambientais resultantes (saídas), englobando todo o ciclo de

vida. Já a análise do impacto relaciona os entradas e saídas do sistema com os conseqüentes impactos ao mundo externo, sendo este um estágio muito difícil e controverso, gerador de muitas polêmicas. O terceiro estágio, análise das melhorias, é a verificação das necessidades e oportunidades para reduzir os impactos ambientais, sendo a seqüência natural dos estágios anteriores, e a implementação destas oportunidades é chamada de DFe, assunto deste trabalho.

Segundo os próprios Graedel & Allenby (1995), uma preocupação fundamental sobre a metodologia do LCA apresentada é o fato dela ser muito complexa e detalhada para ser largamente utilizada no mundo real. É necessário o desenvolvimento de uma técnica capaz de identificar e diferenciar os impactos ambientais críticos, de uma forma simples e rápida, possibilitando que os projetistas se concentrem nos problemas mais importantes. Uma segunda limitação do método reside no fato de que ele foi desenvolvido para ser aplicado em produtos simples, de forma que quando aplicado em produtos mais complexos não apresenta resultados tão satisfatórios, uma vez que a rede interna de ligações e dependências existentes nos produtos complexos, demanda níveis mais elevados de escolhas e *trade-offs*. Também Ryan (1996) apresenta as limitações do LCA como sendo a grande demanda de tempo necessária, a sua complexidade na realização das análises de inventário e impacto, e na tradução destes em ações, bem como no fato de apresentar como resultado escores discretos de impactos ambientais difíceis de interpretar. O'Connor & Blythe (1997) citam os custos elevados envolvidos, o tempo necessário, o trabalho intenso, a não disponibilidade de dados, e a falha em avaliar outros pontos do projeto como funcionalidade, confiabilidade e segurança.

Devido a estes problemas, Lewis (1996) apresenta outras metodologias de LCA, cuja escolha esta intimamente ligada com o objetivo do estudo a ser realizado, bem como com o tipo de resultado esperado. Existem basicamente quatro formas de LCA:

- Revisão do ciclo de vida;
- Matriz de LCA;
- LCA simplificado;
- LCA quantitativo convencional.

A revisão do ciclo de vida consiste na construção de um simples diagrama de fluxo que mostra as entradas e saídas principais do ciclo de vida do produto. A construção deste diagrama pode prover muitas informações qualitativas sobre os pontos que devem ser endereçados em uma estratégia ambiental. Obviamente a qualidade do resultado não será a mesma que com uma avaliação quantitativa. Tudo é uma questão de tempo e recurso disponíveis.

A matriz de LCA, que vem sendo largamente utilizada pela AT&T nos EUA e também é apresentada por Graedel & Allenby (1995), é uma matriz qualitativa simples, utilizada pelos times de projeto para identificar áreas de melhoria nos produtos. A matriz é construída com as preocupações ambientais nas colunas e os estágios do ciclo de vida nas linhas, como pode ser visto no Quadro 4. Cada elemento da matriz consiste em uma nota de 0 (maior impacto) a 4 (menor impacto), avaliada a partir de um questionário específico para cada elemento. O objetivo é identificar áreas problemáticas e opções de projeto que possam melhorar o desempenho ambiental do produto como um todo. Este método baseia-se em julgamento profissional, não sendo necessária a extensa coleta de dados do LCA convencional. A avaliação pode ser realizada através de pesquisa entre os profissionais envolvidos no projeto e manufatura.

Quadro 4: Matriz de Melhoria dos Produtos da AT&T (Lewis,1996)

Estágio do Ciclo de Vida	Preocupações Ambientais				
	Escolha do Material	Uso de Energia	Resíduos Sólidos	Resíduos Líquidos	Resíduos Gasosos
Extração					
Manufatura					
Embalagem e Transporte					
Uso					
Reutilização, reciclagem ou deposição					

O LCA simplificado consiste em um método que não requer necessariamente a coleta de dados de todas as entradas e saídas em todos os estágios do ciclo de vida. Existem muitas maneiras diferentes de simplificar um LCA. Uma delas pode ser a concentração pontos particulares que são importantes no ciclo de vida de um

produto, como por exemplo o consumo de energia durante o uso. Mesmo assim uma perspectiva de ciclo de vida deve ser mantida, e os outros estágios podem ser considerados qualitativamente, ou através de dados de um LCA já publicado. Outra forma seria a coleta de dados apenas para o estágio de manufatura, enquanto os outros estágios estariam sendo avaliados através do uso de dados médios provenientes de publicações de setores particulares ou através da utilização de um software que possua estes dados médios.

O LCA quantitativo convencional consiste basicamente no que foi apresentado anteriormente, estando baseado em dados quantitativos, medidas e cálculos.

A cada uma destas formas de LCA estão relacionados recursos e qualidade de dados necessários para a obtenção dos resultados, como mostra a Figura 8:

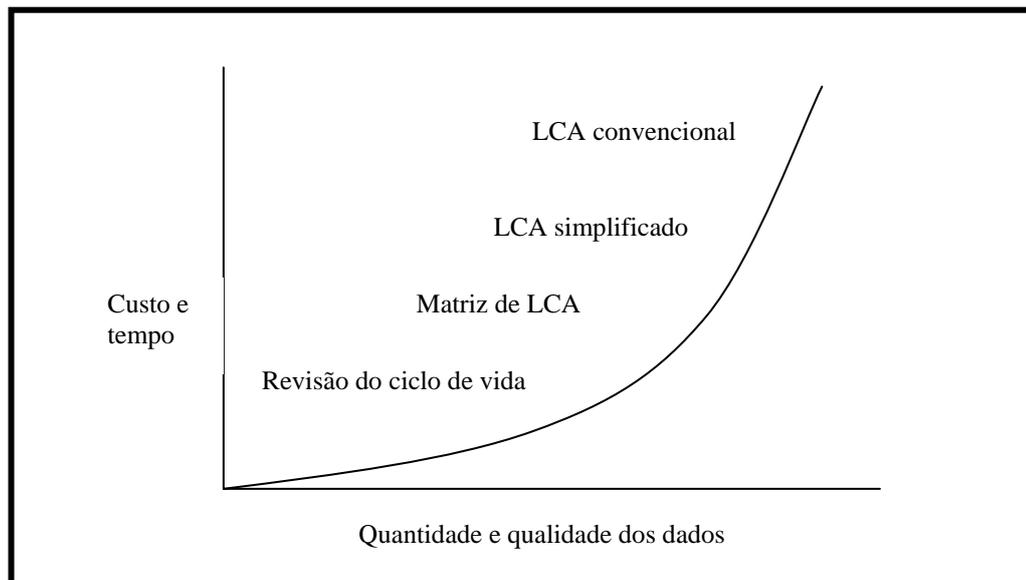


Figura 8: Diferentes formas de LCA (Lewis, 1996)

Hoffmann & Locascio (1997) mencionam o paradoxo de que muitas vezes um LCA requer um conhecimento detalhado do produto numa etapa do seu desenvolvimento em que o produto ainda está pouco detalhado. A Motorola abordou este dilema através do uso de ferramentas que se encaixam em complexidade e rigor numérico com as informações disponíveis em cada etapa do processo de desenvolvimento. Para isto, são sugeridas ferramentas qualitativas para

a etapa de conceituação do produto, e ferramentas mais quantitativas para as etapas seguintes de desenvolvimento do produto, finalizando com um LCA após a construção do protótipo. Esta metodologia é um tanto questionável, uma vez que com o protótipo pronto, pequenas modificações são aceitas no produto. Já na fase de conceituação, todas as possibilidades estão disponíveis. Talvez a maneira mais eficaz de resolver este dilema seja através da realização de um LCA na versão anterior do produto, fazendo uma espécie de engenharia reversa, e endereçando as melhorias na conceituação do novo lançamento que está sendo desenvolvido.

Zhang & Yu (1997) apresentam uma ferramenta de suporte a projeto para o desenvolvimento de computadores pessoais, mas cujo conceito pode ser aplicado em outros produtos. A ferramenta realiza basicamente três avaliações:

- **Materiais:** avalia os diferentes materiais utilizados quanto ao impacto ambiental relacionado, e sugere outras opções. A avaliação e as sugestões são feitas através de um questionário que deve ser respondido;
- **Reciclabilidade:** uma função é responsável por categorizar as peças e módulos do produto dentro dos diferentes métodos de aproveitamento de materiais (reuso, remanufatura, reciclagem primária e secundária, incineração e deposição), gerando um atributo para cada peça/módulo, bem como um atributo geral para o produto;
- **Desmontabilidade:** baseia-se em uma tabela que apresenta as informações de desmontabilidade entre os módulos, dois a dois, através da avaliação dos tipos e complexidade das conexões entre eles. É possível gerar uma árvore de montagem do produto para avaliar a sua desmontagem.

Ishii & Lee (1996) comentam que não é desejável desmontar um produto completamente, chegando aos seus componentes individuais, no final da sua vida útil. Idealmente deseja-se desmontar o mínimo possível, destinando os módulos resultantes para reutilização ou reciclagem. Um plano de final de vida útil otimizado depende de vários fatores como demanda para reuso de subsistemas, compatibilidade de materiais, tecnologias de separação, entre outros. Desta forma eles apresentam uma ferramenta de análise de desmontagem conhecida como Diagrama Espinha-de-peixe Reverso, a ser aplicado durante o estágio de definição do *layout* do produto, quando podem ser identificadas dificuldades e complicações

de desmontagem. Ela promove um planejamento estruturado do processo de desmontagem e separação, possibilitando que se “caminhe” através do processo de desmontagem, identificando as dificuldades e focando nos pontos que envolvem um maior custo, interagindo com a geração de soluções. O diagrama pode caracterizar cada etapa da desmontagem pela sua necessidade de fixação ou apoio, reorientação, direção de remoção, penalidades, métodos de separação, ferramenta necessária, dificuldade de remoção, entre outros. Com este diagrama pronto é possível realizar análises e endereçar melhorias para a desmontabilidade do produto.

Lee & Ishii (1997) desenvolvem uma outra ferramenta chamada de Mapa da Reciclabilidade, constituída por um diagrama que indica a reciclabilidade de um determinado produto e seus módulos constituintes, sobre um determinado processo de reciclagem. O diagrama combina métricas de desmontagem e separação, bem como eficiência de recuperação de materiais, auxiliando os projetistas a melhorar a reciclabilidade global do produto através da seleção apropriada dos materiais e da modularidade. Ele é composto por dois eixos, sendo que um indica o número de materiais diferentes resultantes o processo de desmontagem, dada uma determinada estratégia de final de ciclo de vida, e o outro indica o percentual de sucata resultante deste processo. Cabe lembrar que, em geral, uma quantidade maior de materiais diferentes resultantes do processo de desmontagem indica mais níveis de desmontagem, maior diversidade de materiais e perda da vantagem de escala. Com isso, um determinado produto e seus módulos independentes são posicionados no diagrama, de forma que a elaboração de estratégias para melhorar a reciclabilidade do produto passa a ser uma questão visual.

De acordo com Rose et al. (1998), tanto o Diagrama Espinha-de-peixe Reverso como o Mapa da Reciclabilidade apenas são efetivos quando os projetistas possuem um extenso conhecimento sobre o produto, como por exemplo quando estiverem reprojetoando um produto existente ou realizando engenharia reversa. Estas ferramentas falham no projeto de novos produtos uma vez que a estratégia de final de vida geralmente não é conhecida. Portanto, apenas após a especificação da estratégia de final de vida mais adequada ao tipo de produto é que os projetistas

podem aplicar efetivamente ferramentas de reciclabilidade como o Diagrama Espinha-de-peixe Reverso e o Mapa da Reciclabilidade.

Cabe ressaltar também que o Diagrama Espinha-de-peixe Reverso e o Mapa da Reciclabilidade avaliam apenas a etapa de final de ciclo de vida, esquecendo totalmente as outras etapas.

3. FERRAMENTA PROPOSTA

Neste capítulo serão apresentados os comentários a respeito da ferramenta de avaliação ambiental de produtos desenvolvida pela Carrier dos Estados Unidos, salientando seus pontos positivos e negativos. Em seguida serão discutidas as métricas ambientais propostas para a Springer Carrier. Também será apresentado o método de avaliação ambiental desenvolvido para dar suporte a estas métricas, completando a estruturação da ferramenta de avaliação ambiental. Por fim, serão apontadas as melhorias atingidas com este novo desenvolvimento em comparação à ferramenta americana.

3.1. Comentários sobre a Ferramenta Antiga

Antes da apresentação da ferramenta de avaliação ambiental que foi desenvolvida pelo autor deste trabalho, será feita uma breve descrição da ferramenta desenvolvida há pouco tempo pelo centro de desenvolvimento da Carrier nos Estados Unidos, cuja aplicação prática foi realizada pela primeira vez no Brasil. Os resultados e as experiências presenciadas com a ferramenta desenvolvida nos Estados Unidos serviram de base para o desenvolvimento da nova ferramenta.

A avaliação de um produto com a utilização da ferramenta antiga inicia-se com o preenchimento de um cabeçalho com dados gerais sobre o produto, e prossegue com a desmontagem do mesmo, respondendo a uma série de perguntas em relação a cada peça que vai sendo desmontada. O questionário está em forma matricial e as perguntas estão subdivididas em três grupos:

- a) **Geral;**
- b) **Reciclagem/Reutilização e Identificação de Peças Estratégicas;**
- c) **Desmontagem.**

Como resultado desta avaliação, a ferramenta identifica a quantidade de materiais diferentes utilizados, gera uma lista de peças estratégicas, que são aquelas cujo estudo de desmontabilidade e reciclabilidade deve ser aprofundado, totaliza o tempo necessário para a desmontagem do produto, e calcula o Percentual de Recuperação, ou seja, o percentual de material possível de ser recuperado no final do ciclo de vida. O Percentual de Recuperação é calculado para três estratégias de final de ciclo de vida do produto pré-determinadas pelo software.

A seguir, para cada peça estratégica devem ser listados os materiais que compõem a peça e os custos envolvidos no processo de reciclagem, bem como os valores de mercado do material virgem e reciclado. Isso permite uma análise da viabilidade econômica da reciclagem. Esta etapa é muito difícil de ser realizada, uma vez que para muitas peças não são conhecidos todos os materiais que as compõem, os custos de reciclagem nem sempre são simples de serem quantificados, além do fato de ainda não termos, no Brasil, um mercado de materiais não metálicos reciclados a partir de produtos no final do ciclo de vida, dificultando a pesquisa de seus valores de mercado. Além disso, esta análise de viabilidade econômica faz-se necessária quando estes produtos estiverem no final do seu ciclo de vida, momento em que esta realidade estará muito diferente.

Como forma de gerar subsídios para o desenvolvimento da nova ferramenta, identificaram-se os pontos positivos e negativos da ferramenta antiga, conforme apresentado a seguir.

Pontos positivos:

- a) avaliação feita em forma de questionário, respostas passo a passo;
- b) rápida totalização e avaliação dos resultados;

Pontos Negativos:

- a) necessidade do conhecimento de muitos dados que não estão disponíveis, tornando a avaliação extremamente demorada e cansativa, e gerando um resultado que estará desatualizado quando da sua real necessidade;
- b) preocupação centrada na etapa de final do ciclo de vida, desvalorizando as outras etapas;
- c) a ferramenta não cria uma estruturação virtual do produto, que mostraria as conexões entre as peças, capaz de ajudar os projetistas na simplificação da desmontagem;
- d) não existe uma estruturação de métricas ambientais com a abrangência de todas as etapas do ciclo de vida do produto, que possibilite uma comparação consistente entre os produtos avaliados;

3.2. Conjunto de Métricas Ambientais Propostas

Tendo em vista o que foi discutido na seção anterior, fica evidente que o desenvolvimento de uma nova ferramenta deve iniciar pela definição de métricas ambientais claras. Então, apoiado em um conjunto de métricas, é possível estabelecer uma metodologia de avaliação ambiental, capaz de prover as informações necessárias para a tomada de decisão nas etapas de desenvolvimento do produto.

Desta forma, foi feita uma revisão bibliográfica englobando Brinkley *et al.* (1997), Shiovitz & Craig (1997), Hoffmann & Locascio (1997), Sasaki, Kawahara & Yanagitani (1997) e a Brochura da Carrier (1999), procurando realizar um *benchmarking* de métricas ambientais, e, após muitas avaliações, eliminação de duplicidades e simplificações, chegou-se ao conjunto de métricas apresentado no Quadro 5.

Como pode-se observar no Quadro 5, as métricas estão organizadas em níveis primário, secundário e terciário, de forma a facilitar o seu entendimento. A seguir são apresentados propósitos de cada métrica ambiental terciária selecionada:

- a) **Tempo Total de Desmontagem:** tem o propósito de contabilizar o tempo gasto no processo de desmontagem e separação do produto, estando diretamente ligada com

a viabilidade econômica do processo de reciclagem no final do ciclo de vida do produto;

- b) **Número de peças a desmontar:** destina-se a contabilizar a quantidade de peças que devem ser desmontadas para obter os materiais separados e efetuar a reciclagem dos mesmos. Tem o objetivo de valorizar produtos com menor variedade de materiais e, por consequência, com menor quantidade de peças a serem desmontadas.

Quadro 5: Conjunto de métricas ambientais selecionadas

Primárias	Secundárias	Ternárias
Reciclabilidade	Desmontabilidade	Tempo Total de Desmontagem
		Nº de peças a desmontar
		Nº de ferramentas diferentes utilizadas
	Separabilidade	Nº de materiais diferentes utilizados
		Nº de materiais plásticos diferentes usados
		Percent de peças plásticas codificadas
	Reciclabilidade	Percentual de Recuperação
		Nº de peças com contaminantes
Eficiência Recursos	Energéticos	Eficiência Energética (EER)
	Materiais	Percentual de materiais plásticos reciclados utilizados
		Dimensão do produto
		Massa do Produto
	Resíduos	Percentual da embalagem reciclável
Nocividade	Materiais Nocivos	Massa das peças desmontadas para deposição segura
	Degradadores do Ozônio	Tipo de gás refrigerante utilizado
		Quantidade de gás refrigerante usado

- c) **Número de ferramentas diferentes utilizadas:** tem por objetivo valorizar produtos que tenham seus métodos de fixação padronizados, exigindo uma menor variedade de ferramental para o processo de desmontagem;
- d) **Número de materiais diferentes utilizados:** tem o objetivo de valorizar produtos com menor variedade de materiais, melhorando a viabilidade econômica da reciclagem através do ganho por escala;
- e) **Número de materiais plásticos diferentes utilizados:** tem o objetivo de valorizar produtos com menor variedade de materiais plásticos, melhorando a viabilidade econômica da reciclagem através do ganho por escala;
- f) **Percentual de peças plásticas codificadas:** tem o propósito de verificar a preocupação em codificar as peças plásticas de acordo com a norma ISO 11469, o que facilita a classificação e separação das peças plásticas para fins de reciclagem no final do ciclo de vida;
- g) **Percentual de Recuperação:** tem o intuito de avaliar o percentual do produto em massa possível de ser recuperado no final da vida útil do mesmo;
- h) **Número de peças com contaminantes:** contabiliza a quantidade de peças que apresentam algum material ou substância que dificulte o processo de reciclagem, necessitando ser removida;
- i) **Eficiência Energética (EER):** avalia a eficiência na utilização de energia elétrica, o que representa uma economia a ser aproveitada durante todo o período de utilização do produto;
- j) **Percentual de materiais plásticos reciclados utilizados:** procura valorizar produtos que possuem, na composição de seus componentes plásticos, materiais reciclados;
- k) **Dimensão do produto:** tem o propósito de valorizar produtos com menor tamanho, que utilizam menos recursos para executar a função, e apresentam um processo de distribuição mais eficiente, já que ocupam menos espaço físico;

- l) **Massa do Produto:** da mesma forma, procura valorizar produtos com menor massa, que utilizam menos recursos para executar a função, e apresentam um processo de distribuição com menor consumo energético;
- m) **Percentual da embalagem reciclável:** avalia o percentual em massa da embalagem passível de ser reciclada;
- n) **Massa das peças desmontadas para deposição segura:** contabiliza a massa total de peças que possuem algum tipo de substância nociva e serão destinados à deposição;
- o) **Tipo de gás refrigerante utilizado:** se propõe a valorizar produtos que utilizam os chamados “gases ecológicos”, ou HFC’s;
- p) **Quantidade de gás refrigerante utilizado:** valoriza os produtos que utilizam uma menor quantidade de gás refrigerante na execução da função.

A Tabela 5 apresenta a relação entre as métricas ambientais selecionadas e os estágios do ciclo de vida do produto, mostrando que a seleção que foi realizada procurou utilizar métricas que abrangessem todas as etapas pelas quais um produto atravessa. Esta estratégia é essencial, já que as alterações e decisões tomadas para melhorar o produto em um dos quesitos poderão prejudicá-lo em outros. Caso as avaliações realizadas não abrangessem todos os estágios do ciclo de vida, as decisões poderiam acabar prejudicando o desempenho ambiental global do produto.

Tabela 5: Relação entre as métricas ambientais e os estágios do ciclo de vida

Métrica	Melhoria	Materiais	Fabricação	Transporte	Uso	Final ciclo
Tempo total de desmontagem	↓					X
N de peças a desmontar	↓					X
Nº de ferramentas diferentes utilizadas	↓					X
Nº de materiais diferentes no produto	↓	X				X
Nº de materiais plásticos dif. no produto	↓	X				X
Percentual de peças plásticas codificadas	↑					X
Percentual de Recuperação	↑					X
Nº peças com contaminantes	↓		X			X
Eficiência Energética (EER)	↑				X	
Percent de mat plásticos reciclados	↑	X	X			
Dimensão do produto	↓	X	X	X	X	X
Massa do produto	↓	X	X	X	X	X
Percentual da embalagem reciclável	↑				X	X
Massa peças desmont p/ deposição segura	↓	X				X
Tipo de gás refrigerante utilizado	HFC	X				X
Quantidade de gás refrigerante utilizado	↓		X			X

X representa uma métrica relevante

Estas métricas foram organizadas em uma planilha, como mostra a Figura 9:

						Avaliação		Objetivos		Escore	
M. Primárias	M. Secundárias	Métricas Ternárias	Unid.	Melhoria	Peso	Atual	Novo	Bom	Ruim	Atual	Novo
Reciclabilidade											
	Desmontabilidade	Tempo total de desmontagem	min	Menos							
		N de peças a desmontar	quant.	Menos							
		Nº de ferramentas diferentes utilizadas	quant.	Menos							
	Separabilidade	Nº de materiais diferentes no produto	quant.	Menos							
		Nº de materiais plásticos diferentes no produto	quant.	Menos							
		Percentual de peças plásticas codificadas	%	Mais							
	Reciclabilidade	Percentual de Recuperação	%	Mais							
		Nº peças com contaminantes	quant.	Menos							
Total											
Efic. de Recursos											
	Energéticos	Eficiência Energética (EER)	Btu/h/W	Mais							
	Materiais	Percentual de plástico reciclado utilizado	%	Mais							
		Dimensão do produto	m3	Menos							
		Massa do produto	kg	Menos							
	Resíduos	Percentual da embalagem reciclável	%	Mais							
Total											
Nocividade											
	Materiais Nocivos	Massa de peças desmont. p/ deposição segura	kg	Menos							
	Degradadores do Ozônio	Tipo de gás refrigerante utilizado	tipo	Tipo							
		Quantidade de gás refrigerante utilizado	kg	Menos							
Total											
Total Geral											

Figura 9: Planilha de Métricas Ambientais da Springer Carrier

Para cada métrica, a planilha apresenta os seguintes dados:

- a) a unidade de medida dos dados;
- b) a evolução desejada, ou seja, o sentido de melhoria;
- c) um peso para cada métrica ternária, totalizando 100 em cada métrica primária, e um peso para cada métrica primária com o objetivo de obter um resultado global. Estes pesos devem ser determinados pelos avaliadores para cada linha de produto;
- d) duas colunas que apresentam os resultados relativos ao produto atual e ao produto novo, calculados automaticamente a partir de duas planilhas de avaliação, que serão apresentadas na seção 3.3.. A relação entre a planilha de métricas ambientais e as planilhas de avaliação ambiental será apresentada na seção 3.4.;
- e) os objetivos “bom” e “ruim”, limites da faixa de aceitação. Estes objetivos também devem ser determinados pelo grupo de avaliação para cada linha de produto;

- f) os escores normalizados calculados automaticamente, tanto para o produto atual como para o novo desenvolvimento, com um sinalizador que indica se o produto está numa posição boa (verde), média (amarelo) ou ruim (vermelho).

Portanto, a intenção é que a Planilha de Métricas Ambientais disponibilize os resultados obtidos para o produto atual e para o produto novo. Estes resultados são computados a partir do preenchimento de duas Planilhas de Avaliação Ambiental, uma relativa ao produto atual e outra ao produto novo. O produto atual deve ser avaliado durante a fase de conceituação do novo desenvolvimento, utilizando-o como *benchmark* para a geração de idéias. A avaliação do produto novo será realizada quando este já estiver totalmente definido, como forma de verificar a aplicação das idéias levantadas na fase de conceituação.

A sistemática de cálculo inicia-se com a normalização dos dados provenientes das planilhas de avaliação ambiental, resultando um valor entre 0 e 1 de acordo com a posição relativa do dado em relação aos objetivos “bom” e “ruim” definidos pela equipe. A conversão dos dados para o intervalo de 0 a 1 segue um modelo linear dentro destes limites, com exceção da métrica relativa ao tipo de gás refrigerante, o que será comentado logo em seguida. Os pontos que estiverem fora destes limites serão normalizados com 0 ou 1, dependendo se estiverem além do valor “ruim” ou além do valor “bom”, respectivamente. Escolheu-se este tipo de truncamento para evitar que alguma das métricas fosse super-valorizada, prejudicando a comparação entre os resultados. A métrica relativa ao tipo de gás refrigerante não é normalizada através de uma função linear, uma vez que os efeitos gerados por estes diferentes gases não tem um comportamento linear. Desta forma, para fins de utilização no estudo de caso, a normalização estabelecida foi a seguinte: HFC – 1,0; HCFC – 0,7 e outros – 0,2.

Após concluída a normalização é feita uma média ponderada destes valores normalizados, utilizando como ponderadores os pesos definidos para cada métrica ternária. Esses pesos devem somar 100 para cada métrica primária. O mesmo tipo de distribuição de pesos também é feito para as métricas primárias, resultando um Indicador Ambiental Global para o produto atual e para o novo desenvolvimento.

Esta sistemática de cálculo é influenciada pelos valores definidos para os objetivos “bom” e “ruim”. O resultado da normalização dos dados provenientes das planilhas de avaliação está diretamente relacionada com os valores definidos para esses objetivos, uma vez que esta operação é realizada através de uma curva linear que inicia em 0 no objetivo ruim e termina em 1 no objetivo bom, conforme a Figura 10.

Cabe salientar que a maioria das métricas se comporta segundo o lógica de “maior é melhor” ou “menor é melhor”. Nesse caso, é importante que a definição dos objetivos “bom” esteja relacionada com um limite legal, um *benchmark* ou uma melhoria desafiadora, que mobilize a equipe de desenvolvimento no sentido de atingir esse limite. Da mesma forma, a definição dos objetivos “ruim” deve ser feita com cuidado. Esse limite deve ser estabelecido tendo em vista os concorrentes mais fracos ou algum desempenho insatisfatório observado em desenvolvimentos anteriores.

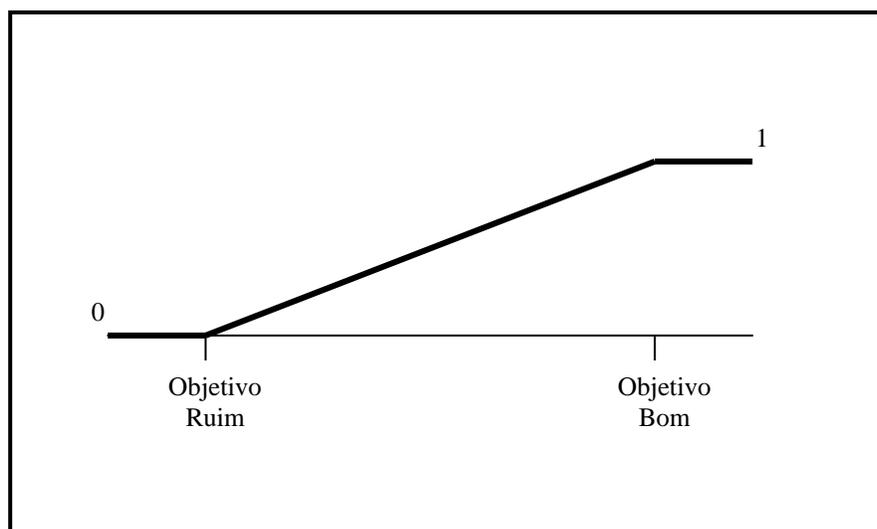


Figura 10: Curva de normalização dos dados

Vale dizer que, dado o estado incipiente do desenvolvimento e estudo do Dfe tanto na Springer Carrier como a nível mundial, além da inexistência de *benchmarks* e limites definidos, as métricas tem por objetivo maior proporcionar uma comparação entre produtos e atentar os projetistas para as áreas com potencial de melhoria. A ferramenta não deve ser usada para classificar os produtos em faixas estanques, rotulando-os com notas.

3.3. Método de Avaliação Ambiental Proposto

Para que o conjunto de métricas apresentadas seja utilizado de forma coerente, e para que seja possível realizar comparações entre avaliações realizadas por diferentes grupos avaliadores, é necessário o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação ambiental consistente, que seja robusta o suficiente para suportar estas variações.

Para isto, foi desenvolvida uma planilha de preenchimento composta por uma quantidade razoavelmente grande de campos, mas de fácil avaliação e preenchimento, deixando para o computador realizar as interpolações necessárias para traduzir as respostas simples nos dados usados na avaliação das métricas. Desta forma, obteve-se como resultado uma planilha simples de ser utilizada, bem como protegida contra as ambigüidades de interpretação.

A planilha deve ser preenchida ao longo do processo de desmontagem do produto. O preenchimento inicia-se com um cabeçalho de informações gerais sobre o produto, e prossegue com uma planilha onde cada linha representa um componente ou submontagem que é desmontado, enquanto que as colunas são as diferentes perguntas que devem ser respondidas. Estas perguntas estão divididas em quatro grandes grupos:

- a) **Geral:** perguntas relacionadas com a nomenclatura do componente, sua massa e tipo de material da qual ela é constituída;

Geral						
Item #	Submontagem	Peça	Quant.	Massa Total	Material	
				[kg]	Tipo	Grupo

Figura 11: Grupo Geral

- b) **Separabilidade/Reciclabilidade:** perguntas relacionadas com a facilidade de separação, utilização de material reciclado, existência de contaminantes ou substâncias nocivas e estratégia de final de ciclo de vida;

Separabilidade/Reciclabilidade							
Caso for plástico, tem codificação?	Caso for plástico, percentual de material reciclado	Possui contaminantes		Possui Subst Perigosa		Reutilização/ Reciclagem/ Deposição	Percentual de Recuperação
S/N	[%]	S/N	Qual?	S/NS/N	Qual?		[%]

Figura 12: Grupo Separabilidade/Reciclabilidade

- c) **Desmontabilidade:** perguntas relacionadas com a estratégia e hierarquia de desmontagem, dificuldades para a desmontagem e tempo para efetuar as operações;

Desmontabilidade						
Nível de desmontagem em	Peças (item #) de onde é feita a desmontagem	Necessita reorientação	Facilidade de acesso	Ferramenta necessária	Tempo	Tempo Total
		1/1.5/2	1/1.5/2		[s]	[s]

Figura 13: Grupo Desmontabilidade

- d) **Descrição/Comentários e Idéias:** Espaço para registrar as peculiaridades da operação, bem como comentar e elaborar idéias de melhoria.

Descrição/Comentários e Idéias	
Descrição da Operação	Comentários e Idéias

Figura 14: Grupo Descrição/Comentários e Idéias

As informações colocadas na planilha de preenchimento são utilizadas na avaliação das diferentes métricas ambientais, o que será apresentado em maiores detalhes na seção 3.4.. Como já foi comentado, a Ferramenta de Avaliação Ambiental possui duas Planilhas de Avaliação Ambiental, uma para o produto atual, a ser utilizada na fase de conceituação do novo desenvolvimento, e outra para o produto novo, a ser utilizada quando este já estiver definido, com o intuito de avaliar os avanços atingidos.

A seguir são listadas as colunas que compõem a planilha de avaliação ambiental, e comentadas as peculiaridades e implicações de cada uma delas:

- a) **Item#:** Numeração seqüencial que já está preenchida, e tem como função identificar cada componente ou submontagem que é desmontado;
- b) **Submontagem:** Nome da submontagem com a qual se está trabalhando;
- c) **Peça:** Nome do componente que está sendo desmontada. Caso esteja-se desmontando uma submontagem, esta coluna não deve ser preenchida;
- d) **Quant.:** Quantidade de componentes com o nome em questão, que estão sendo desmontadas. Não preencher em caso de submontagens;
- e) **Massa Total:** Massa total dos componentes que estão sendo desmontados, em kg. Não preencher em caso de submontagens;
- f) **Material - Tipo:** Tipo de material que compõe ou predomina no componente em questão. No caso de plásticos, utilizar a sigla do plástico (ex.: ABS, PP,...), no caso de componentes com uma grande variedade de materiais, utilizar o nome do componente (ex.: compressor, motor, termostato, chave seletora, capacitor, ...). Não preencher em caso de submontagens;
- g) **Material - Grupo:** Grupo ao qual pertence o material da coluna anterior. Grupos freqüentemente utilizados são: Termoplásticos, Orgânicos, Metálicos, Gás Refrigerante, Eletro/Eletrônicos, etc. Não preencher em caso de submontagens;
- h) **Codificação:** No caso de material plástico, o componente apresenta ou não uma marca de identificação do tipo de resina, conforme norma ISO 11469. Não preencher em caso de submontagens ou componentes não plásticos;

- i) **Percentual de Material Reciclado:** Percentual em massa de material reciclado, utilizado na fabricação do componente, caso ele for plástico. Não preencher em caso de submontagens ou componentes não plásticos;
- j) **Possui contaminantes:** Identificar quais os componentes que apresentam contaminantes, identificando o tipo de contaminante. Entende-se por contaminante qualquer substância ou peça que dificulte ou impossibilite o processo de reciclagem, a menos que seja retirada (ex.: etiquetas, insertos, pinturas, cromagem, etc.). No caso de um componente remanescente, ou seja, aquele que sobra no final da desmontagem, indicar o contaminante que apresentava no início do processo, se for o caso. Não preencher em caso de submontagens;
- k) **Possui substância perigosa:** Identificar quais os componentes que possuem substâncias perigosas ou danosas, identificando o tipo de substância. Entende-se por substância perigosa aquelas que compõem a lista de materiais a serem evitados. Não preencher em caso de submontagens;
- l) **Reutilização/Reciclagem/Deposição:** Definir qual a estratégia de final do ciclo de vida relacionada com o componente em questão, tendo como base as avaliações de contaminantes e substâncias perigosas realizadas previamente. Não preencher em caso de submontagens;
- m) **Percentual de Recuperação:** Percentual de recuperação de material em massa. Está diretamente relacionado com a estratégia do final do ciclo de vida. Não preencher em caso de submontagens;
- n) **Nível de desmontagem:** Numeração da seqüência de desmontagem, orientando e hierarquizando o processo de desmontagem. A ser utilizado na confecção do Diagrama Espinha-de-Peixe Reverso;
- o) **Peça (item#) de onde é feita a desmontagem:** Item# da submontagem ou componente de onde está sendo desmontado o componente em questão. Em caso de se tratar do aparelho, indicar com “produto”, já que ele não possui um item# específico;
- p) **Necessita reorientação:** Avaliação da necessidade de reorientação da submontagem de onde é feita a desmontagem, de acordo com os seguintes

critérios: 1 - sem reorientação; 1,5 – reorientação simples; 2 – reorientação complicada. Não preencher em caso de componente remanescente, ou seja, aquele componente que sobra no final do processo de desmontagem;

- q) **Facilidade de acesso:** Avaliação da dificuldade de acesso para a remoção do componente ou submontagem, segundo os seguintes critérios: 1 – acesso fácil; 1.5 – acesso médio; 2 acesso difícil. Não preencher em caso de componente remanescente;
- r) **Ferramenta necessária:** Mencionar, se for o caso, a ferramenta necessária para realizar a operação de desmontagem. Não preencher em caso de componente remanescente;
- s) **Tempo:** Tempo padrão para a realização das operações de desmontagem, em segundos. Não preencher em caso de componente remanescente;
- t) **Tempo Total:** Coluna preenchida automaticamente em segundos, considerando o tempo padrão colocado, bem como penalidades as quais cada peça está sujeita, de acordo com a necessidade de reorientação, facilidade de acesso e necessidade de uso de ferramental;
- u) **Descrição da Operação:** Breve descrição da operação com o propósito de manter um histórico do processo de desmontagem utilizado;
- v) **Comentários e Idéias:** Registro de comentários e idéias para melhorar o produto sob algum aspecto ambiental.

3.4. Relacionamentos entre a Planilha de Métricas Ambientais e as Planilhas de Avaliação Ambiental

São as planilhas de avaliação ambiental dos produtos que fornecem as informações necessárias para que a planilha de métricas ambientais calcule o resultado de cada métrica, relativa a cada um dos produtos que estão sendo avaliados, e realize a posterior normalização dos mesmos.

Cada métrica ternária extrai dados de diferentes grupos de perguntas e colunas das planilhas de avaliação ambiental, como pode ser visto no Quadro 6:

Quadro 6: Relação entre as planilhas de métricas e de avaliação ambiental

Métricas		Procedência dos dados nas tabelas de avaliação		
Reciclabilidade	Tempo total desmontagem	Tempo total (4)		
	Nº peças a desmontar	Peça (2)		
	Nº ferramentas usadas	Ferramenta necess. (4)		
	Nº materiais diferentes	Tipo de material (2)		
	Nº mat. plásticos diferentes	Tipo de material (2)		
	Percent peças codificadas	Massa total (2)	Grupo do material (2)	Codificação (3)
	Percentual de Recuperação	Massa total (2)	Percent. Recuperação (3)	Massa produto (1)
	Nº peças c/ contaminantes	Contaminantes (3)		
Eficiência Recursos	Eficiência energética	EER (1)		
	Percent mat reciclados	Massa total (2)	Grupo do material (2)	Percent mat. Reciclado (3)
	Dimensão do produto	Dimensões (1)		
	Massa do produto	Massa do produto (1)		
Nocividade	Percent. Embalagem recicl.	Percent. emb. recicl. (1)		
	Massa deposição segura	Substância perigosa (3)	Reutiliz/Recicl/Depos. (3)	
	Tipo de refrigerante	Tipo de refrigerante (1)		
	Quatidade de refrigerante	Quant. De refrigerante (1)		

Leg.: (1) Cabeçalho
 (2) Planilha Geral
 (3) Planilha Separabilidade/Reciclabilidade
 (4) Planilha Desmontabilidade

3.5. Melhorias alcançadas

Com o desenvolvimento desta nova ferramenta de avaliação ambiental, além de serem mantidos os pontos positivos, conseguiu-se atingir muitas melhorias em relação à ferramenta antiga. O Quadro 7 faz um comparativo entre as duas ferramentas. Com uma rápida análise do Quadro 7 verifica-se que os pontos positivos, como a forma de questionário matricial, foram mantidos. Além disso, os pontos negativos foram corrigidos, como a não disponibilidade ou dificuldade de acesso aos dados necessários, a abrangência restrita das métricas ambientais na etapa do final do ciclo de vida do produto, a carência de uma integração maior entre as métricas ambientais para gerar um resultado global para o produto e a necessidade de uma visualização da estrutura do produto e do seu processo de desmontagem.

Quadro 7: Comparação entre a Ferramenta Antiga e a Ferramenta Proposta

Ferramenta Antiga	Ferramenta Proposta
Forma de questionário matricial	Forma de questionário matricial
Necessidade de dados de difícil acesso	Dados necessários estão disponíveis
Preocupação centrada na etapa de final do ciclo de vida do produto	Abrangência de todas etapas do ciclo de vida do produto
Disponibiliza algumas métricas ambientais de forma individual	Apresenta um conjunto de métricas ambientais de forma integrada, gerando uma avaliação global do produto
Não oferece o Diagrama Espinha-de-peixe Reverso	Possibilita a visualização do processo de desmontagem através do Diagrama Espinha-de-peixe Reverso

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso realizado. A apresentação inclui a justificativa referente a escolha do produto, a discussão sobre a estratégia de final de vida útil escolhida, a definição dos objetivos "bom" e "ruim" para as métricas ambientais, a forma como foi realizada a avaliação dos produtos e a discussão dos resultados. Segue-se com as melhorias geradas para o desenvolvimento da nova linha e, por fim, comentários sobre o uso da ferramenta desenvolvida.

4.1. Produtos WRAC 105 e 106

Inicialmente, é interessante justificar a escolha desta classe de produtos no estudo do Dfe. A sigla WRAC significa em inglês *Window Room Air Conditioning*, conhecida no Brasil por Condicionador de Ar de Parede. Esta escolha se justifica por diversos motivos, dentre os quais podemos citar o fato de ser a classe de aparelhos que possui a maior fatia do mercado nacional em condicionamento de ar, sendo, por consequência, o tipo de produto mais produzido pela Springer Carrier. Além disso, a Springer recentemente tornou-se o “Centro de Desenvolvimento Global de Plataforma” para aparelhos de parede dentro da Carrier, e está iniciando o desenvolvimento de uma plataforma global, que servirá de base para todo o mercado mundial.

Este produto está destinado principalmente ao mercado residencial, abrangendo também parte do mercado comercial. As siglas 105 e 106 denominam as linhas as quais os produtos pertencem. A linha 105 é mais antiga, sendo produzida há 8 anos,

enquanto que a linha 106 é a linha atual da Springer Carrier, sendo produzida há 3 anos. As Figuras 15 e 16 mostram os dois modelos:



Figura 15: Modelos 106



Figura 16: Modelos 105

Estes produtos, embora diferenciem-se em muitos pontos, possuem estruturas similares. São compostos basicamente por seis subconjuntos:

- a) **Frente plástica:** realiza a função estética do aparelho, bem como o retorno e insuflamento de ar, e permite o acesso aos comandos do aparelho;
- b) **Fechamento:** responsável pelo enclausuramento de todos os componentes do aparelho;
- c) **Sistema de Ventilação:** responsável pela movimentação do ar nos dois trocadores de calor que compõem o aparelho;
- d) **Caixa de Controle:** módulo que possui todos os componentes que realizam a função de comando e controle do aparelho;
- e) **Sistema de Refrigeração:** realiza as funções de troca térmica, englobando todos os componentes envolvidos com o circuito do gás refrigerante;
- f) **Base:** responsável pela estruturação do aparelho e pela fixação de grande parte de seus componentes.

O lançamento da linha 05 teve como objetivos principais (i) disponibilizar ao mercado um aparelho com descarga de ar lateral, já que a Springer ainda não possuía esta opção, e (ii) uma redução de custo em torno de 10% em relação ao seu antecessor. Ambos os objetivos foram alcançados.

Dentre as evoluções tecnológicas atingidas com o desenvolvimento da linha 06 podemos citar a redução do tamanho do aparelho, a redução do ruído, a incorporação de uma quantidade maior de materiais plásticos em substituição aos materiais metálicos, almejando uma maior resistência à corrosão, aumentando a durabilidade do aparelho principalmente em regiões costeiras, menor peso, menor custo, tornando-o um novo *benchmark*. O gráfico da Figura 17 apresenta um comparativo entre a composição material dos dois modelos, onde pode-se observar o aumento do uso de materiais plásticos em substituição aos metálicos na linha 106.

Cabe lembrar que durante o desenvolvimento das linhas 105 e 106 não foram levadas em consideração as questões ambientais levantadas no desenvolvimento deste trabalho. Isto deve-se ao fato de que estas considerações não foram levantadas

durante as pesquisas de mercado realizadas para estas linhas. Não possuímos informações sobre o procedimento realizado nestas pesquisas. O que deve ser observado é que esta necessidade não surgiu espontaneamente durante as pesquisas e nem foi feito um questionamento direto sobre a necessidade destas características.

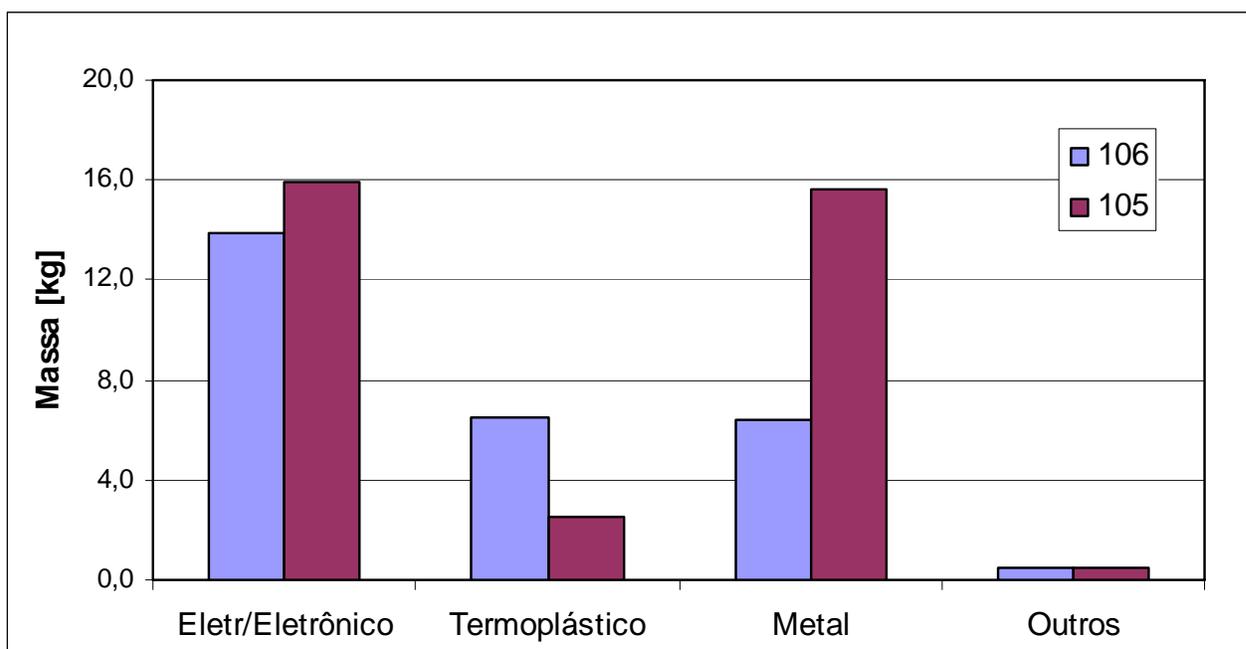


Figura 17: Comparativo da composição material entre 105 e 106

4.2. Estratégia de Final de Ciclo de Vida

Vários autores, entre os quais podemos citar Ishii & Lee (1996) e Rose *et al.* (1998), salientam a necessidade da definição de uma estratégia de final de ciclo de vida antes da realização de uma avaliação ambiental de um produto. Isto se deve ao fato de que a estratégia escolhida influenciará fortemente a escolha das peças que devem ser desmontadas e os cuidados que deverão ser tomados, o que afetará o resultado da avaliação, além de gerar diferentes soluções de projeto. O plano de desmontagem irá

dependem da demanda de reutilização dos subsistemas do produto, da compatibilidade dos materiais e das tecnologias de separação e reciclagem disponíveis.

Rose *et al.* (1998) sugerem uma categorização baseada em duas características:

- a) **Tempo de Vida:** o período de tempo desde a compra do produto até o momento em que ele não realiza mais as funções originais. Como exemplo podemos citar 10-15 anos para a maioria dos automóveis, 7-10 anos para computadores;
- b) **Ciclo Tecnológico:** o período de tempo em que o produto estará na vanguarda tecnológica, até que uma nova tecnologia o torne obsoleto e menos desejado. Como exemplo podemos citar 10-20 anos para automóveis e 6 meses a 1 ano para computadores.

Em função destas características cada produto possui uma estratégia de final de ciclo de vida razoavelmente pré-definida, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Proposta de Categorização de Estratégias de Final de Ciclo de Vida

Tempo de Vida	Ciclo Tecnológico	Estratégia
curto	longo	reciclagem dos materiais
curto	curto	reutilização de componentes e peças
longo	curto	remanufatura de componentes e peças
longo	longo	reciclagem dos materiais

Cabe salientar que, como pode ser visto na Tabela 6, existe uma relação entre reutilização e remanufatura de componentes e um produto com ciclo tecnológico curto, independentemente do tempo de vida do produto. Da mesma forma, ciclos tecnológicos longos sugerem um foco maior na reciclagem de materiais.

Rose *et al.* (1998) apresentam estudo de caso em diversos tipos de produtos, dentre os quais mostram-se interessantes os resultados de dois eletrodomésticos: uma máquina de lavar e um aspirador de pó. Estes produtos possuem um tempo de vida razoavelmente extenso, com ciclos tecnológicos também extensos, porém mais curtos

que o tempo de vida, características similares às apresentadas por condicionadores de ar de parede. Por consequência desta classificação, a estratégia escolhida é baseada unicamente na reciclagem de materiais.

No caso de condicionadores de ar, decidiu-se por uma estratégia um pouco mais eficiente e desafiadora. A estratégia escolhida consiste basicamente na reciclagem dos materiais plásticos e metálicos, retirando os contaminantes nos casos onde estes prejudicarem o processo de reciclagem, deposição das peças para cujo material não existe tecnologia de reciclagem instalada no Brasil e onde a existência de contaminantes torna o processo de reciclagem pouco atrativa, e reutilização das peças com maior valor agregado, que seriam o compressor e o motor dos ventiladores, para serem utilizadas no mercado de manutenção.

A escolha da estratégia de reutilização do compressor e motor simboliza uma intenção de tornar a recuperação dos recursos mais eficientes, já que a reutilização é muito mais atrativa, em termos ambientais, do que a reciclagem dos materiais. Para o processo de desmontagem esta escolha não gera grandes modificações, uma vez que, caso a reciclagem fosse a estratégia escolhida, estas peças deveriam ser desmontadas e recicladas separadamente, já que a grande quantidade de cobre que apresentam contaminaria a massa metálica resultante, gerando uma liga de baixo valor comercial. Isto somente seria evitado através de um processo de moagem com posterior separação, tecnologia que ainda é pouco difundida no Brasil. Por outro lado, esta escolha possui grande influência no cálculo do Percentual de Recuperação, já que com a reutilização, estes componentes apresentarão um percentual de recuperação de 100%, enquanto que no caso da reciclagem de materiais, devido à grande variedade de materiais dos quais são compostos, este percentual cairia para valores entre 60 e 80%.

4.3. Definição dos Objetivos para as Métricas Ambientais

Conforme foi discutido no capítulo anterior, o resultado final da avaliação das métricas está fortemente influenciado pelos objetivos “bom” e “ruim” definidos para cada uma delas. Mesmo que o objetivo principal desta avaliação seja a comparação entre os

dois produtos, e não a atribuição de uma nota para cada um deles, ainda assim a escolha destes limites deve ser justificado dentro do possível. Procurou-se escolher objetivos desafiadores, estimando um tempo de vida de cinco anos, a fim de ter um período razoavelmente longo com a mesma base de comparação. Desta forma, apresenta-se no Quadro 8 a relação dos objetivos escolhidos, e segue-se com a discussão sobre a escolha dos mesmos.

Quadro 8: Relação dos Objetivos "bom" e "ruim" das Métricas Ambientais

Métrica Ternária	Objetivo "bom"	Objetivo "ruim"
Tempo total de desmontagem	10	20
Nº de peças a desmontar	25	45
Nº de ferramentas diferentes utilizadas	4	7
Nº de materiais diferentes no produto	15	25
Nº de materiais plásticos diferentes	4	9
Percentual de peças plásticas codificadas	100	0
Percentual de Recuperação	90	70
Nº peças com contaminantes	8	20
Eficiência Energética (EER)	10	7
Percent. de mat. plásticos reciclados usados	20	5
Dimensão do produto	0,130	0,160
Massa do produto	25	40
Percentual da embalagem reciclável	100	50
Massa peças desmont. P/ deposição segura	0	0,200
Tipo de gás refrigerante utilizado	HFC	HCFC
Quantidade de gás refrigerante utilizado	0,40	0,52

- a) **Tempo Total de Desmontagem:** devido aos fatos de (i) não haver disponibilidade de um *benchmark*, (ii) o tempo ser muito similar nos dois modelos e (iii) terem sido verificadas diversas oportunidades de melhoria durante o processo de

desmontagem, decidiu-se colocar um objetivo "bom" desafiador, com uma redução de 40% no tempo de desmontagem em relação aos modelos atuais, ou seja, 10 minutos. Para o objetivo "ruim" estipulou-se um tempo que seria inaceitável para os padrões atuais dos dois modelos, no caso, 20 minutos;

- b) **Número de peças a desmontar:** após uma breve verificação das oportunidades de melhoria, decidiu-se colocar um objetivo "bom" com redução de 20% da quantidade de peças a desmontar em relação ao melhor dos dois resultados, ficando em 25 peças. Estas oportunidades se concentram principalmente no projeto de peças com materiais similares e na eliminação de contaminantes. Para o objetivo "ruim" considerou-se um aumento em torno de 20% na quantidade de peças a desmontar em relação ao pior dos dois resultados, ou seja, 45 peças;
- c) **Número de ferramentas diferentes utilizadas:** considerando que os produtos estudados exigem de 5 (105) a 6 (106) ferramentas diferentes, e avaliando a complexidade de aparelhos de ar condicionado, escolheu-se objetivos considerados razoáveis para esta métrica, ficando com um objetivo "bom" de 4 ferramentas e um objetivo "ruim" de 7 ferramentas;
- d) **Número de materiais diferentes utilizados:** escolheu-se o objetivo "bom" tendo em vista as oportunidades de melhoria verificadas no modelo de melhor desempenho (105), que se concentram principalmente na redução da variedade de materiais plásticos utilizados, chegando a um valor de 15 materiais. O objetivo "ruim" foi estabelecido em 25 materiais, o que é considerado inaceitável tendo como referência os dois casos estudados;
- e) **Número de materiais plásticos diferentes utilizados:** da mesma forma que a métrica anterior, a escolha do objetivo "bom" foi feita em função das oportunidades de melhoria no produto que apresentou melhor desempenho (105 - 5 materiais), ficando com 4 materiais plásticos diferentes. Escolheu-se o objetivo "ruim" idêntico ao resultado do produto com pior desempenho (106 - 9 materiais), já que este desempenho foi considerado insatisfatório;

- f) **Percentual de peças plásticas codificadas:** neste caso, deseja-se que o maior número possível de peças apresentem codificação, resultando um objetivo “bom” de 100% e um objetivo "ruim" com 0%;
- g) **Percentual de Recuperação:** colocou-se como objetivo “bom” o valor que está sendo sugerido pelas legislações que estão surgindo nos países europeus, ou seja, 90%. Como objetivo "ruim" utilizou-se 70%, um patamar considerado razoável para um produto que tenha sido projetado sem a utilização dos conceitos do DFe;
- h) **Número de peças com contaminantes:** escolheu-se um objetivo "bom" condizente com as oportunidades de melhoria identificadas em relação ao produto de melhor desempenho (105 - 12 peças), as quais seriam a concentração dos contaminantes em menos peças e o desenvolvimento de um sistema de fixação das isolações que facilite a desmontagem. Desta forma, o objetivo “bom” foi definido como 8 peças. O objetivo “ruim” está próximo do valor alcançado pelo produto com desempenho inferior (106 - 18 peças), já que ele não foi considerado aceitável, ficando com 20 peças;
- i) **Eficiência Energética (EER):** escolheu-se como objetivo "bom" um valor próximo do que freqüentemente é exigido pelo mercado norte-americano, ou seja, 10 (Btu/h)/W. Como objetivo "ruim" foi escolhido um valor freqüentemente encontrado no mercado brasileiro, ou seja, 7 (Btu/h)/W;
- j) **Percentual de materiais plásticos reciclados utilizados:** colocou-se como objetivo “bom” o valor que está sendo sugerido pelas legislações que estão surgindo nos países europeus: 20%. Como objetivo "ruim" estipulou-se um valor considerado baixo, ou seja, 5%. Cabe salientar que este valor, apesar de ser baixo, ainda é superior aos valores observados nos produtos estudados, os quais não utilizam material plástico reciclado;
- k) **Dimensão do produto:** como não havia disponível um estudo com vários *benchmarks*, escolheu-se uma faixa que gerasse uma comparação razoável entre os dois produtos, deixando um desafio de melhoria para as equipes de desenvolvimento. A faixa escolhida foi 0,130 m³ (bom) a 0,160 m³ (ruim);

- l) **Massa do Produto:** da mesma forma que para a métrica anterior, escolheu-se uma faixa que gerasse uma comparação razoável entre os produtos, deixando um desafio de melhoria para as equipes de desenvolvimento. A faixa escolhida foi 25,0 kg (bom) a 40,0 kg (ruim);
- m) **Percentual da embalagem reciclável:** o objetivo é que todos os materiais utilizados nas embalagens sejam passíveis de serem reciclados, o que resultou em um objetivo "bom" de 100%. Para o objetivo "ruim" considerou-se razoável que metade (50%) da embalagem seja reciclável;
- n) **Massa das peças desmontadas para deposição segura:** como objetivo "bom" considerou-se a ausência de peças desmontadas para deposição segura. Já para o objetivo "ruim", dado que os dois produtos apresentaram resultados semelhantes (em torno de 0,07kg), procurou-se fazer uma escolha que os classificasse na faixa intermediária. Assim, foi definido como "ruim" o valor de 0,200 kg;
- o) **Tipo de gás refrigerante utilizado:** para esta métrica é natural que o objetivo "bom" seja os gases HFC que não prejudicam a camada de ozônio, enquanto que os HCFC, embora representem uma melhoria muito grande em relação ao já proibido CFC, não sejam mais considerados a melhor opção;
- p) **Quantidade de gás refrigerante utilizado:** colocou-se como objetivo "bom" 0,40 kg, o que significa uma redução em torno 10 % em relação ao produto com melhor desempenho (106 - 0,44kg). Como objetivo "ruim" considerou-se um aumento também em torno de 10% em relação ao produto de pior desempenho (105 - 0,48kg), ficando em 0,52 kg.

4.4. Realização da Avaliação

Procurando tornar as avaliações e comparações o mais coerente possível, escolheu-se produtos destinados ao mesmo mercado.

As avaliações dos dois produtos foram realizadas uma logo após a outra, sendo que foram necessários dois dias de trabalho, considerando o preenchimento das

planilhas e a análise dos resultados obtidos. Realizar uma avaliação logo após a outra mostrou-se uma técnica proveitosa, uma vez que permitiu manter os critérios de avaliação constantes. As Planilhas de Avaliação Ambiental preenchidas podem ser consultadas nos anexos deste trabalho.

O procedimento de avaliação requer a desmontagem das peças, uma a uma, até que elas estejam no estado ideal para que seja realizada a estratégia de final de ciclo de vida escolhido, ou seja, reutilização, reciclagem ou deposição.

A cada peça que é desmontada, procede-se com o preenchimento de todas as informações na Planilha de Avaliação. Desta forma deve-se conhecer o material principal que constitui a peça, a massa, existência de contaminantes e substâncias perigosas, nível de desmontagem, tempo de desmontagem, entre outros.

Na avaliação do tempo de desmontagem utilizou-se tempos médios padrão para as operações mais comuns. Desta forma, a retirada de um parafuso, por exemplo, terá sempre o mesmo tempo padrão de operação. A necessidade de utilização de uma ferramenta e a dificuldade de acesso ao parafuso resultam em penalizações que irão diferenciar os tempos totais das diferentes situações. No caso das operações que não são comuns, utilizou-se um tempo simulado médio resultado da operação de desmontagem realizada para a avaliação.

Após o preenchimento das Planilhas de Avaliação os resultados de todas as métricas são gerados automaticamente.

4.5. Comparação 105 x 106

Antes de verificar os resultados obtidos com as métricas ambientais, cabe salientar algumas observações feitas em relação aos processos de desmontagem dos dois modelos. A Figura 18 mostra um comparativo entre os dois modelos quanto ao tempo necessário para a desmontagem de cada um dos subconjuntos.

Apresenta-se a seguir um breve comentário a respeito dos aspectos positivos de cada produto em relação à facilidade de desmontagem, bem como os potenciais de melhoria observados.

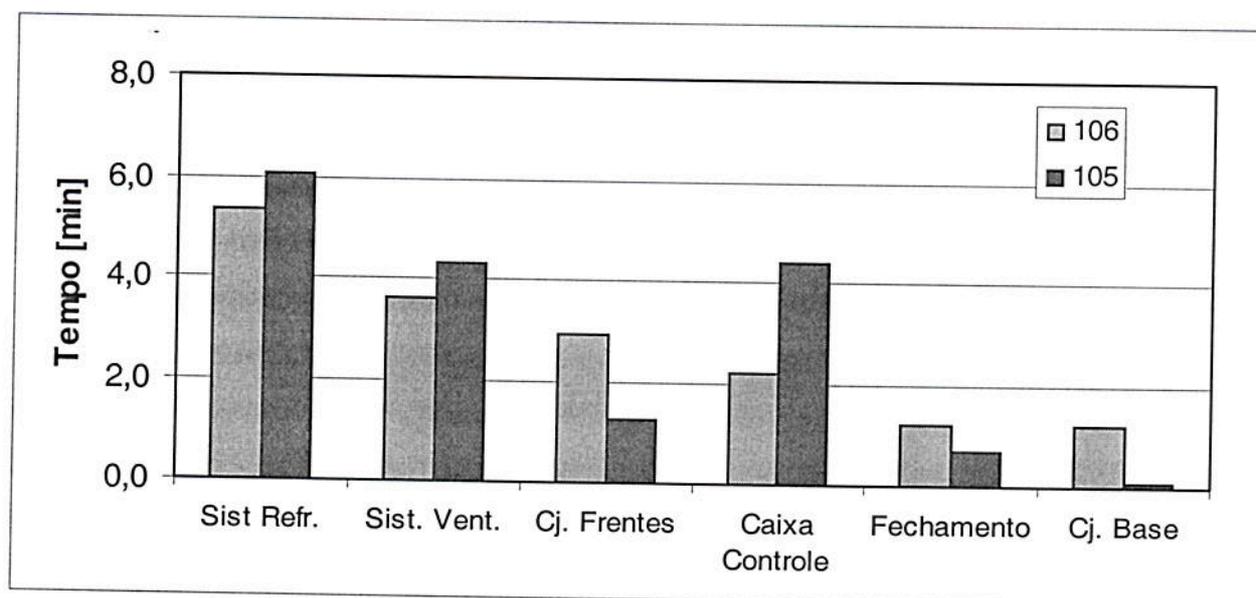


Figura 18: Comparativo entre os tempos de desmontagem de 105 e 106

- a) **Frente plástica:** o conjunto frente plástica do 106 requer um tempo muito maior para ser desmontado, devido basicamente à grande quantidade de isolações coladas que devem ser removidas, enquanto que o 105 apresenta apenas uma isolação que é encaixada. Além disso, no 106 existe a necessidade de retirar duas etiquetas, enquanto que no 105 as informações estão pintadas. Foi considerado que a pequena quantidade de tinta usada não prejudica a reciclagem, não sendo necessário a sua retirada. Apesar disso, os vanes verticais do 105 são pintados em toda a sua superfície, impedindo a reciclagem e exigindo a retirada destas peças. Observou-se que as medidas principais para melhorar a desmontagem do conjunto frente seriam a utilização de componentes com o mesmo material ou materiais compatíveis, sem o uso de pintura, e a modificação da forma de fixar as isolações para que facilite a remoção;
- b) **Fechamento:** é um conjunto pouco importante no contexto geral, e os dois produtos apresentam conceitos muito diferenciados. De qualquer forma, enquanto no 105 necessita-se retirar um parafuso e empurrar o aparelho para fora do gabinete, no 106 necessitam-se retirar quatro parafusos que estão cobertos por peças de acabamento. Este conceito pode ser melhorado;

- c) **Sistema de Ventilação:** O 106 apresenta este conjunto muito otimizado, com a voluta fabricada em EPS, dispensando isolações, a barragem do condensador incorporado ao fechamento e à base plástica, além de uma fixação simplificada do motor, apresentando um tempo reduzido para a desmontagem. Ao mesmo tempo, o 105 apresenta peças metálicas conectadas a peças plásticas com isolações e etiquetas em locais de difícil remoção, sendo necessária a remoção prévia do conjunto caixa de controle para a liberação do conjunto ventilação. Cabe observar que no 106 este conjunto possui o capacitor, enquanto que no 105 este componente está incorporado à caixa de controle. Como oportunidades de melhoria salienta-se o desenvolvimento de sistemas de fixação que não necessitem do uso de ferramentas para a hélice, a turbina e o motor;
- d) **Caixa de Controle:** neste conjunto o 106 apresentou um processo de desmontagem muito superior. Enquanto o 105 apresenta o corpo da caixa em aço, com isolações, e cuja remoção só é possível com a retirada do fechamento, uma vez que os cabos elétricos não possuem conexões intermediárias, sendo necessário o seu desligamento junto aos componentes, o 106 possui uma caixa fabricada em material plástico, de fácil remoção, exigindo a retirada do fechamento apenas para o cabo conectado à válvula reversora, sendo este o principal ponto de melhoria observado. Outra melhoria possível seria a eliminação da etiqueta do fornecedor do conjunto, que representa um contaminante para as peças plásticas;
- e) **Sistema de Refrigeração:** este sistema é similar nos dois produtos, com apenas duas diferenças: (i) o simples encaixe dos trocadores de calor no 106, enquanto no 105 eles estão parafusados, e (ii) a redução do diâmetro da tubulação no 106, reduzindo tamanho e massa dos trocadores, bem como a quantidade de gás refrigerante necessária;
- f) **Base:** o conjunto base acabou ficando prejudicado no 106, uma vez que ele incorporou uma peça plástica com isolações e etiqueta.

Apesar de todas estas diferenças, o somatório total do tempo de desmontagem ficou equilibrado. Demonstra-se com isso que, mesmo o 106 tendo sido desenvolvido

com o conceito do Dfa – Projeto Orientado à Montagem, ou seja, simplicidade de montagem, isto não significa que ele será simples de desmontar.

Outra comparação importante realizada é o comportamento do percentual do tempo total de desmontagem realizado em paralelo, ou seja, com os conjuntos já separados do produto, dando uma idéia da modularidade de cada modelo. Nos dois modelos este percentual está na casa dos 51%. Isto demonstra que aproximadamente a metade do tempo gasto com a desmontagem é realizada no próprio produto, ou seja, a modularização dos dois produtos pode ser melhorada. Este fato pode ser comprovado no gráfico da Figura 19, que apresenta os tempos seqüenciais de desmontagem das submontagens, ou seja, a “coluna vertebral” do processo de desmontagem. A análise da Figura 19 permite observar que os dois produtos tem um comportamento semelhante.

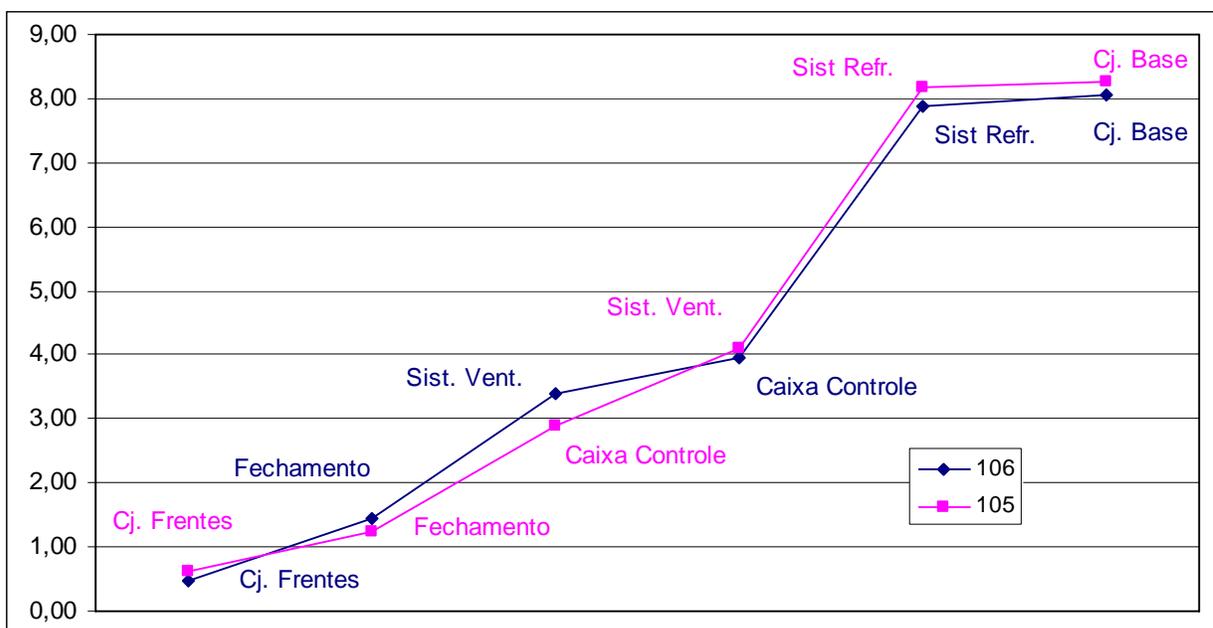


Figura 19: Tempo para a desmontagem das submontagens

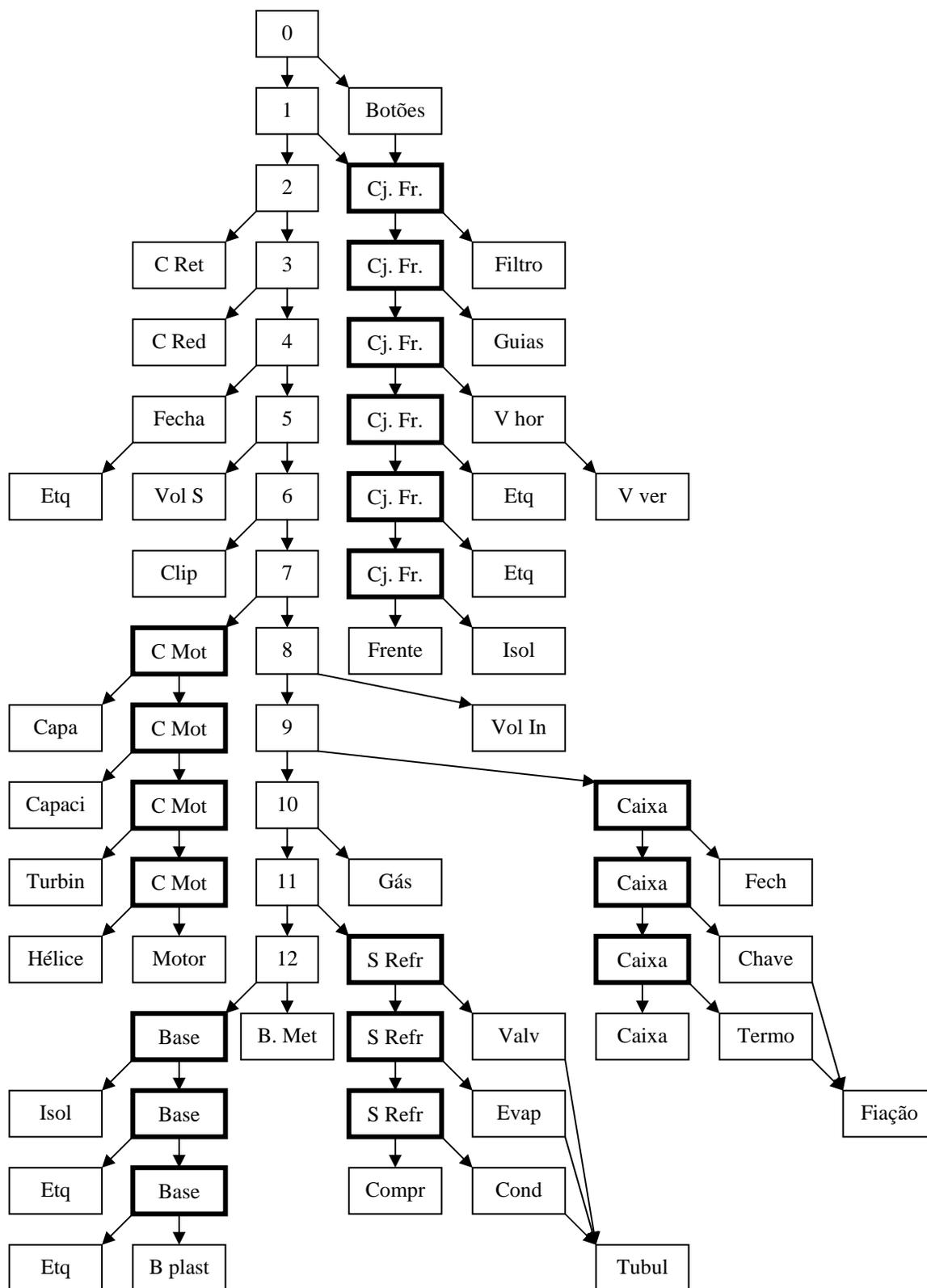


Figura 20: Diagrama Espinha-de-peixe Reversa do Modelo 106

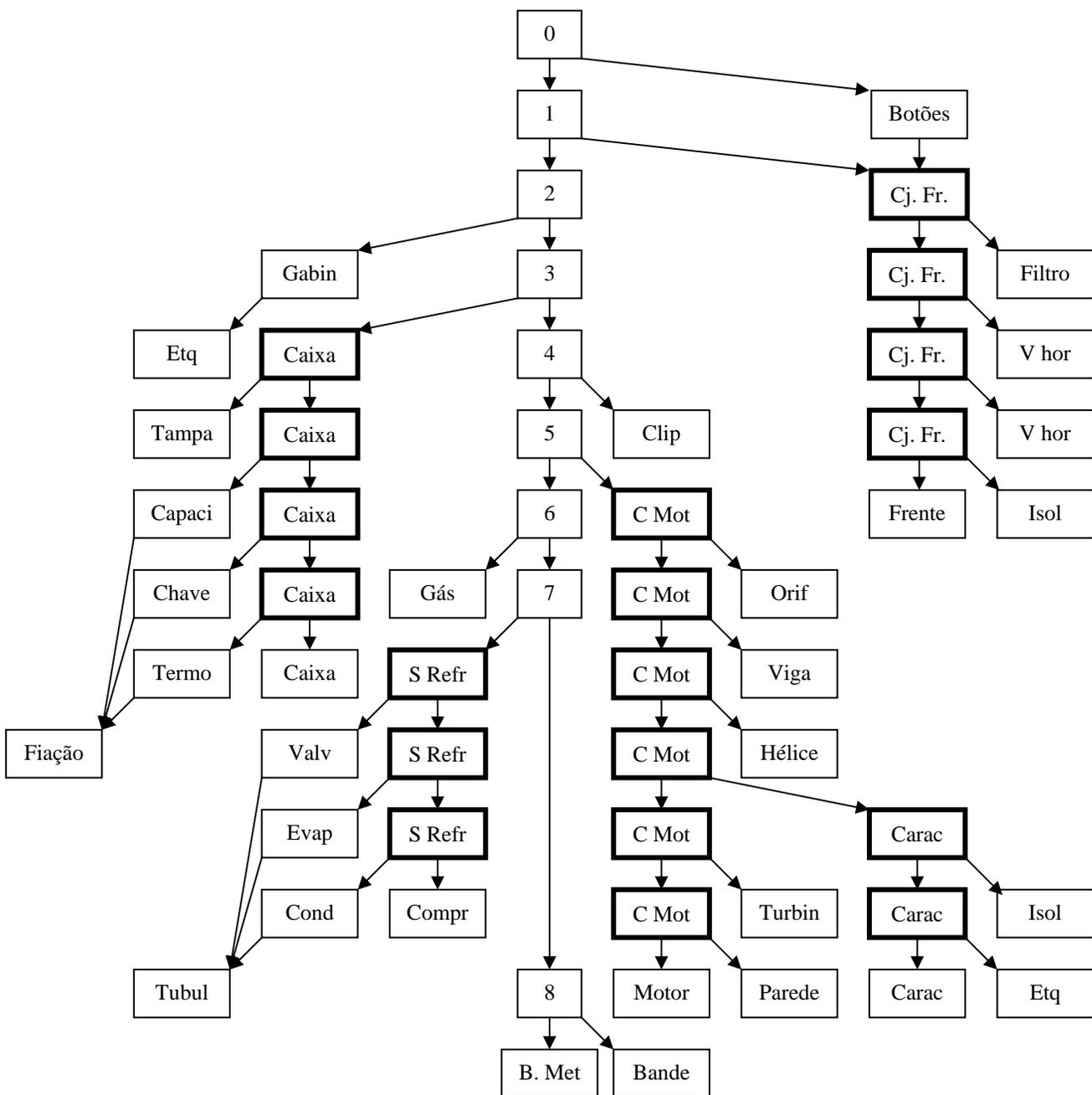


Figura 21: Diagrama Espinha-de-peixe Reversa do Modelo 105

Os Diagrama Espinha-de-peixe Reversa apresentados nas Figuras 20 e 21 mostram uma vantagem significativa do modelo 105, uma vez que apresenta apenas 12 níveis de desmontagem enquanto que o 106 apresenta 16 níveis. Esta diferença é causada pelo fato do 106 ter mais peças ligadas à estrutura do produto que devem ser desmontadas para liberar as submontagens. Entretanto, como já foi dito anteriormente, se for considerado o tempo em vez do número de peças, o desempenho dos dois produtos se iguala.

Como resultado do preenchimento das planilhas de avaliação obteve-se o quadro de métricas ambientais mostrado na Figura 22, que também pode ser consultado nos anexos.

Métricas Primárias		Métricas Secundárias	Métricas Ternárias	Unid.	Melhoria	Peso	Avaliação		Objetivos		Escore	
							106	105	Bom	Ruim	106	105
Reciclabilidade						40						
	Desmontabilidade	Tempo total de desmontagem	min	Menos	20	16.5	16.8	10	20	0.35	#	0.32
		N de peças a desmontar	quant.	Menos	10	37	32	25	45	0.40	#	0.65
		Nº de ferramentas diferentes utilizadas	quant.	Menos	10	6	5	4	7	0.33	#	0.67
	Separabilidade	Nº de materiais diferentes no produto	quant.	Menos	10	22	16	15	25	0.30	#	0.90
		Nº de materiais plásticos diferentes no produto	quant.	Menos	10	9	5	4	9	0.00	#	0.80
		Percentual de peças plásticas codificadas	%	Mais	10	99.0	8.6	100	0	0.99	#	0.09
	Reciclabilidade	Percentual de Recuperação	%	Mais	20	96.0	96.1	90	70	1.00	#	1.00
		Nº peças com contaminantes	quant.	Menos	10	18	12	8	20	0.17	#	0.67
Total						100					48.9	64.1
Eficiên. de Recursos						40						
	Energéticos	Eficiência Energética (EER)	Btu/h/W	Mais	30	7.6	9.2	10	7	0.20	#	0.73
	Materiais	Percent de materiais plást. reciclados usados	%	Mais	20	0.0	0.0	20	5	0.00	#	0.00
		Dimensão do produto	m3	Menos	10	0.137	0.145	0.130	0.160	0.77	#	0.50
		Massa do produto	kg	Menos	20	27.7	34.5	25.0	40.0	0.82	#	0.37
	Resíduos	Percentual da embalagem reciclável	%	Mais	20	50	70	100	50	0.00	#	0.40
Total						100					30.1	42.3
Nocividade						20						
	Materiais Nocivos	Massa de peças desmont. p/ deposição segura	kg	Menos	20	0.07	0.074	0	0.200	0.65	#	0.63
	Degradadores do Ozônio	Tipo de gás refrigerante utilizado	tipo	Tipo	40	HCFC	HCFC	HFC	HCFC	0.70	#	0.70
		Quantidade de gás refrigerante utilizado	kg	Menos	40	0.44	0.48	0.40	0.52	0.67	#	0.33
Total						100					67.7	53.9
Total Geral						100					45.1	53.3

Figura 22: Resultado da Avaliação Ambiental do 105 e 106

Neste ponto, é necessária uma análise do resultado de cada Métrica Secundária, comparando o desempenho dos dois produtos, o que é apresentado a seguir:

- a) **Desmontabilidade:** os dois modelos apresentam tempos de desmontagem similares, entretanto no 106 tem-se a necessidade de desmontar mais peças e de

utilizar mais ferramentas. Isto deve-se principalmente à maior variedade de materiais plásticos utilizada no 106 e uma maior quantidade de peças com contaminantes que devem ser retirados. Os tempos da espinha dorsal de desmontagem dos dois modelos revela estruturas semelhantes, com uma modularização ainda muito baixa, sendo este outro ponto a ser melhorado;

- b) **Separabilidade:** o 106 apresenta um mau desempenho na variedade dos materiais, principalmente de materiais plásticos, com nove tipos diferentes de resinas. Por outro lado, o 105 tem quase a totalidade de suas peças sem codificação. Estas observações demonstram claramente onde estão os potenciais de melhoria para estes produtos;
- c) **Reciclabilidade:** ambos os modelos apresentaram um Percentual de Recuperação satisfatório, ocasionado principalmente pela escolha da estratégia de final de ciclo de vida de reutilizar os compressores e motores, obtendo uma recuperação de 100% destes componentes, o que não seria possível com a reciclagem dos mesmos, devido à grande variedade de materiais que compõem estas peças, como já foi discutido. Entretanto, ambos, e principalmente o 106, possuem um número excessivo de peças com contaminantes. Como potencial de melhoria pode-se enumerar o desenvolvimento de um sistema de fixação das isolações que facilite a desmontagem, utilização de etiquetas e adesivos compatíveis com o material da peça, concentração de etiquetas e isolações em um número menor de peças, e eliminação de pinturas;
- d) **Eficiência de Recursos Energéticos:** o 106 representou uma regressão nesta área. Obviamente que este fato deve-se aos diversos *trade-offs* realizados durante o desenvolvimento desta linha, o que não cabe ser discutido neste momento. O importante é que a partir deste estudo a questão ambiental passa a ser incorporada explicitamente na análise e terá um papel mais importante nos próximos desenvolvimentos;
- e) **Eficiência de Recursos Materiais:** a utilização de percentuais de resinas recicladas em peças que não apresentam uma função estética já é uma estratégia utilizada na

manufatura de outros produtos dentro da Springer Carrier. Faz-se necessária a sua aplicação nas linhas WRAC.

- f) **Eficiência de Resíduos:** a linha 106 possui um desempenho um pouco inferior, uma vez que a quantidade de EPS utilizada na embalagem é sensivelmente maior. Como oportunidade de melhoria citamos a utilização de embalagem constituídas totalmente por papel, através do uso de cantoneiras fabricadas em papelão ou em polpa de papelão;
- g) **Materiais Nocivos:** ambos os produtos apresentaram um desempenho semelhante com o termostato como peça que necessita de deposição segura. O termostato apresenta esta característica devido à pequena quantidade de gás refrigerante que, ao mesmo tempo é uma quantidade muito pequena para justificar a sua remoção, agride a camada de ozônio. Uma alternativa seria a troca do termostato de princípio mecânico, por um eletrônico, mas então surge o problema do circuito impresso, que possui chumbo no material de soldagem. Necessita-se um estudo mais aprofundado para verificar qual a solução mais adequada ambientalmente;
- h) **Degradadores do Ozônio:** embora ambos utilizem o mesmo tipo de gás refrigerante, o HCFC, o 106 realizou um grande avanço com a redução de quase 10% da quantidade de gás utilizada nos aparelhos. A Springer Carrier já desenvolveu alguns modelos WRAC com gás HFC para serem exportados para a Suécia, entretanto o seu preço de mercado ainda o torna pouco competitivo. Por enquanto, uma nova redução na quantidade de gás necessária mostra-se como sendo uma ótima estratégia de melhoria.

Quanto às métricas primárias, o 105 apresentou melhor desempenho em Reciclabilidade e Eficiência de Recursos, enquanto o 106 foi melhor em Nocividade. Na contabilização final, os produtos obtiveram resultados próximos entre si, ficando o 105 um pouco à frente. É importante salientar novamente que este resultado está diretamente relacionado com os objetivos definidos para as métricas ternárias e os pesos definidos para as métricas primárias e ternárias. Caso hajam modificações nestes valores, o resultado será alterado. Entretanto, mantendo-os constantes ao longo

de diversas avaliações será possível visualizar os avanços obtidos, sendo este o principal objetivo deste trabalho.

4.6. Orientações para o Desenvolvimento da Linha 07

Como resultado da utilização da metodologia proposta, verificou-se uma série de oportunidades que poderão ser utilizadas quando do desenvolvimento da nova linha, dentre as quais destacamos as seguintes:

- a) projetar a estrutura do produto procurando facilitar a sua desmontagem através do aumento da modularização, o que será muito importante para facilitar também a manutenção do aparelho;
- b) reduzir a variedade de materiais plásticos utilizados, procurando através de um projeto mecânico adequado, absorver as deficiências que algum material possa ter, eliminando o motivo que levaria à escolha de uma outra resina;
- c) reduzir a quantidade de contaminantes atacando os três itens principais: etiquetas, isolações e pinturas; o material das etiquetas deve ser compatível com o material da peça à qual elas estão coladas, ou deve-se procurar, quando possível, gravar a etiqueta no molde; deve-se procurar uma nova forma de fixar as isolações, com o objetivo de facilitar a desmontagem, ou procurar concentrar as isolações em uma quantidade menor de peças; deve-se evitar ao máximo a utilização de pinturas em peças plásticas;
- d) todas as peças plásticas devem ser codificadas de acordo com a norma ISO 11469;
- e) é imprescindível que a próxima linha tenha uma alta eficiência energética, ao nível dos padrões mundiais;
- f) o projeto deverá contemplar peças plásticas sem função estética que possibilitem a utilização de material reciclado;
- g) a embalagem deve ser 100% reciclável, ou seja, sem a utilização de EPS;
- h) a utilização dos gases de refrigeração HFC está intimamente dependente da redução do preço no mercado, o que dificulta a sua utilização. Mesmo utilizando o

HCFC o objetivo seria o desenvolvimento de um sistema que necessite de uma quantidade menor do gás.

4.7. Comentários sobre o uso da ferramenta

A utilização da ferramenta de avaliação ambiental de produtos desenvolvida veio a confirmar as vantagens em relação à ferramenta desenvolvida pela Carrier dos Estados Unidos, dentre as quais destacam-se:

- a) disponibilidade fácil dos dados, não sendo mais necessário o levantamento dos valores de mercado dos materiais reciclados, tarefa difícil devido ao fato deste mercado ainda ser pequeno no Brasil;
- b) abrangência de todas as etapas do ciclo de vida, haja visto que a ferramenta antiga estava preocupada principalmente com a etapa de final de ciclo de vida;
- c) visualização da estrutura física do processo de desmontagem do produto através do Diagrama de Espinha-de-peixe Reverso, mesmo que este precise ser construído manualmente utilizando os dados das planilhas de avaliação;
- d) organização de um conjunto consistente de métricas ambientais, já que a ferramenta antiga possuía algumas métricas dispersas, não havendo (i) uma normalização das avaliações, o que permite comparar os resultados de diversas métricas diferentes, e nem (ii) um sistema de pesos que resulte em um escore global. Estes requisitos são indispensáveis para a correta comparação entre os diferentes produtos.

Como melhorias que podem ser sugeridas salientam-se: (i) a automação da criação do Diagrama de Espinha-de-peixe Reverso através de uma rotina computacional. (ii) Ainda mais importante seria a criação de um sistema capaz de mapear as conexões existentes entre as peças, disponibilizando a visualização deste diagrama estrutural do produto para o usuário. Isso possibilitaria ao usuário melhorar as interfaces entre os diversos componentes e acompanhar as conseqüências destas melhorias no processo de desmontagem do produto.

A prática e a utilização continuada da ferramenta de avaliação ambiental mostrará se as métricas escolhidas estão adequadas e consistentes para o alcance dos objetivos principais.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

5.1. Conclusões

O aumento do consumo a nível mundial tem solapado os recursos naturais e causado um aumento da poluição e da geração de resíduos. Diante deste quadro, os agentes econômicos envolvidos estão alterando seu comportamento, buscando alternativas para a solução do problema. Pode ser observado um processo de aperfeiçoamento, que busca maior eficiência, traduzida na redução dos recursos necessários para o desempenho de uma certa função.

Diante deste panorama, o tema do presente trabalho foi a técnica do Projeto Orientado ao Meio-ambiente (Dfe), tendo como objetivos o desenvolvimento de um conjunto de métricas ambientais e de uma ferramenta de avaliação ambiental de produtos a serem utilizados pela Springer Carrier SA. Além disso, objetivou-se também estudar as linhas atuais de condicionadores de ar da empresa, verificando as oportunidades de melhoria para os futuros desenvolvimentos.

O desenvolvimento do trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica que apresentou as motivações para o desenvolvimento do DFe, seus princípios conceituais e seus elementos, que são as métricas ambientais, as práticas de projeto e os métodos de análise.

Para que a aplicação do DFe seja efetiva, mostrou-se imprescindível a criação de um sistema de métricas ambientais, uma vez que não se pode gerenciar o que não se pode medir. Da mesma forma, é muito importante que estas métricas estejam relacionadas com todas as etapas do ciclo de vida do produto, e sejam auxiliadas por um sistema de avaliação de produtos de simples utilização.

Baseado nessas constatações, partiu-se para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação ambiental de produtos eletro-eletrônicos, entre eles o condicionador de ar. Este desenvolvimento teve como base o estudo de uma ferramenta de avaliação de produtos já desenvolvida pela Carrier dos Estados Unidos, bem como o conhecimento acumulado pelo autor através da revisão bibliográfica.

As características principais da ferramenta desenvolvida são (i) a abrangência de todas as etapas do ciclo de vida do produto, (ii) a normalização das avaliações das métricas, possibilitando a comparação de métricas distintas e o cálculo de um escore global e (iii) a rapidez e facilidade de utilização, devido a sua simplicidade e à exigência de informações de rápido acesso.

No estudo de caso utilizou-se a ferramenta desenvolvida para realizar a avaliação das duas últimas linhas de condicionadores de ar de janela desenvolvidos pela Springer. Inicialmente foi necessário traçar uma estratégia de final de ciclo de vida, definindo qual será o destino de cada um dos componentes do produto. A seguir

realizou-se a avaliação dos dois produtos, com base nos objetivos estabelecidos para cada uma das métricas ambientais.

A análise dos resultados incorporou várias reflexões sobre o desempenho de cada produto em relação às diferentes métricas ambientais, gerando importantes orientações para os próximos desenvolvimentos nesta linha de produtos. Além disso, o estudo de caso serviu para testar e validar a ferramenta desenvolvida, apontando para os avanços alcançados em relação à ferramenta anterior, e para as oportunidades de novos aperfeiçoamentos.

Observa-se que os objetivos listados no início do trabalho foram alcançados. Foi desenvolvida uma Ferramenta de Avaliação Ambiental de produtos eletro-eletrônicos; a ferramenta é simples de ser utilizada, com abrangência de todas as etapas do ciclo de vida do produto e possibilita uma comparação coerente entre produtos diferentes. Além disso, foram estudadas as linhas atuais de condicionadores de ar da Springer Carrier, verificando as oportunidades de melhoria para os futuros desenvolvimentos.

O desenvolvimento deste trabalho foi imprescindível para a consistente introdução dos conceitos do Dfe no processo de desenvolvimento de novos produtos da Springer Carrier SA.

Cabe ressaltar que, segundo Naumann (1998), não há processo produtivo ou economia nacional baseado na dilapidação dos recursos naturais que apresente, a longo prazo, bons índices de eficiência técnica e econômica. A eficiência no uso dos recursos naturais é, geralmente, sinônimo de eficiência técnica e econômica, de forma que eles só podem ficar separados por curtos períodos de tempo.

Países como o Brasil, que ainda apresentam grandes desperdícios na utilização dos recursos naturais, precisam reverter esse quadro. Esse é um dos caminhos para alcançar maior eficiência econômica e maior competitividade no mercado internacional.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como seguimento deste trabalho, podemos enumerar (i) o desenvolvimento de um sistema que crie um diagrama estrutural do produto, mostrando as conexões entre as diversas submontagens e peças que o compõem, possibilitando a rápida visualização dos pontos problemáticos. Além desta oportunidade específica, um importante passo seria (ii) a integração desta abordagem com as outras métricas que precisam ser levadas em consideração durante o desenvolvimento de um produto, como qualidade, custo, manufaturabilidade, montabilidade, estética, funcionalidade, entre outros. O resultado seria uma metodologia estruturada que considerasse todas estas características e auxiliasse nas tomadas de decisão.

Bibliografia

1. BRINKLEY, Anne . *et al.* Assessing Green Pen Computer Designs: Product and Program Metrics. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings**. p.48-51.
2. Brochura da Carrier. Introduction to Design for Environment. 1999.
3. CORRUPAD Home Page. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://phylus.com.my/airpak/corruptad.html?B1=Corruptad>. Arquivo capturado em 14 de maio de 1999.
4. Eletrolux Environmental Report 1998;
5. FIKSEL, Joseph. Design for Environment. New York, NY, USA, McGraw-Hill, 1996.
6. GERTSAKIS, John. *et al.* Hot Water Green Features. [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://deadalus.edc.rmit.edu.au/outcomes/ERDNews/ERD6/Kettle.html>. Arquivo capturado em 30 de junho de 1999.
7. GRAEDEL, T.E., ALLENBY, B. R.. Industrial Ecology. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice Hall, 1995.

8. GRASER, K., HOOCK, R.. Optimizing Plastic Parts for Recycling. **Automotive Engineering**, p.121-123, maio 1996.
9. HOFFMAN III, W. F., LOCASCIO, Angela. Design for Environment Development at Motorola. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings**. p.210-214.
10. ISHII, Kosuke, LEE, Burton H.. Reverse Fishbone Diagram: A Tool in Aid of Design for Product Retirement. In: 1996 ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS IN ENGINEERING CONFERENCE, 1996, Irvine, California, USA. **Proceedings**.
11. KLAUSNER, Markus, GRIMM, Wolfgang M., HENDRICKSON, Chris. Reuse of Electric Motors in Consumer Products - Design and Analysis of an Electronic Data Log. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 2, Number 2, p. 89-102, 1998.
12. LANGERAK, Edwin. To Shred or to Disassemble? Recycling of Plastics in Mass Consumer Goods. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings**. p.63-68.
13. LEE, Burton H, ISHII, Kosuke. Demufacturing Complexity Metrics in Design for Recyclability. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings**. p.19-24.
14. LEGARTH, Jens B.. Re-design of electromechanical products for re-use and recycling - a European initiative. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

- ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings.** p.1-6.
15. LEWIS, Helen. Data Quality for Life Cycle Assessment. In: FIRST NATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 1996, Melbourne, Australia.
16. MATTHEWS, H. Scott, CHAMBERS, Gregory C. Unraveling the Environmental Product Design Paradox. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings.** p.13-18.
17. Marubeni Corporation Annual Report 1999;
18. NAUMANN, Monika. Estratégias de produção e consumo podem qualificar o uso de energia natural. **Jornal Gazeta Mercantil**, p. 2, 26 de novembro de 1998.
19. O' CONNOR, Frank, BLYTHE, David. Designing Environmental Considerations in to Products - A Novel Qualitative Life Cycle Approach. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings.** p.192-197.
20. ORCON INDUSTRIES Home Page. [on line] Disponível na Internet via WWW. URL: http://orconind.com/Thermo_Formed_pulp.html. Arquivo capturado em 14 de maio de 1999.
21. ROSE, Catherine M.. *et al.* Characterization of Product End-of-life Strategies to Enhance Recyclability. In: 1998 ASME DESIGN FOR MANUFACTURING SYMPOSIUM, 1998, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings.**

22. RYAN, Chris. Life Cycle Analysis and Design - A productive relationship? In: FIRST NATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 1996, Melbourne, Australia.
23. SASAKI, Tota, KAWAHARA, Katsumi, YANAGITANI, Kazuta. The Development of Technology for Recyclable Products - Application to Industrial Air Conditioners. In: THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOMATERIALS, 1997, Tsukuba, Japan. **Proceedings.** p.121-124.
24. SHIOVITZ, Aime, CRAIG, Erin. Using Data to Determine Design for Environment Product Goals. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings.** p.105-108.
25. ZHANG, Hong-Chao, YU, Steven Yue. An Environmentally Conscious Evaluation/Design Support Tool for Personal Computers. In: 1997 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 1997, San Francisco, California, USA. **Proceedings.** p.131-136.

Anexos

	Produto: WRAC 106 9K CR EER: 7.6 Massa (kg): 27.7 (s/ embalagem) Embalagem (kg): 0.51 (% reciclável) 50	Dimensões (m): (com embalagem) Compr: 0.653 Larg: 0.531 Alt: 0.395 Refrigerante: R-22 Tipo (HCFC/HFC): HCFC Quant (kg): 0.44
---	--	---

Geral						
Item #	Submontagem	Peça	Quant.	Massa Total	Material	
					[kg]	Tipo
1	Cj. Frentes	Botão	2	0.010	ABS	Termoplástico
2	Cj. Frentes					
3	Cj. Frentes	Filtro	1	0.060	ABS	Termoplástico
4	Cj. Frentes	Guia Filtro	2	0.040	ABS	Termoplástico
5	Cj. Frentes	Vanes Horiz	1	0.110	ABS	Termoplástico
6	Cj. Frentes	Vanes Vert	9	0.040	PP	Termoplástico
7	Cj. Frentes	Etiqueta Marca	1	0.005	EP	
8	Cj. Frentes	Etiqueta Painel	1	0.002	Poliester	Termoplástico
9	Cj. Frentes	Isolações	5	0.010	PU/PE	Termoplástico
10	Cj. Frentes	Frente	1	0.797	PS	Termoplástico
11	Fechamento	Capa Retang	1	0.050	PP	Termoplástico
12	Fechamento	Capa Redonda	2	0.008	Borracha	Elastômero
13	Fechamento	Fechamento	1	1.896	PP	Termoplástico
14	Fechamento	Etiqueta	1	0.001	Papel	Orgânico
15	Sist. Vent.	Voluta Sup	1	0.053	EPS	Termoplástico
16	Sist. Vent.	Clips motor	2	0.024	PC	Termoplástico
17	Sist. Vent.					
18	Sist. Vent.	Capa Capacit	1	0.035	PPO	Termoplástico
19	Sist. Vent.	Capacitor	1	0.188	Capacitor	Eletr/Eletrônico
20	Sist. Vent.	Turbina	1	0.270	ABS	Termoplástico
21	Sist. Vent.	Hélice	1	0.202	ABS	Termoplástico
22	Sist. Vent.	Motor	1	2.112	Motor	Eletr/Eletrônico
23	Sist. Vent.	Voluta Inf	1	0.103	EPS	Termoplástico
24	Caixa Controle					
25	Caixa Controle	Fech Caixa	1	0.076	PPO	Termoplástico
26	Caixa Controle	Chave Selet	1	0.085	Chave Selet	Eletr/Eletrônico
27	Caixa Controle	Termostato	1	0.070	Termostato	Eletr/Eletrônico
28	Caixa Controle	Fiação	7	0.180	Fiação	Eletr/Eletrônico
29	Caixa Controle	Caixa	1	0.065	PPO	Termoplástico
30	Sist Refr.	Gás	1	0.440	HCFC	Gás Refriger.
31	Sist Refr.					
32	Sist Refr.	Válvula Rever.	1	0.270	Válvula	Eletr/Eletrônico
33	Sist Refr.	Serp. Evap	1	1.365	Cu/Al/Aço	Metal
34	Sist Refr.	Serp. Cond	1	2.150	Cu/Al/Aço	Metal
35	Sist Refr.	Tubulação	5	0.750	Cu	Metal
36	Sist Refr.	Compressor	1	10.910	Compress	Eletr/Eletrônico
37	Cj. Base	Base Plást.	1	2.662	PP	Termoplástico
38	Cj. Base	Isolação	3	0.005	PU	Termoplástico
39	Cj. Base	Etq Capac.	1	0.001	Papel	Orgânico
40	Cj. Base	Etq Marca	1	0.013	ABS	Termoplástico
41	Cj. Base	Base Met.	1	2.513	Aço+Zn	Metal
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						

	Produto: WRAC 105 9K CR EER: 9.2 Massa (kg): 34.5 (s/ embalagem) Embalagem (kg): 0.52 (% reciclável) 70	Dimensões (m): (com embalagem) Compr: 0.654 Larg: 0.541 Alt: 0.410 Refrigerante: R-22 Tipo (HCFC/HFC): HCFC Quant (kg): 0.48
---	--	--

Geral						
Item #	Submontagem	Peça	Quant.	Massa Total	Material	
					[kg]	Tipo
1	Cj. Frontes	Botão	2	0.009	ABS	Termoplástico
2	Cj. Frontes					
3	Cj. Frontes	Filtro	1	0.074	PS	Termoplástico
4	Cj. Frontes	Vanes Horiz	10	0.082	ABS	Termoplástico
5	Cj. Frontes	Vanes Vert	2	0.075	ABS	Termoplástico
6	Cj. Frontes	Isolação	1	0.002	PU	Termoplástico
7	Cj. Frontes	Frente	1	0.514	PS	Termoplástico
8	Fechamento	Gabinete	1	5.578	Aço+Zn	Metal
9	Fechamento	Etiq Marca	1	0.014	ABS	Termoplástico
10	Caixa Controle					
11	Caixa Controle	Tampa	1	0.212	Aço+Zn	Metal
12	Caixa Controle	Capacitor	1	0.170	Capacitor	Eletr/Eletrônico
13	Caixa Controle	Chave Selet	1	0.049	Chave Selet	Eletr/Eletrônico
14	Caixa Controle	Termostato	1	0.074	Termostato	Eletr/Eletrônico
15	Caixa Controle	Fiação	7	0.340	Fiação	Eletr/Eletrônico
16	Caixa Controle	Caixa	1	0.343	Aço+Zn	Metal
17	Sist. Vent.	Clips Motor	1	0.010	Aço mola	Metal
18	Sist. Vent.					
19	Sist. Vent.	Barragem	1	0.384	PS	Termoplástico
20	Sist. Vent.	Viga	1	0.045	Aço+Zn	Metal
21	Sist. Vent.	Hélice	1	0.200	ABS	Termoplástico
22	Sist. Vent.	Caracol	1	0.852	PS	Termoplástico
23	Sist. Vent.	Isolações	2	0.010	PU	Termoplástico
24	Sist. Vent.	Etiqueta	1	0.001	Poliester	Termoplástico
25	Sist. Vent.	Turbina	1	0.263	ABS	Termoplástico
26	Sist. Vent.	Parede Int.	1	1.600	Aço+Zn	Metal
27	Sist. Vent.	Motor	1	3.123	Motor	Eletr/Eletrônico
28	Sist Refr.	Gás	1	0.480	HCFC	Gás Refriger.
29	Sist Refr.					
30	Sist Refr.	Válvula Rever.	1	0.300	Válvula	Eletr/Eletrônico
31	Sist Refr.	Serp. Evap	1	2.410	Cu/Al/Fe	Metal
32	Sist Refr.	Serp. Cond	1	2.725	Cu/Al/Fe	Metal
33	Sist Refr.	Tubulação	5	0.880	Cu	Metal
34	Sist Refr.	Compressor	1	10.725	Compress	Eletr/Eletrônico
35	Cj. Base	Bandeija	1	0.020	EPS	Termoplástico
36	Cj. Base	Base Met.	1	2.475	Aço+Zn	Metal
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						

