

**ROSE MARY ROSA DE LIMA**

**APLICAÇÃO DA AET COMO CONTRIBUIÇÃO AO  
PROJETO PARA MEIO AMBIENTE COM ÊNFASE NA  
RECICLAGEM**

Belo Horizonte

Faculdade de Engenharia da UFMG

2003

**ROSE MARY ROSA DE LIMA**

**APLICAÇÃO DA AET COMO CONTRIBUIÇÃO AO  
PROJETO PARA MEIO AMBIENTE COM ÊNFASE NA  
RECICLAGEM**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Qualidade e Desenvolvimento do Produto

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Romeiro Filho.

Belo Horizonte

Faculdade de Engenharia da UFMG

2003

Em homenagem ao meu Pai, homem guerreiro, que faleceu durante  
a realização deste trabalho;  
à minha mãe, aos meus irmãos, às minhas irmãs e  
ao Rodrigo, pelo apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por ter me iluminado durante toda essa trajetória e por me fazer capaz de alcançar esta meta tão desejada.

Ao meu orientador, Eduardo Romeiro Filho, pela orientação, pelo apoio, pelo incentivo e por acreditar no meu trabalho.

Aos professores Lin Chin Cheng, Eliza Echternacht, Gustavo Gusman e Francisco Lima, pelo conhecimento transmitido durante o curso.

Ao meu marido, Rodrigo, pela compreensão e por compartilhar dos momentos difíceis durante o desenvolvimento deste trabalho.

A toda minha família, pelo carinho e por torcer para o alcance desta vitória.

À direção da Asmare, pela viabilização desta pesquisa. Destaco a grande receptividade que encontrei nos funcionários ligados à Diretoria da Asmare e à Pastoral de Rua, dentre as quais registro meus agradecimentos pessoais: Maria das Graças Marçal (Dona Geralda) e Marislene Nogueira.

Aos trabalhadores da Asmare que contribuíram com seus depoimentos e experiências para a realização do trabalho de campo: Adelaide, Ana Carolina, Dorotildes, Edson, Divino, Eliane, Eliene, Janete, Jaqueline, Luciene, Margarida, Rita, Silvy, Vanderléia e, especialmente, à Ana Cristina dos Santos.

Aos funcionários das empresas de refrigerantes: Antônio e José Carlos pelas informações valiosas, e à Cristiane pela receptividade.

Aos colegas e amigos do mestrado, pela ajuda e pela convivência.

A Ana Paula Paiva, Péricles Martins e Sandra Gabrich, que contribuíram na construção deste trabalho.

A todos os meus amigos que contribuíram, de alguma forma, na realização deste trabalho.

À UFMG e ao Departamento de Engenharia de Produção, por confiar na realização deste trabalho, e à CAPES, pela bolsa.

À Maria de Lourdes Costa de Queiroz pela revisão do texto.

“Pai, em tuas mãos eu me abandono.  
Faze de mim o que Tu queres.  
Agradeço-te o que de mim fizeres e estou pronto a tudo.  
Aceito tudo, contanto que se faça a sua vontade em mim e em todas as Tuas criaturas.  
Nas Tuas mãos eu me entrego com todo amor e de todo coração,  
porque te amo e amor exige que eu me doe inteiramente,  
sem nada reter para mim e com toda a confiança,  
pois Tu és meu Pai.”

Charles de Foucauld

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre abordagens do *Design for X* (DFX), enfatizando o Projeto para Meio Ambiente, especificamente o Projeto para Reciclagem, e o Projeto para Desmontagem. O estudo se justifica pela necessidade de considerar a demanda ambiental no setor produtivo, a demanda social e a demanda de informação ao projetista na etapa do desenvolvimento de produto. Verifica-se que os produtos são projetados considerando-se apenas as operações de montagem. Tendo em vista as questões ambientais, os projetistas necessitam observá-los também em termos de desmontagem para viabilizar a reciclagem. Ainda assim, vários métodos para analisar as deficiências de projeto do produto têm sido descritos na literatura, sendo a maioria quantitativos ou simulações feitas por computador, não levando em consideração a atividade real dos “trabalhadores da reciclagem”.

Com este trabalho propõe-se utilizar um método qualitativo em uma situação de análise de desmontagem manual para a reciclagem do produto, inserido na realidade brasileira. A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) é sugerida como metodologia de apoio ao Projeto para Meio Ambiente, para avaliar as dificuldades na desmontagem do produto que interferem na reciclagem. Este estudo foi realizado na Associação de Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis (Asmare) e teve como foco a análise da desmontagem da embalagem Politereftalato de Etileno (PET).

Demonstrou-se que a análise das dificuldades derivadas da atividade da desmontagem do produto fornece meios para identificar as características do produto, definidas em projeto, que interferem na reciclagem. Verificou-se, também, que as dificuldades encontradas para a desmontagem do produto levam a problemas quanto à eficiência e ao aumento da carga de trabalho, bem como a riscos de acidentes. Portanto, as estratégias de desmontagem e as condições de trabalho dos envolvidos nestes processos devem ser levadas em consideração na fase inicial do projeto do produto, o que trará benefícios aos trabalhadores, aos recicladores, às indústrias e, em última análise, ao próprio meio ambiente.

Ao final da análise, foram feitas investigações em fábricas que utilizam a embalagem PET e em alguns fabricantes de seus componentes, para obter informações sobre os pontos fracos do produto do ponto de vista do Projeto para Reciclagem. As investigações demonstraram que os fabricantes não detêm conhecimentos sobre as dificuldades que seus produtos oferecem aos “trabalhadores da reciclagem”. Dessa forma, confirma-se a hipótese desta tese de que a AET pode contribuir com os projetistas, fornecendo-lhes informações sobre as deficiências de projeto do produto, do ponto de vista do Projeto para Reciclagem.

## ABSTRACT

This work presents a study about approaches dealing with Design For X (DFX), with emphasis on Design For Environment, specifically the Design For Recycling and Design For Disassembly. This study is justified by the necessity to consider the environmental demands in the production sector as well as the social demands and the information needed by the designers in the stage of product development. This research shows that the products are designed considering only the building process. Having the environmental questions in mind, the designers need to also consider how to dismantle those products to make the recycling possible. Various methods to analyze the project deficiencies of the product have been described in the literature. The majority of the methods are quantitative or computer simulation, and do not take into consideration the real activity of the “recycling workers”.

The proposal of this research is to use a qualitative method in an analytical situation of manual disassembly for product recycling in the Brazilian reality. The Work Ergonomic Analysis (WEA) emerges as a helpful methodology for the Environmental Project to evaluate the difficulties of products disassembly that interfere in the recycling. This study was performed at the Association of Collectors of Paper, Cardboard and Reusable Materials (Asmare), and has its focus in the analysis of the disassembly of containers made of Polyethylene terephthalate (PET). It is demonstrated that the analysis of the difficulties derived from the activities of disassembly of materials supplies means to identify the product characteristics defined during its design stage that interfere with the recycling process.

It is also seen that the problems encountered, in the dismantling of materials, included those of efficiency and the increase in work load as well as the risk of accidents. Therefore, the strategies of disassembly and the work conditions of those involved in these processes should be brought into consideration in the initial phase of the product design. This will have benefits for the workers, the recycling companies, industries and to the environment.

At the end of the analysis, investigations were made in factories that use PET containers and in some factories of PET components, to obtain information about the weak points of the process from the viewpoint of Design For Recycling. The investigations demonstrate that the factories did not withhold knowledge of the difficulties that the products give to the “recycling workers”. Thus, the hypothesis of this thesis is confirmed that the WEA can contribute to the designers to give them information about the deficiencies for the project of materials from the viewpoint of Design For Recycling.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Configuração do problema do descarte do produto	21
FIGURA 2	O produto como relação entre o projetista e o trabalhador da reciclagem	22
FIGURA 3	Produção ambientalmente consciente .....	42
FIGURA 4	Ciclo de vida de um produto.....	43
FIGURA 5	Relação do sistema produtivo x meio ambiente .....	44
FIGURA 6	Fases da análise do ciclo de vida.....	45
FIGURA 7	Tipos de abordagens do DFX.....	50
FIGURA 8	Roda estratégica do DFE.....	54
FIGURA 9	Tipos de abordagens do DFE.....	55
FIGURA 10	Atividades internacionais sobre desmontagem .....	67
FIGURA 11	Tipos de reciclagem .....	71
FIGURA 12	Rede de reciclagem.....	73
FIGURA 13	Sistema internacional de codificação de plásticos.....	77
FIGURA 14	Representação esquemática dos processos logísticos: direto e reverso.....	86
FIGURA 15	Atividades típicas do processo logístico reverso.....	86
FIGURA 16	Sistema do ciclo de vida.....	93
FIGURA 17	Reprojeto ao longo do ciclo de vida do produto .....	99
FIGURA 18	Esquema geral da metodologia de AET .....	107
FIGURA 19	Pontos utilizados para análise da situação de trabalho.....	113
FIGURA 20	Fluxograma do processo no setor de triagem.....	132
FIGURA 21	Posto de trabalho de triagem de materiais recicláveis.....	133
FIGURA 22	Boxes de plástico e de papel.....	135
FIGURA 23	Transporte do material triado do galpão de triagem ao galpão operacional.....	137
FIGURA 24	Fluxograma de informação da tarefa de triagem do PET.....	141
FIGURA 25	Posto de trabalho de triagem do plástico.....	143
FIGURA 26	Situações típicas relacionadas aos problemas posturais.....	148

FIGURA 27	Galpão de triagem atual.....	151
FIGURA 28	Tipos de tampas para vedação da embalagem PET.....	160
FIGURA 29	Tipos de rótulos.....	166

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Custo para a desmontagem e custo de aterro do produto, dependendo do número de passos de desmontagem executados..	62
GRÁFICO 2	Evolução do consumo de embalagens PET no Brasil.....	123
GRÁFICO 3	Coleta seletiva em Belo Horizonte.....	129

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Classe da abundância dos elementos.....	90
QUADRO 2	Níveis de reprojeto de produtos .....	101
QUADRO 3	Etapas da validação da análise da atividade.....	115
QUADRO 4	Visitas técnicas.....	117
QUADRO 5	Composição do material da embalagem PET.....	123
QUADRO 6	Vantagens e desvantagens dos tipos de processos de separação de resinas.....	124
QUADRO 7	Materiais plásticos comercializados pela Asmare .....	140
QUADRO 8	Síntese da comparação do galpão antigo e do galpão atual da Asmare.....	155
QUADRO 9	Comparação das possibilidades de intervenção relacionadas ao produto.....	159
QUADRO 10	Vantagens e desvantagens dos tipos de rótulos.....	162

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1	Alteração do material em um automóvel típico dos EUA (kg)....	91
TABELA 2	Evolução do consumo de embalagens PET no Brasil.....	122

## LISTA DE SIGLAS

ABAL – Associação Brasileira de Alumínio

ABEPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AET – Análise Ergonômica do Trabalho

AEA – Análise Ergonômica da Atividade

ASMARE - Associação de Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável

CAD – *Computer Aided Design* – Projeto Assistido por Computador

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DFA – *Design for Assembly* – Projeto para Montagem

DFC – *Design for Compliance* – Projeto para Conformidade

DFD – *Design for Disassembly* – Projeto para Desmontagem

DFE – *Design for Environment* – Projeto para Meio Ambiente

DFLC – Design for Life Cycle – Projeto para Ciclo de Vida

DFM – *Design for Manufactury* – Projeto para Manufatura

DFMA – *Design for Manufactury and Assembly* – Projeto para Montagem e Manufatura

DFMC – *Design for Material Logistics and Component Applicability* – Projeto para Logística do Material e Aplicação de Componente

DFMt – *Design for Maintainability* – Projeto para Sustentabilidade

DFR – *Design for Recycling* – Projeto para Reciclagem

DFS – *Design for Service* – Projeto para Serviço

DFSt – *Design for Sustainability* – Projeto para Sustentabilidade

DFT – *Design for Test* – Projeto para Teste

DFX – *Design for X* – Projeto para X ou *Design for Anything* – Projeto para Algo

ECD – *Environmentally Conscious Design* – Projeto Ambientalmente Consciente

ECM – *Environmentally Conscious Manufacturing* – Manufatura Ambientalmente

Consciente

ECP – *Environmentally Conscious Production* – Produção Ambientalmente Consciente

EIE – *Environmental Impact Evaluation* – Avaliação de Impacto Ambiental

EPA – *Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental

IBOPE – Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica

ISO – *International Organization for Standardization* – Organização Internacional de Normalização

LCA – *Life Cycle Analysis* – Análise do Ciclo de Vida

ONG's – Organizações não Governamentais

PPMA – Projeto para Meio Ambiente

REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis* – Análise de Recurso e Contorno Ambiental

RePMA – Reprojeto para Meio Ambiente

SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental

SMAS – Secretaria Municipal de Assistência Social

SMLU – Superintendência Municipal de Limpeza Urbana

SPI – *Society of the Plastic Industry* – Sociedade de Indústria Plástica

TC – *Technical Committee* – Comitê Técnico

WG – *Work Group* – Grupo de Trabalho

## SUMÁRIO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Contextualização.....	18
1.2 Objetivos.....	23
1.2.1 Objetivo geral.....	23
1.2.2 Objetivos específicos.....	23
1.3 Hipótese.....	24
1.4 Justificativa e relevância.....	24
1.4.1 Demanda ambiental no setor produtivo.....	25
1.4.2 Demanda social.....	31
1.4.3 Demanda de informações ambientais ao projetista.....	34
1.5 Estrutura do trabalho.....	36
Capítulo 2 – ESTADO DA ARTE.....	38
2.1 Introdução.....	38
2.2 Aspectos históricos.....	38
2.3 Produção ambientalmente consciente.....	41
2.3.1 Análise do ciclo de vida.....	42
2.4 Design for X .....	47
2.4.1 Projeto para Meio Ambiente.....	51
2.4.1.1 Projeto para Remanufatura.....	55
2.4.1.2 Projeto para Eficiência Energética.....	56
2.4.1.3 Projeto para Modularidade.....	57
2.4.1.4 Projeto para Reúso.....	58
2.4.1.5 Projeto para Desmontagem.....	59
2.4.1.6 Projeto para Reciclagem.....	68
2.4.1.6.1 Tipos de reciclagem.....	70
2.4.1.6.2 Exemplos de reciclagem nas indústrias.....	74
2.5 Considerações .....	82

Capítulo 3 – INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PROJETO E O REPROJETO DO PRODUTO PARA MEIO AMBIENTE.....	84
3.1 Introdução.....	84
3.2 Projeto do produto.....	84
3.3 Projeto do Produto para Meio Ambiente.....	87
3.3.1 Inclusão do DFE no projeto do produto .....	92
3.3.2 Considerações da reciclagem no Projeto para Meio Ambiente.....	95
3.4 Reprojeto do Produto para Meio Ambiente .....	99
3.5 Considerações .....	102
Capítulo 4 – METODOLOGIA DE PESQUISA.....	103
4.1 Introdução.....	103
4.2 O método estudo de caso.....	103
4.3 A pesquisa de campo.....	105
4.4 Procedimentos metodológicos .....	106
4.4.1 Análise da demanda.....	107
4.4.2 Exploração do funcionamento da associação.....	108
4.4.3 As observações.....	108
4.4.4 As entrevistas.....	110
4.4.5 As verbalizações.....	111
4.4.6 Escolha da situação a analisar.....	112
4.4.7 Análise da atividade.....	113
4.4.8 Validação.....	114
4.4.9 Diagnóstico.....	115
4.4.10 Procedimentos complementares.....	116
Capítulo 5 – ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA ATIVIDADE DE TRABALHO DO TRIADOR.....	118
5.1 Introdução.....	118
5.2 Histórico da Asmare.....	119
5.3 O desenvolvimento do produto PET.....	121

5.4 Etapas da análise.....	125
5.4.1 Análise da demanda.....	125
5.4.2 Características da Asmare.....	126
5.4.3 População trabalhadora.....	127
5.4.4 Análise da atividade.....	128
5.4.5 Galpão de triagem (antigo).....	129
5.4.5.1 Aspectos organizacionais.....	130
5.4.6 Análise da atividade da triagem de plásticos.....	138
5.4.6.1 Tarefa prescrita versus atividade real.....	139
5.4.6.2 O foco sobre a atividade.....	142
5.4.7 Pré-diagnóstico .....	149
5.4.8 Galpão de triagem atual .....	150
5.4.8.1 Comparação entre o galpão antigo e o atual.....	154
5.4.9 Diagnóstico.....	156
5.4.10 Recomendações.....	158
5.4.11 Resultados das visitas técnicas.....	159
5.5 Síntese.....	162
Capítulo 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	165
6.1 Introdução.....	165
6.2 Conclusão geral.....	165
6.3 Recomendações para trabalhos futuros.....	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	171
BIBLIOGRAFIA .....	180
ANEXOS.....	184
Anexo A – Organograma da Asmare.....	185
Anexo B – <i>Layout</i> do galpão de triagem da Asmare .....	186
Anexo C – <i>Layout</i> esquemático do galpão de triagem da Asmare .....	187

## Capítulo 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A sociedade moderna vive um paradoxo, pois exige um nível de conforto que só pode ser oferecido com o comprometimento da qualidade ambiental do planeta. Ao longo de sua evolução e desenvolvimento, tem produzido milhões de toneladas de lixo, transformando o meio ambiente em depósito de dejetos. De acordo com a Agência de Proteção ao Meio Ambiente (EPA), os Estados Unidos, em 1960, produziram 88 milhões de toneladas de lixo, e em 1990 atingiram o patamar de 196 milhões de toneladas (GUNGOR e GUPTA, 1998. p. 2). No Brasil são produzidas diariamente cerca de 240 mil toneladas de lixo (CEMPRE, 2001).

Ao longo da História, os recursos naturais sempre estiveram à disposição do ser humano para satisfazer suas necessidades, que, por sua vez, geraram um aumento na produção de bens e na criação de novas necessidades. Os recursos eram considerados tão abundantes que, ao retirá-los e ao despejá-los de volta em forma de lixo, as pessoas não se preocupavam com o papel que exerciam no equilíbrio ambiental do planeta nem com os danos causados ao meio ambiente.

Os avanços na produtividade modificaram, inevitavelmente, os padrões de consumo, e afetaram profundamente a natureza da atividade produtiva (MESZÁROS, 1996. p. 29). Ademais, a Revolução Industrial trouxe consigo o desenvolvimento e a manutenção de estruturas capazes de suportar estes padrões de consumo trazidos pelo capitalismo. A relação produção-consumo que se originou na sociedade industrializada não levou em conta a degradação do meio ambiente nem a redução dos recursos naturais.

Tradicionalmente não se considerava a acumulação de resíduos derivados dos processos produtivos e da disposição de rejeitos após a vida útil de um produto, e muitas vezes consideram-se gratuitos os recursos naturais, tidos como abundantes. Tais recursos, como espaço, solo, água estão tornando-se escassos e é necessário então que se formulem meios de incluí-los nos custos dos projetos (MAGALHÃES, 1998. p. 14).

Nas últimas décadas, a preocupação com as questões ambientais tem aumentado significativamente. Na década de 70, a questão ambiental era vista apenas como uma barreira para o desenvolvimento tecnológico, e as legislações regulamentavam os efeitos ambientais apenas no final do processo de alguns setores industriais, tais como siderurgia, petroquímica e papel/celulose, mediante *end of pipe solutions* (soluções de fim de tubo) – soluções caras e vistas pelos empresários como uma “punição” por causa de sua atividade. Já nas décadas de 80 e 90, notou-se uma modificação do pensamento ecológico por parte das indústrias e da sociedade, que começaram a perceber que a sobrevivência atual e o futuro da humanidade estão vinculados à ampliação da demanda ecológica sobre as atividades produtivas e consumidoras da sociedade (BITENCOURT, 2001, p. 1). Essa situação tem demandado mudanças no padrão de consumo da sociedade atual, levando as empresas a lançar novos produtos no mercado de forma cada vez mais acelerada. Conseqüentemente, o ciclo de vida dos produtos se torna progressivamente curto e a quantidade de produtos descartados no meio ambiente aumenta drasticamente.

Em decorrência da necessidade de conservação dos recursos naturais, com áreas cada vez mais reduzidas para a destinação final dos resíduos sólidos<sup>1</sup> que limitem contaminação do meio ambiente, urge que sejam encontrados meios para uma destinação correta dos resíduos. Os fabricantes e os projetistas já estão sendo pressionados pelos governos por meio de leis ambientais e as tendências atuais da legislação de proteção ambiental indicam que os fabricantes serão responsáveis pela destinação final do produto, após o final da sua vida útil. Diante disso, uma reavaliação do paradigma tradicional de produção tem emergido. Novas ferramentas e métodos de Projeto para Meio Ambiente buscam alternativas para produtos mais adequados às novas necessidades de preservação ambiental.

A reciclagem do produto, após o fim do ciclo de vida, vem sendo uma das formas mais sensatas para tratar esse problema. Por outro lado, a maioria dos produtos fabricados entre quinze e vinte anos atrás, e que atualmente são descartados no meio ambiente, não foram projetados para serem reciclados. As conseqüências disso já são visíveis pela saturação dos aterros sanitários, pela redução dos recursos naturais e pelos impactos ao meio ambiente. Diante disso, pesquisas atuais vêm sendo direcionadas ao *Design for Environment* (DFE), especificamente, ao *Design for Disassembly* (DFD) e ao *Design for Recycling* (DFR), expressões inglesas que podem ser traduzidas como Projeto para Meio Ambiente, Projeto para Desmontagem e Projeto para Reciclagem, respectivamente (FIG. 1).

---

<sup>1</sup> Resíduos sólidos ou lixo são *os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejados ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido* (ABNT, 1987a apud IPT, 2000, p. 29).

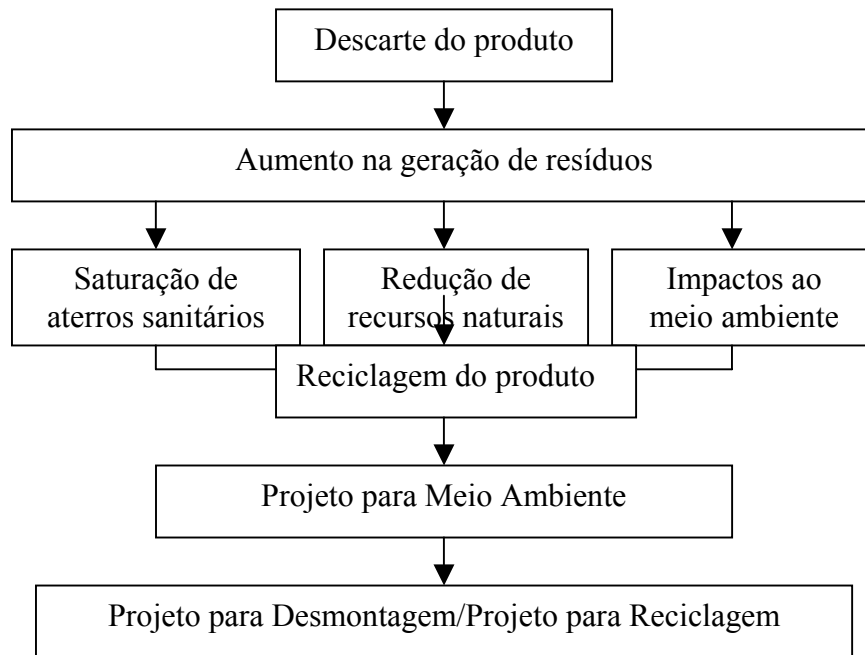


FIGURA 1 – Configuração do problema do descarte do produto

O DFD é o fator-chave para o DFR porque possibilita a remoção de componentes para o reaproveitamento e para a reciclagem de produtos. Segundo Kriwet et al (1995), o projetista exerce papel fundamental no melhoramento da reciclabilidade do produto, pois ele tem de levar em consideração os requisitos do processo de reciclagem. Entretanto, é difícil para o projetista projetar pensando na reciclagem, levando em consideração a atividade do trabalhador que vai lidar com esse processo (desmontagem e/ou reciclagem) (FIG. 2). Duarte (1997) ressalta que esse tipo de atividade, por estar mais distante do fabricante, raramente recebe atenção dos projetistas. As conseqüências, por sua vez, já são visíveis pela saturação dos locais de disposição final de produtos – os aterros sanitários. Torna-se difícil para o projetista obter as informações necessárias para o atendimento de melhorias dentro do campo de desenvolvimento de novos e de reprojeto de produtos. Dentro desse contexto, o problema se manifesta nas dificuldades encontradas para a desmontagem dos componentes do produto,

consideradas como ineficiências do projeto, que, conseqüentemente, inviabiliza o processo da reciclagem.

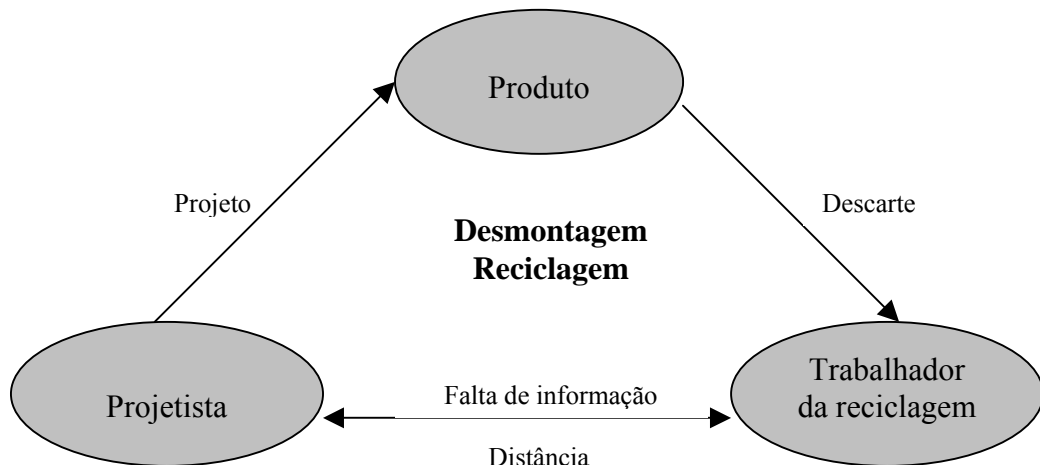


FIGURA 2 – O produto como relação entre o projetista e o trabalhador da reciclagem

Neste trabalho propõe-se o uso da metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho (AET) como ferramenta de apoio ao projeto do produto (GUÉRIN et al., 2001). Assim, o foco principal da pesquisa é a análise do processo de desmontagem, buscando identificar os pontos de possíveis melhorias do projeto do produto, vistos a partir da atividade do “trabalhador da reciclagem” em um dos grandes centros de triagem para a reciclagem do setor de embalagens. Trata-se de uma investigação sobre como e por que o produto que não foi projetado com os requisitos ambientais afeta na atividade do trabalhador. Dessa forma, essa metodologia pode auxiliar o projetista, trazendo elementos úteis à concepção do produto.

O estudo de caso em uma unidade de triagem para a reciclagem de produtos de uso cotidiano, além de ser considerado um modelo sustentável e bem-sucedido em vários países, principalmente no Brasil, tem ainda a vantagem de ser exemplar como demonstração empírica

da aplicação da AET, que tem como cerne a análise da atividade em situação real. A seguir, são apresentados os objetivos pretendidos nesta pesquisa.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Demonstrar como é possível identificar as oportunidades de melhoria no projeto do produto, do ponto de vista do Projeto para Reciclagem – DFR, utilizando-se a metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho – AET.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Propor o uso da metodologia da AET para identificar pontos de possíveis melhorias no projeto do produto, por meio da análise das dificuldades encontradas nas atividades dos operadores de triagem, para a reciclagem;
- Auxiliar os projetistas, fornecendo-lhes informações e diretrizes, no sentido de incorporar ao projeto do produto meios que o torne fácil de desmontar para viabilizar a reciclagem;
- Orientar a identificação do nível de reprojeto mais adequado a um produto, pelo levantamento de pontos de possíveis melhorias de projeto identificadas por meio das dificuldades dos “trabalhadores da reciclagem”;

- Disponibilizar ferramentas de Projeto para Meio Ambiente que auxiliem os projetistas na concepção de produtos que facilitem a desmontagem e viabilizem a reciclagem.

### **1.3 HIPÓTESE**

Neste trabalho, parte-se da hipótese de que a AET pode contribuir com os projetistas, fornecendo-lhes informações sobre os pontos de possíveis melhorias no projeto do produto para o Projeto para Reciclagem – DFR. O levantamento de informações sobre as possíveis melhorias de projeto implica na aplicação da AET em análises de processos de desmontagem manual (não destrutiva).

### **1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

As justificativas desta pesquisa são apresentadas sobre os seguintes aspectos: o primeiro refere-se à demanda ambiental no setor produtivo; o segundo refere-se à demanda social e o terceiro refere-se à demanda de informação do projetista na etapa do desenvolvimento de produto.

### 1.4.1 Demanda ambiental no setor produtivo

As tendências atuais da legislação de proteção ambiental indicam que os fabricantes serão responsáveis pela destinação final do seu produto, após o final da sua vida útil. As empresas vêm sofrendo várias pressões ambientais, pelas legislações, pela sociedade, pelas normalizações e pelos concorrentes.

**Legislações:** Uma das formas mais relevantes para pressionar as indústrias em relação aos impactos ambientais<sup>2</sup> é mediante leis ambientais. Nos países desenvolvidos, essas práticas já estão bem avançadas. Na França, o descarte de embalagens domésticas gera aproximadamente 4,6 milhões de toneladas por ano, constituindo uma grande preocupação com o meio ambiente. Para isso, um decreto de 1º de abril de 1992 obriga os produtores, importadores e aqueles que utilizam as embalagens industrialmente a se responsabilizarem pela gestão desses resíduos. A ECO-EMBALAGEM, empresa criada a partir desse decreto, recolhe um centavo de franco francês por embalagem, para financiar pesquisas tecnológicas e desenvolvimento de projetos, para auxiliar as municipalidades a encorajar a coleta seletiva de cinco materiais: o vidro, o aço, o alumínio, o plástico e o papelão (OPPENEAU, 2000).

O lixo eletroeletrônico também começa a preocupar empresas e governos. A diminuição do ciclo de vida dos eletrodomésticos, equipamentos eletrônicos e de informática e o crescente consumo fazem aumentar e antecipar o descarte desses produtos. Nos países da Europa e nos

---

<sup>2</sup> Impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização (ABNT, 1996, p. 4 citado por RAMOS 2001, p. 9).

Estados Unidos, a legislação obriga as empresas a se responsabilizarem por esse problema. Na Alemanha, o Decreto do Lixo Eletrônico, tornado lei em 1995, diz que os fabricantes de produtos eletrônicos devem recolher e reciclar os produtos usados pelos consumidores (DILLON, 1994 apud HANFT e KROLL, 1996). A lei de 1995 também estabeleceu metas de reciclagem onde declarava que aço, metais não ferrosos, pneus, vidros e plásticos deviam ser reciclados em 100%, 85%, 40%, 30% e 20%, respectivamente (GUNGOR E GUPTA, 1998).

Em alguns países, como a Alemanha, a Holanda, a Suécia, a Bélgica e o Japão, a legislação obriga o fabricante a aceitar a devolução do produto, quando o consumidor não o desejar mais. Por exemplo, uma geladeira, após ser usada, pode ser devolvida à loja de origem, que é encaminhada à fábrica, onde é feita a reciclagem. Nesses países, as empresas têm incentivos do governo, como subsídios ou descontos nos impostos para investirem na reciclagem dos seus produtos (LUCENA, p. 17, 2001).

No Brasil, apesar de a legislação ambiental estar defasada em relação aos países desenvolvidos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA criou uma lei que entrou em vigor em 1º de janeiro de 2002, obrigando os fabricantes e importadores de pneus a se responsabilizarem pelo reaproveitamento ou destinação final do seu produto. Em 2002, a cada quatro pneus fabricados, um terá de ser reaproveitado. Em 2003, a cada quatro pneus fabricados, dois terão de ser reaproveitados, e em 2004 esta proporção será de um para um. Há um grande interesse do Poder Legislativo em criar meios para solucionar os problemas do setor produtivo relacionados ao meio ambiente, o que pode ser visto pelo grande número de projetos de leis em tramitação no Congresso Nacional.<sup>3</sup> Como exemplos temos:

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sqa/brasiljl/doc/rplsrscn.pdf>> Acesso em 4 fev. 2003.

- Conjunto de projetos de leis sobre embalagens: PL 1857/99 e PL 2201/99 – estabelece normas para destinação final de garrafas e outras embalagens plásticas; PL 2013/99 – dispõe sobre a reutilização e reciclagem de polietileno de tereftalato – PET; PL 4558/98 – dispõe sobre a criação de selo ambiental para embalagens;
- Conjunto de projetos de leis sobre reciclagem: PL 2949/97 – dispõe sobre a obrigatoriedade de reciclagem dos materiais plásticos, metálicos e borrachas utilizados na fabricação de automóveis e de outros veículos automotores; PL 1016/99 – institui o programa nacional de renovação e reciclagem de veículos automotores;
- Conjunto de projetos de leis sobre pilhas e baterias: PL 2216/99 – dispõe sobre a obrigatoriedade de recolhimento e reutilização, reciclagem ou disposição final de baterias.

Nesse contexto, as empresas assumem importância fundamental, devendo substituir qualquer postura reativa,<sup>4</sup> em relação às questões ambientais, por uma postura proativa.<sup>5</sup>

**Normalizações:** Uma das principais normas internacionais que trata das questões ambientais nas empresas é a série ISO 14000. Estas vêm sendo desenvolvidas desde 1993, pelo Comitê Técnico – TC 207<sup>6</sup> da *International Standardization Organization (ISO)*.<sup>7</sup> Embora essa série não seja considerada obrigatória nas empresas, ela representa um diferencial de competitividade, principalmente no mercado internacional. Nascimento e Poledna (2002),

---

<sup>4</sup> Postura reativa é caracterizada por uma estratégia passiva, ou seja, a empresa adota estratégias apenas sobre pressões externas (legislação, normalização, concorrentes e consumidores).

<sup>5</sup> Postura proativa é caracterizada por uma estratégia ativa, ou seja, a empresa adota estratégias em antecipação às pressões externas.

<sup>6</sup> TC 207 foi instituído em março de 1993, na ISO para tratar da série 14000, para Gestão Ambiental. O TC 207 é formado por um Comitê coordenador, secretariado pelo Canadá, e por seis subcomitês (SC 01 A SC 06), com seus respectivos grupos de trabalho (WG), cada qual destacando suas lideranças – todas sendo dos países do Primeiro Mundo (MAGALHÃES, 1998, p. 11).

<sup>7</sup> ISO é uma federação mundial de organismos nacionais de normatização, fundada em 1947. É uma organização não-governamental e conta com apenas um membro de cada país a ela associado (MAGALHÃES, 1998, p. 10).

realizaram uma pesquisa em empresas brasileiras certificadas pela ISO 14000, no período de 1995 a 1998. A pesquisa revelou que todas as empresas obtiveram ganhos ambientais<sup>8</sup> e benefícios com a implementação da norma e que esse foi um fator dinamizador da variável competitividade das empresas. Segundo os autores, os benefícios que uma empresa pode obter com a implantação da ISO 14000 são:

- Redução do custo de disposição de resíduos;
- Melhoria da imagem, da relação com os clientes e melhoria do relacionamento com as autoridades regulamentadoras;
- Aumento do acesso aos fundos de investimentos;
- Redução do seguro de investimentos;
- Redução dos riscos de responsabilidade de despoluição;
- Redução do custo de energia;
- Habilidade para correção de problemas potenciais antes de causar danos ambientais;
- Demonstração de comportamento ambiental esperado;
- Organizações que são proativas, em oposição às reacionárias podem atingir estratégias e vantagens competitivas sustentáveis por meio de sistemas de gestão ambiental.

As normas ISO 14000 tratam de dois aspectos diferentes, um direcionado para as organizações ou processos e outro direcionado para produtos, sendo cada um dividido da seguinte forma:

---

<sup>8</sup> Ganho ambiental é entendido como o potencial de redução do impacto ambiental no ciclo de vida do produto, que pode ser adquirido por meio do reprojeto (BITENCOURT, 2001, p. 28).

Normas para as organizações ou processos:

- ISO 14001/1996: Sistema de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso;
- ISO 14004/1996: Sistema de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre princípios e técnicas de apoio;
- ISO 14010/1996: Diretrizes para auditoria ambiental – princípios gerais;
- ISO 14011/1996: Diretrizes para auditoria ambiental – procedimentos para auditoria; e
- ISO 14012/1996: Diretrizes para auditoria ambiental – critérios de auditores ambientais.

Normas orientadas para produtos:

- ISO 14020: Rotulagem ambiental – proporciona princípios para direcionar o desenvolvimento de selos ambientais;
- ISO 14040: Análise do ciclo de vida de produto – princípios gerais e procedimentos;
- ISO 14041: Análise do ciclo de vida do produto – definição do objetivo, do escopo e da análise do inventário;
- ISO 14042: Análise do ciclo de vida do produto – avaliação de impactos ambientais; e
- ISO 14043: Análise do ciclo de vida do produto – interpretação do ciclo de vida.

De acordo com as normas orientadas para produtos, o programa de rotulagem ambiental por meio de rótulo<sup>9</sup> ecológico é considerado a forma mais disseminada, estando presente em mais de vinte países, na sua maioria desenvolvidos (EPA, 1993a apud DUARTE, 1997). Os rótulos ecológicos têm como objetivo indicar ao consumidor a melhor opção, quanto ao impacto ambiental, de um produto em relação a outros que possuem a mesma função. Como exemplos de rótulos ecológicos temos (DUARTE, 1997):

---

<sup>9</sup> Rótulos ecológicos são selos verdes.

- *Blue Angel* (alemão): desenvolvido em 1977, é o programa de rotulagem ecológica, mais antigo implementado por um país. É atribuído a produtos que apresentem características ecológicas e textos explicativos em seus rótulos, por exemplo, produto feito de papel 100% reciclável;
- *Green Seal* (norte-americano): é um programa de rotulagem ecológica criado em 1989, com o objetivo de fixar parâmetros ambientais para produtos, rotulagem de produtos e educação ambiental nos Estados Unidos. O programa realiza, para cada produto, uma Avaliação de Impacto Ambiental – EIE<sup>10</sup> (*Environmental Impact Evaluation*);
- *Ecomark* (japonês): é um programa em que o rótulo, além de ser usado em produtos, pode ser utilizado em programas de iniciativas ambientais (reciclagem de garrafas e de latas);
- *European Community's Ecolabel* (Comunidade Européia) – é um programa regional e atende ao maior mercado importador de produtos brasileiros; e
- Qualidade Ambiental-ABNT (brasileiro).

**Consumidores:** Os consumidores têm mostrado que estão mais conscientes em relação aos problemas ambientais causados pelos produtos. No Brasil, uma pesquisa realizada em São Paulo, em 1994, pela DIL Consultores e pela *Research International*, em que foram entrevistados consumidores entre 18 e 65 anos e de todas as faixas de poder aquisitivo, mostrou uma significativa mudança nos hábitos dos consumidores que compram em supermercados. Para 87% dos entrevistados a reciclagem é considerada muito importante e 16% afirmaram ter deixado de comprar produtos cujas embalagens agridem o meio ambiente (DUARTE, 1997).

---

<sup>10</sup> A EIE é uma forma simplificada de Avaliação do Ciclo de Vida, dirigida aos mais significantes impactos ambientais e cobre todo o ciclo de vida: extração, fabricação, distribuição, uso e descarte (DUARTE, 1997).

Outra pesquisa realizada em 1998 pelo IBOPE<sup>11</sup> demonstrou que o consumidor brasileiro está disposto a pagar mais caro por um produto que não agrida o meio ambiente. Nessa pesquisa, 68% dos entrevistados foram a favor, 24% contra e 8% não opinaram.

#### **1.4.2 Demanda social**

O processo de recuperação do produto para reinseri-lo no ciclo produtivo é de grande complexidade, pois é necessário que haja sensibilização e conscientização da sociedade consumidora; mecanismos para realização da coleta seletiva; mercado para absorção do material recuperado; tecnologia para efetuar a reciclagem; e, principalmente, estrutura para realização da triagem do material. No Brasil, alguns municípios vêm se destacando na busca de soluções pautadas para tratar essas questões. Na cidade de Curitiba, no ano de 1989, a Prefeitura implantou o programa *Lixo que não é Lixo*. O projeto foi premiado pela Organização das Nações Unidas (ONU) por apresentar um dos maiores índices de reciclagem do Brasil. Paralelamente, a cidade do Rio de Janeiro foi escolhida pelos Ministérios do Meio Ambiente do Brasil e da Alemanha para ser “piloto” no programa denominado *Estudo Teuto-Brasileiro no Campo de Gerenciamento Municipal de Resíduos Sólidos*. Neste caso, o objetivo do programa é a instalação de uma Usina de Reciclagem, a qual faria a coleta seletiva de bens potencialmente recicláveis e, em especial, de embalagens. Em Minas Gerais, na cidade de Belo Horizonte, a Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) iniciou, em 1993, um gerenciamento diferenciado dos resíduos sólidos não só no aspecto tecnológico, como

---

<sup>11</sup> Disponível em <[http://www.uol.com.br/ambienteglobal/site/consumidor\\_verde/consumidor\\_pesquisa.htm](http://www.uol.com.br/ambienteglobal/site/consumidor_verde/consumidor_pesquisa.htm)>. Acesso em 4 de junho de 2001.

também na incorporação de componentes socioambientais. Esse modelo tomou como base três pontos: consciência tecnológica, qualificação dos trabalhadores e participação popular.

De acordo com o Cempre (2001), 135 municípios brasileiros realizam programas de coleta seletiva. A coleta seletiva de lixo *é o processo através do qual ocorre a separação do resíduo de acordo com sua composição, visando os aspectos positivos sob os pontos de vista sociais, ecológicos e econômicos* (BRANDT, 1998). É considerado um dos grandes fatores que contribui para o desenvolvimento da reciclagem de materiais, pois por intermédio dela é possível separar os materiais por tipo (papéis, plásticos, vidros, metais, etc.), o que facilita o manuseio e o processo de reaproveitamento do lixo urbano. A atividade da triagem de materiais é a etapa subsequente à etapa da coleta seletiva, pois é o processo de uma separação minuciosa dos materiais para atender à demanda das indústrias, sendo fundamental para facilitar e viabilizar o processo da reciclagem.

A atividade de trabalho dos atores (“catadores de papel” e “trabalhadores da reciclagem”) envolvidos nesse processo é considerada “peça-chave”. No Brasil e em outros países em desenvolvimento, essa atividade é fruto de uma demanda social em que milhares de pessoas vivem da remuneração proveniente da catação em “lixões”, nas ruas, e da separação de materiais em associações e em usinas de triagem. Segundo o Cempre (2001), estima-se que cerca de 200 mil catadores de rua atuam na coleta de vários tipos de materiais recicláveis.

Apesar dos resultados positivos apresentados pelos centros de triagem e pelas recicladoras, o quadro é paradoxal. Se, por um lado, esses programas trazem benefícios do ponto de vista socioambiental, reduzindo o descarte do lixo em aterros sanitários e em “lixões”, reduzindo a

extração de recursos naturais, gerando fonte de renda, possibilitando a inclusão social, por outro lado, a maioria dos locais existentes para executar essa atividade no Brasil encontra-se em situações precárias, não oferecendo condições dignas de trabalho para os que lidam com tal atividade. Essa situação pode ser vista, por exemplo, pelas condições subumanas a que são submetidos esses trabalhadores, como puxar carros construídos de forma precária, com grande quantidade de material e peso, e terem que se misturar com o objeto de trabalho – o “lixo”. Somam-se a isso a falta de reconhecimento da profissão que de uma forma geral esses trabalhadores são discriminados pela sociedade e a falta de valorização na comercialização do material triado. Os trabalhadores que lidam com essa atividade possuem uma baixa renda, que é decorrente do baixo valor agregado ao material reciclável, muitas vezes, demandando um grande número de etapas de desmontagem do produto, que inviabiliza o processo. Sob esse último aspecto, a intervenção do projetista na fase de projeto do produto é fundamental para viabilizar a eficiente desmontagem (pós-descarte), o que conseqüentemente aumentaria o rendimento desses trabalhadores e melhoraria a qualidade do trabalho desempenhado pelos “trabalhadores da reciclagem”.

Não se trata, entretanto, somente de aspectos ligados à geração de renda, por si só, uma justificativa plenamente suficiente para a abordagem voltada a esta atividade. Trata-se também da própria inclusão desses trabalhadores em um universo de cidadania e posição social reconhecida, em oposição à tradicional visão do reciclador como “catador” ou “miserável”, tão disseminada em uma sociedade fortemente desigual como a brasileira. Neste caso, a inclusão se dá não somente no nível de acesso ao consumo por intermédio da melhoria dos rendimentos com a atividade, mas na consolidação do trabalho de reciclagem como socialmente relevante e digno para os trabalhadores daquele espaço. Neste caso, a intervenção

sobre o trabalho possui mais um importante resultado, representado, especialmente, pela consciência do trabalhador e de sua função social, o que é demonstrado, durante a pesquisa, pelas reações de espanto e inicial constrangimento pela surpresa de ter sua atividade “estudada” e reconhecida como relevante na estrutura social. Este parece ser um passo importante para a melhoria das condições de trabalho, ou seja, o reconhecimento, pelo trabalhador, de sua relevância e da importância de sua atividade como caminho para a inclusão social, bem como de sua função como “ator” na relação com o produto, seu papel de consumidor do produto no final de seu ciclo de vida, ou como o responsável direto pela cada vez mais necessária extensão desse ciclo de vida.

Nesse contexto, há uma evidente demanda por metodologias de projeto que levem em conta aspectos socioambientais, ou seja, que busque a sustentabilidade para tratar da complexidade desse sistema. Essa metodologia poderá ser denominada *Design for Sustainability* (DFSt) – Projeto para Sustentabilidade.

### **1.4.3 Demanda de informações ambientais ao projetista**

Atualmente, o projetista necessita de informações ambientais para o desenvolvimento de projeto de um produto novo ou para o reprojeto de um produto. RAMOS (2001, p. 13-14) analisou a grade curricular das principais escolas de Design Industrial do Brasil até o ano de 2000 e constatou a inexistência de disciplinas que tratam das questões ambientais dos produtos e as suas implicações na atividade de projeto.

Em Back (1983, p.25-26) apresenta uma lista indicando uma série de fontes de informações para os projetistas:

- biblioteca técnica;
- anais de congressos;
- relatórios de comissões técnicas;
- artigos publicados;
- revistas e periódicos;
- instituições profissionais;
- organizações ou associações de indústrias;
- associações técnicas;
- organizações de normas;
- seminários ou cursos especiais;
- escolas ou institutos de pesquisas;
- arquivos da companhia;
- notas pessoais;
- contatos pessoais com colegas e outros;
- feiras de amostras;
- agentes;
- usuários do produto;
- resultados experimentais;
- folhetos técnicos e catálogos de fornecedores;
- fundamentos de engenharia e dados de projeto;
- detalhes de projeto, de materiais e fabricação;
- informações comerciais, de mercadologia e custos;

- dados de aplicação e informações do uso do produto;
- dados de normas;
- métodos de trabalho e administração.

Apesar do grande número de fontes de consultas citadas acima, existem certos tipos de informações que somente poderão ser obtidas por meio de análises específicas do produto a ser projetado ou reprojeto. Nesse sentido, este trabalho apresenta contribuições para o uso da metodologia da AET. Por ter como característica principal a singularidade de suas proposições, seja para aplicação em produtos específicos, seja para o levantamento de informações, ele pode fornecer diretrizes aos projetistas para o desenvolvimento de projetos e de reprojeto de produtos.

Diante do exposto, elaborou-se esta dissertação, cuja estrutura será apresentada no próximo item.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação foi organizada em capítulos descritos da seguinte forma:

**Capítulo 1 – Introdução** – Este capítulo apresenta o tema abordado neste trabalho, os problemas relacionados à reciclagem do produto, os objetivos pretendidos, a hipótese formulada, a justificativa da pesquisa e a estrutura estabelecida.

**Capítulo 2 – Estado da arte** – Trata da revisão bibliográfica específica ao tema. São abordados alguns aspectos históricos que deram origem ao DFX e as abordagens de Projeto para Meio Ambiente, especificamente, o Projeto para Desmontagem e o Projeto para Reciclagem.

**Capítulo 3 – Informações necessárias para o projeto e o reprojeção do produto para meio ambiente** – Procura mostrar as informações necessárias direcionadas aos projetistas para que estas sejam incorporadas ao projeto e ao reprojeção do produto, considerando os requisitos ambientais para facilitar a reciclagem.

**Capítulo 4 – Metodologia de pesquisa** – Enfoca o método utilizado na construção deste trabalho e descreve as etapas utilizadas que conduziram a pesquisa de campo.

**Capítulo 5 – Estudo de caso** – Trata do estudo de caso. Neste capítulo, aplica-se a metodologia da AET em uma unidade de triagem de materiais recicláveis, com o objetivo de demonstrar que é possível identificar as deficiências de projeto que dificultam a reciclagem do produto. Estabelece-se a aplicação da metodologia em uma situação de desmontagem de um produto simples, ficando para trabalhos futuros a aplicação em produtos complexos.

**Capítulo 6 – Conclusões e recomendações** – Mostra as conclusões do trabalho como também faz recomendações para trabalhos futuros no campo de aplicação da metodologia em situações de desmontagem/reciclagem de produtos. Por fim, apresentam-se os anexos que auxiliam a ilustrar certas passagens do texto desta dissertação.

## Capítulo 2

### ESTADO DA ARTE

#### 2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo encontra-se revisão de literatura do estado da arte sobre as abordagens de Projeto para X – *Design For X (DFX)* baseadas nos conceitos da Produção Ambientalmente Consciente – *Environmentally Conscious Production (ECP)*; Projeto para o Meio Ambiente – *Design For Environment (DFE)*, enfatizando o Projeto para Desmontagem – *Design for Disassembly (DFD)*; e o Projeto para Reciclagem – *Design For Recycling (DFR)*. Os diferentes paradigmas apresentados neste capítulo fornecem aos projetistas ferramentas, informações, aplicações e diretrizes para incorporar o componente “reciclagem” no projeto do produto.

#### 2.2 ASPECTOS HISTÓRICOS

Durante a Revolução Industrial, os assuntos relacionados à questão ambiental não foram tratados com grande interesse em relação ao projeto de produtos manufaturados. Desde essa

época houve um aumento exagerado na fabricação de produtos de consumo<sup>12</sup> que implicou o aumento do uso de recursos naturais (matéria-prima, energia, água, etc.) nos processos<sup>13</sup> de produção (GUNGOR e GUPTA, 1998).

No início dos anos 60, algumas indústrias desenvolveram diretrizes de produção para serem usadas durante o projeto do produto. Um exemplo relevante foi o *Manufacturing Productivity Handbook*, publicado em 1960, para uso interno pela *General Electric Corporation* nos EUA. Segundo Kuo et al (2001), os dados da produção foram publicados em grande volume, servindo como referência importante aos projetistas para que estes obtivessem informações necessárias para um projeto eficiente. A ênfase desse livro foi, no entanto, atribuída à produtividade. Muito pouca atenção foi dada aos processos de produção e montagem.

Na década de 70, uma série de estudos sobre *Design for Assembly* (DFA) – Projeto para Montagem foram conduzidos por Boothroyd e Dewhurst, que consideraram as barreiras para a montagem, durante os estágios do projeto, ou seja, métodos de montagem e custo (KUO et al, 2001). O DFA Boothroyd-Dewhurst nasceu da pesquisa de alimentação e inserção automática. Os produtos projetados para montagem manual começaram a exigir um reprojeto para montagem automática. O DFA foi direcionado, pela sua habilidade, para resolver problemas e alcançar grandes economias, não somente na montagem automatizada, como também, na montagem manual o que é considerado surpreendente.

---

<sup>12</sup> Produtos são itens ou objetos vendidos por uma corporação, por exemplos, clipes para papel, embalagens, eletrodomésticos, automóveis, aviões etc (GRANDEL e ALLENBY, 1996).

<sup>13</sup> Processos são as técnicas pelas quais os produtos são feitos, por exemplo, a produção do vidro a partir da areia (GRANDEL e ALLENBY, 1996).

A partir do DFA, foi desenvolvido por Stoll (1988), o conceito de *Design for Manufacturing* (DFM) – Projeto para Manufatura, com o objetivo de considerar simultaneamente todas as metas do projeto e barreiras para os produtos que iriam ser produzidos. As implementações do DFA e DFM levaram a enormes benefícios, entre eles: a simplificação de produtos; a redução da montagem e custos de produção; o melhoramento da qualidade e a redução do tempo para o mercado (KUO et al, 2001).

Paralelamente à introdução dos estudos do DFA foram iniciados também os estudos da Análise do Ciclo de Vida – ACV. No início da década, a crise do petróleo provocou uma crescente busca por formas alternativas de energia e uma grande necessidade de uma melhor utilização dos recursos naturais. Em consequência disso, foram desenvolvidos, nessa época, os primeiros estudos utilizando a ferramenta da ACV (CHEHEBE, 1998). Segundo PRATES (1998), no período de 1970 e 1975 foram realizadas aproximadamente 15 análises. De 1975 até o início da década de 80, o interesse sobre estes estudos foi reduzido por causa do fim da crise do petróleo. No final da década de 80 houve uma proliferação dos estudos sobre ACV, tendo sido conduzidos, entre o período de 1988 e 1991, mais de 100 análises nos EUA.

Na década 90, as preocupações com o meio ambiente fizeram emergir vários assuntos sobre desmontagem e reciclagem durante os estágios do projeto. Diante disso, os pesquisadores começaram a focar seus estudos no Projeto para o Ciclo de Vida (DFCL), Projeto para o Meio Ambiente (DFE), Projeto para Desmontagem (DFD) e Projeto para Reciclagem (DFR). Esses estudos são chamados, de forma genérica, “Projeto para X” (DFX). A partir dessa época torna-se cada vez mais ampla a literatura sobre aplicações de DFX no design e na produção de bens.

Apesar de a maioria dos estudos e publicações sobre estas últimas ferramentas citadas terem sido feitas a partir da década de 90, as pesquisas sobre desmontagem e reciclagem de produtos não são recentes. As pesquisas direcionadas para a desmontagem foram iniciadas na Europa, desde meados de 1980. Uma das primeiras pesquisas nessa área foi feita pela BMW, em projetos piloto, onde foram criadas diretrizes sobre o projeto para reciclagem (CONSTANCE, 1992, apud HANFT; KROLL, 1996). No caso da reciclagem, as pesquisas foram iniciadas desde o século passado. Um exemplo relevante pode ser visto pela iniciativa de Henry Ford que, em 1910, já falava sobre a reciclagem de materiais automotivos no mundo. Na década de 20, iniciou-se o processo de remanufatura, com o condicionamento de peças, e em 1950 surgiu o sistema de enfardamento por meio de uma superprensa que era capaz de prensar os carros, inteiramente, para facilitar o transporte e o uso nas aciarias de grande porte, principalmente nos Estados Unidos (AGUIAR, 2002, p. 148).

### **2.3 PRODUÇÃO AMBIENTALMENTE CONSCIENTE**

A Produção Ambientalmente Consciente – ECP (*Environmentally Conscious Production*) é uma abordagem que está preocupada com o desenvolvimento de métodos para a fabricação de novos produtos, começando do projeto conceitual à entrega final, incluindo o descarte do produto pós-uso de acordo com os padrões ambientais e requisitos exigidos.

A ECP engloba todos os assuntos que estão relacionados com a interação do produto com o meio ambiente e consiste de dois conceitos-chave (GUNGOR; GUPTA, 1998, p. 6):

1. Entender o ciclo de vida do produto e seu impacto no meio ambiente, em cada um de seus estágios de vida; e
2. Tomar decisões durante o projeto do produto e da produção, de modo que os atributos do meio ambiente e o processo de produção sejam mantidos em um nível desejado.

### Projeto Ambientalmente Consciente

O Projeto Ambientalmente Consciente – ECD (*Environmentally Conscious Design*) tem como objetivo projetar produtos com certas considerações ambientais. O ECD enfatiza a Análise do Ciclo de Vida e o Projeto para Meio ambiente dentro de uma Produção Ambientalmente Consciente gerando novos produtos “ambientalmente amigáveis” (FIG. 3).

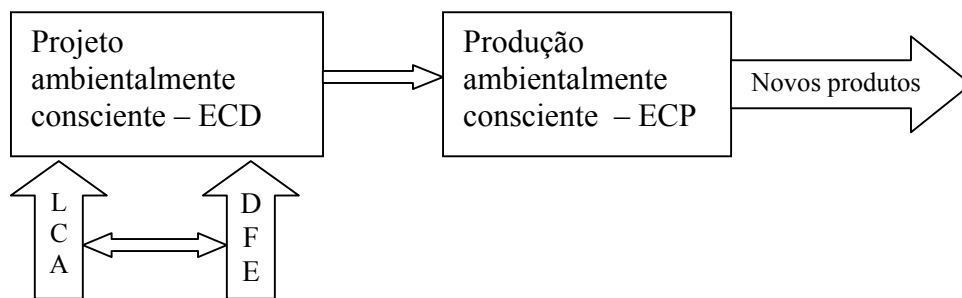


FIGURA 3 – Produção ambientalmente consciente

FONTE – GUNGOR e GUPTA, 1998. p. 6.

#### 2.3.1 Análise do ciclo de vida

De acordo com a definição da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC),

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

A ACV é uma técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e os impactos que estão associados a um produto, englobando todas as etapas do sistema produtivo, desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto, incluindo sua reciclagem (berço a berço), como mostra a FIG. 4.

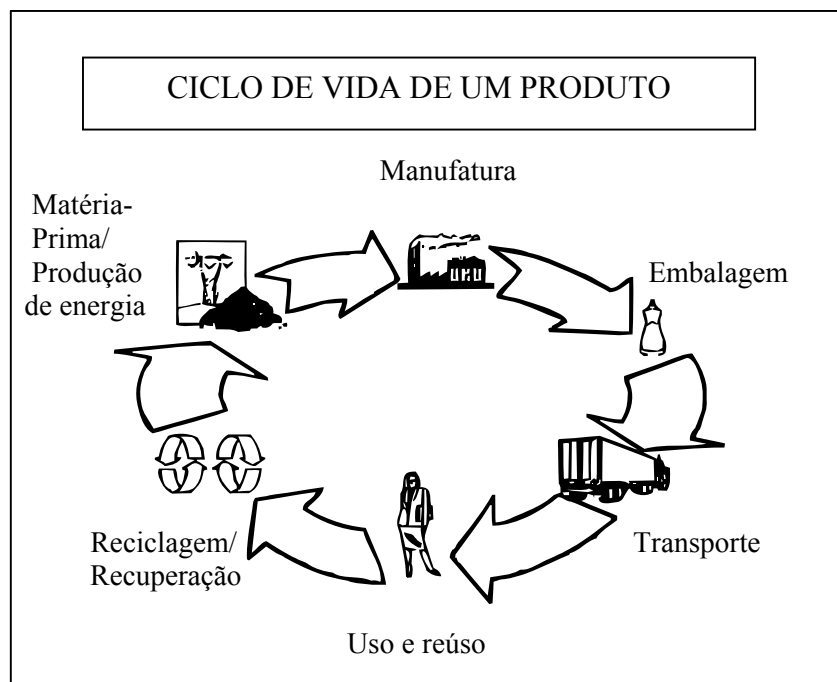


FIGURA 4 – Ciclo de vida de um produto

FONTE – CHEHEBE, 1998, p. 11.

A ACV é definida por Prates (1998) como uma abordagem holística que analisa o sistema, em torno de determinado produto. A análise leva em consideração a extração de matérias-primas, o processamento, a manufatura, o transporte e a distribuição, o uso e o reúso, a manutenção, a

reciclagem e o gerenciamento de resíduos. Além dessas considerações, Magalhães (1998) destaca os itens energia, recursos naturais e resíduos e leva em consideração as conseqüências para o homem e para o ambiente, ou seja, analisa o sistema produtivo e o meio ambiente, como mostra a FIG. 5.

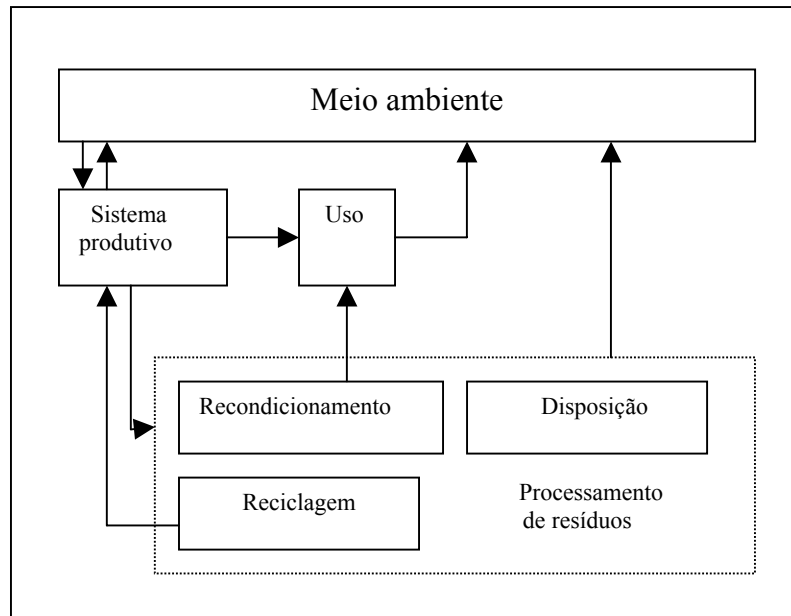


FIGURA 5 – Relação do sistema produtivo x meio ambiente

FONTE – MAGALHÃES, 1998, p. 104.

As fases da ACV estabelecidas pela ISO 14040, normalmente encontradas na literatura (MAGALHÃES, 1998; CHEHEBE, 1998; DUARTE, 1997; PRATES, 1998), são descritas conforme se segue e como mostra a FIG. 6:

- Definição do objetivo e do escopo: avalia os impactos ambientais desde a fase da extração da matéria-prima até a disposição final do produto;
- Análise do inventário: consiste em acompanhar os materiais utilizados nos produtos mediante o seu ciclo de vida, determinando e quantificando todas as variáveis (matéria-prima,

consumo de energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólido, etc.) e leva em consideração as entradas e saídas para o meio ambiente;

- **Avaliação de Impacto:** analisa a importância das entradas e saídas dos produtos, verificando as conseqüências para o meio ambiente. Nesta fase, a análise é feita a partir dos dados obtidos pela análise do inventário;
- **Interpretação:** consiste na identificação e na análise a partir dos resultados obtidos nas fases do inventário e/ou avaliação de impacto de acordo o objetivo e o escopo definidos previamente para o estudo.

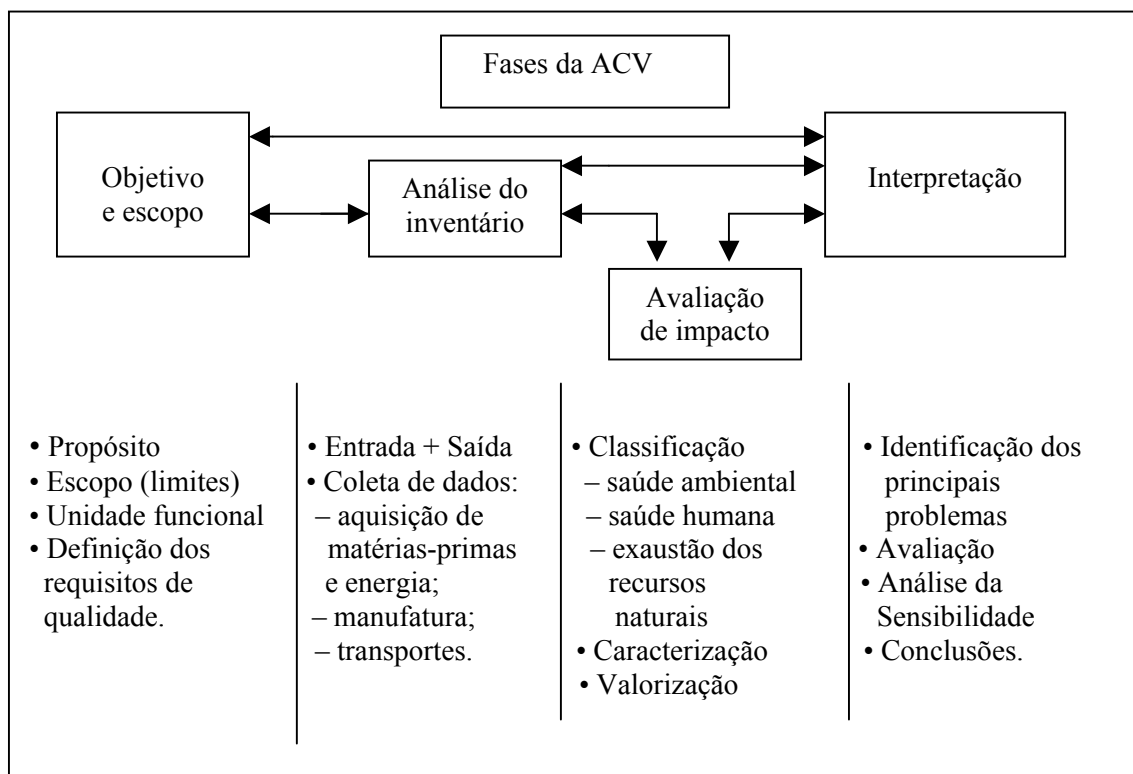


FIGURA 6 – Fases da análise do ciclo de vida

FONTE – CHEHEBE, 1998, p. 21

No caso específico de embalagens, a ACV é uma ferramenta utilizada para avaliar diferentes materiais disponíveis para sua confecção, com o objetivo de verificar qual é ambientalmente “mais amigável”, principalmente no que se refere às possibilidades de reciclagem.

Vários estudos foram realizados para analisar diferentes tipos de materiais e definir qual a embalagem mais adequada para determinado produto. Em antecipação à crise do petróleo, um dos primeiros estudos foi iniciado em 1965, financiado pela Coca-Cola e realizado pelo *Midwest Research Institute* (MRI), cujo objetivo era comparar diferentes tipos de embalagens para refrigerantes e determinar qual a mais adequada ao meio ambiente e qual possuía o melhor desempenho em relação à preservação de recursos naturais. Esse estudo ficou conhecido como REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis* (CHEHEBE, 1998).

Um estudo realizado na Suíça, em 1984, sobre diferentes materiais para embalagens e publicado pelas autoridades ambientais, concluiu que a embalagem de vidro era ambientalmente mais amigável do que os outros tipos de embalagens. Um outro exemplo foi o estudo desenvolvido na Suécia, em 1985, apoiado pela Tetra Pak, concluiu que as embalagens baseadas em derivados de papelão são mais adequadas para o leite (CHEHEBE, 1998). Prates (1998) realizou um estudo para analisar dois tipos de embalagens para hambúrguer, a embalagem de papel e a embalagem de polyfoam (composta a partir de hidrocarbonos). Verificou-se e confirmou-se que a embalagem de papel é mais adequada, principalmente pelo fato da embalagem de polyfoam não ser biodegradável.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Biodegradável é uma substância ou produto que tem a capacidade de se subdividir em elementos básicos ou compostos, de forma que possam ser reutilizados como nutrientes pelas plantas.

Segundo Duarte (1997), a Análise do Ciclo de Vida é considerada complexa e de difícil execução quando é utilizada para analisar produtos complexos, como aparelhos de televisão, automóveis, aeronaves etc. De acordo com Gungor e Gupta (1998), a complexidade da Análise do Ciclo de Vida ocorre quando o produto é grande e complexo e o número de fatores a serem considerados aumenta.

A partir da situação observada das tendências de estudos ligados à redução da degradação ambiental, é proposta uma filosofia de projeto baseada nos conceitos da ACV, denominada *Design for X* (DFX).

## **2.4 DESIGN FOR “X”**

O DFX é uma das técnicas mais efetivas para implementação da Engenharia Simultânea,<sup>15</sup> pois focaliza, ao mesmo tempo, um número limitado de elementos fundamentais (HUANG, 1996). O DFX é uma abordagem integrada para projetar produtos e processos para efeito de custo, operações com fluxo de alta qualidade. A partir da produção, mediante serviço e manutenção, seu objetivo é reduzir o tempo para o mercado, baixar o custo e aumentar a qualidade do produto (GUNGOR; GUPTA, 1998). Graedel e Allenby (1996) consideram o DFX como abordagens modernas de projeto que o projetista tem que utilizar para considerar os atributos relacionados ao produto. Huang (1996, p. 14) considera o DFX uma filosofia e

---

<sup>15</sup> Engenharia simultânea ou engenharia paralela é uma filosofia utilizada no desenvolvimento de projeto de produto em que vários processos são realizados simultaneamente por uma equipe de projeto multidisciplinar. Para maiores detalhes ver JAGOU (1993).

uma metodologia que pode auxiliar as empresas a gerenciar o desenvolvimento de um produto, o que pode torná-las mais competitivas.

O “D” em DFX ou o “Projeto” em “Projeto para X” é interpretado como projeto do produto no contexto do DFA, significando o projeto do produto para a facilidade da montagem (BOOTHROYD et al, 1994 apud HUANG, 1998). O “X” em DFX representa a característica de um produto que deve ser maximizada, como meio ambiente, desmontagem, reciclagem, etc. (DUARTE, 1997). O termo DFX é considerado como Design for Anything – Projeto para Algo. O DFX nasceu a partir do sucesso e da proliferação do DFA. Como já foi mencionado anteriormente, Boothroyd e Dewhurst foram os pioneiros nos estudos sobre o Projeto para Montagem (DFA) e basearam-se no argumento de que o custo mais baixo da montagem pode ser alcançado através do projeto de um produto, de tal forma que ele possa ser economicamente montado corretamente e eficientemente (KUO, 2001). Embora esses autores tenham sido considerados pioneiros nos estudos sobre o DFA, a História mostra que já havia algumas alternativas de uma montagem eficiente desde o início do século passado. Um exemplo relevante foi Henry Ford que, em 1908, foi capaz de desenvolver projetos reduzindo o número de peças necessárias, tornando-as facilmente ajustáveis, o que facilitou a montagem dos seus carros, reduziu os custos e aumentou a produtividade (WOMACK et al, 1992).

Segundo Huang (1998), o uso do DFA tem alcançado benefícios substanciais, especificamente nos motores automotivos e buscado o desenvolvimento recente em várias direções: primeiro, mais e melhores ferramentas DFA têm surgido, apesar de em sua maioria consistirem de sistemas de pesquisa ou ensino, necessitando demonstração; segundo, o DFA tem encontrado mais usuários, embora o número seja ainda muito pequeno, comparado ao

número total de indústrias que desenvolvem projetos de produtos ou utilizam ferramentas de design; terceiro, novas ferramentas têm sido introduzidas em outras etapas do ciclo de vida do produto, tais como a produção, serviços de manutenção, desmontagem e reciclagem; quarto, novas ferramentas têm surgido para melhorias na competitividade, tais como ferramentas de qualidade, custos, flexibilidade, meio ambiente, etc. E ultimamente, outras ferramentas têm emergido para maiores investigações, tais como integração, análise de mercado dentre outras.

O DFX tem sido usado nas indústrias de produção, nos campos de engenharia mecânica, aeroespacial, automotiva, eletrônica, elétrica, etc., e em indústrias multinacionais ou pequenas empresas. As aplicações são feitas desde os produtos mais sofisticados (aeronaves, automóveis, tanques de óleo) até produtos mais simples (fusíveis) (HUANG, 1996).

A proliferação e a expansão do DFA e do DFM, que normalmente são tratados simultaneamente no processo de projeto como Projeto para Manufatura e Montagem – DFMA, têm levado ao aparecimento de vários tipos de abordagens do DFX, considerados novos paradigmas, como mostra a FIG. 7 (GRAEDEL; ALLENBY, 1996; HUANG, 1998; KUO et al, 2001):

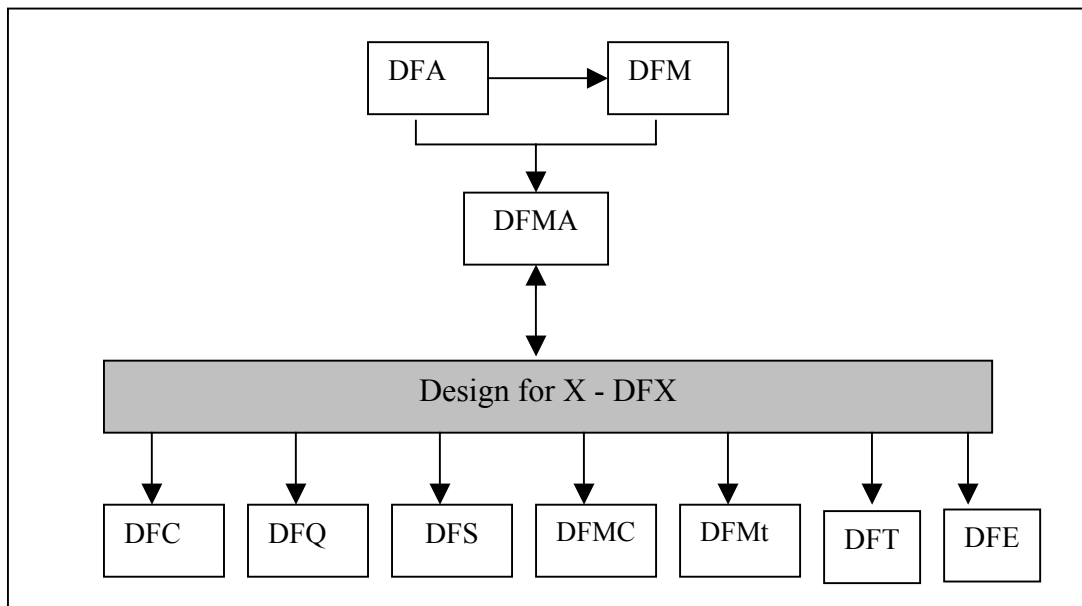


FIGURA 7 – Tipos de abordagens do DFX

**Projeto para Conformidade** – *Design for Compliance* (DFC): projetar levando em consideração as conformidades regulares exigidas para fabricação e uso do produto.

**Projeto para Logística do Material e Aplicação de Componente** – *Design for Material Logistics and Component Applicability* (DFMC): centraliza-se na fábrica, no movimento do material, nas considerações de gerenciamento e nas aplicações correspondentes aos componentes e aos materiais.

**Projeto para Qualidade** – *Design for Quality* (DFQ): projetar de acordo com as exigências do cliente; projetar um produto robusto que ultrapasse as expectativas do cliente.

**Projeto para Serviço** – *Design for Service* (DFS): projetar para facilitar a instalação inicial, bem como o reparo e a modificação dos produtos no campo ou nos centros de serviços.

**Projeto para Manutenção**<sup>16</sup> – *Design for Maintainability* (DFMt): projetar para “fácil” manutenção, assegurando que o produto possa ser mantido em todo seu ciclo de vida útil, com despesas razoáveis, sem qualquer dificuldade e, com isso, permitir o prolongamento de utilização do produto.

**Projeto para Teste** – *Design for Test* (DFT): projetar para facilitar teste de fábrica e de campo em todos os níveis de complexidade do sistema: equipamentos, placas de circuitos, etc.

**Projeto para Meio Ambiente** – *Design for Environment* (DFE): projetar considerando os aspectos ambientais em todo o ciclo de vida do produto. Esta é a abordagem na qual está inserida o principal assunto deste trabalho.

#### **2.4.1 Projeto para Meio Ambiente**

O Projeto para Meio Ambiente (PPMA) – *Design for Environment* (DFE) é uma aproximação abrangente para o desenvolvimento do produto que considera os impactos ambientais de um produto em todo seu ciclo de vida (FISKEL et al, 1994 apud HANFT; KROLL, 1996). Segundo Prates (1998), um dos objetivos do DFE é avaliar o desempenho ambiental do produto, reduzindo os recursos não renováveis utilizados em sua construção e possibilitando a reciclagem do produto após o uso. O DFE utiliza os conceitos de ciclo de vida juntamente

---

<sup>16</sup> Manutenção é definida como “a probabilidade que um sistema danificado possa ser reparado em um intervalo específico de tempo reduzido” (KAPUR; LAMBERSON, 1977, apud KUO et al, 2001. p. 11).

com alguns princípios-chave como a minimização de recursos materiais e de energia para redução do impacto ambiental.

O Projeto para o Meio Ambiente força os engenheiros a avaliar a fabricação do produto, o uso e o controle com relação ao meio ambiente. Os projetistas devem especificar os processos de produção, os materiais e a estrutura do produto de forma “ecologicamente correta”. Em contribuição aos projetistas, Lindbeck (1995) traça algumas diretrizes para o DFE:

1. Projetar produtos utilizando materiais simples.
2. Desenvolver recipientes de plásticos com aberturas maiores, para facilitar a limpeza antes da reciclagem.
3. Propiciar a conservação prática do material. A quantidade de embalagem do produto pode ser facilmente e justificadamente reduzida através do projeto.
4. Conceber rótulos, etiquetas e outros adesivos para uma remoção mais fácil, com tampas feitas do mesmo material do produto. O papel, o vidro e o metal contaminado baixam o valor dos plásticos reciclados.
5. Identificar todas as peças plásticas com o símbolo SPI de codificação correta.
6. Especificar ecologicamente os materiais mais amigáveis em todos os projetos do produto. Exemplos incluem solventes e tintas não tóxicas, baterias de uso doméstico de mercúrio etc.
7. Evitar materiais de plástico “degradáveis” em projetos de produto. São caros, interferem na reciclagem do plástico, não decompõem facilmente, comparados aos plásticos “não degradáveis”, e o seu uso não tem o apoio pela maioria dos grupos de meio ambiente.
8. Incluir informação sobre os métodos descartáveis de todas as embalagens de lixo industrial e doméstico, considerados perigosos, tais como pesticidas, produtos de limpeza e solventes.

9. Agregar informação de estudos atuais sobre a tecnologia e a reciclagem de materiais e aplicá-las ao projeto do produto.
10. Especificar o uso de materiais reciclados e recicláveis nos projetos.
11. Projetar produtos para fácil desmontagem, facilitando a reciclagem e os processos de produção.
12. Projetar produtos para uma segunda vida, com durabilidade.
13. Envolver especialistas ambientais em estágios anteriores ao processo do projeto.

Várias estratégias relacionadas aos aspectos ambientais podem ser adotadas pelos projetistas no projeto de seus produtos. Essas estratégias podem ser vistas por meio da “Roda Estratégica” para o DFE<sup>17</sup>, considerada uma ferramenta que pode ser utilizada de forma sistemática, para rever todo o ciclo de vida do produto. A “Roda Estratégica” do DFE inicia-se com a concepção de um novo produto e abrange todas as etapas subsequentes, como projeto, seleção de materiais, produção, distribuição, uso até o final da vida útil do produto, como mostra a FIG 8 (GOUVINHAS, 2002).

---

<sup>17</sup> “Roda Estratégica” do DFE. Para maiores detalhes, ver GOUVINHAS, 2002.

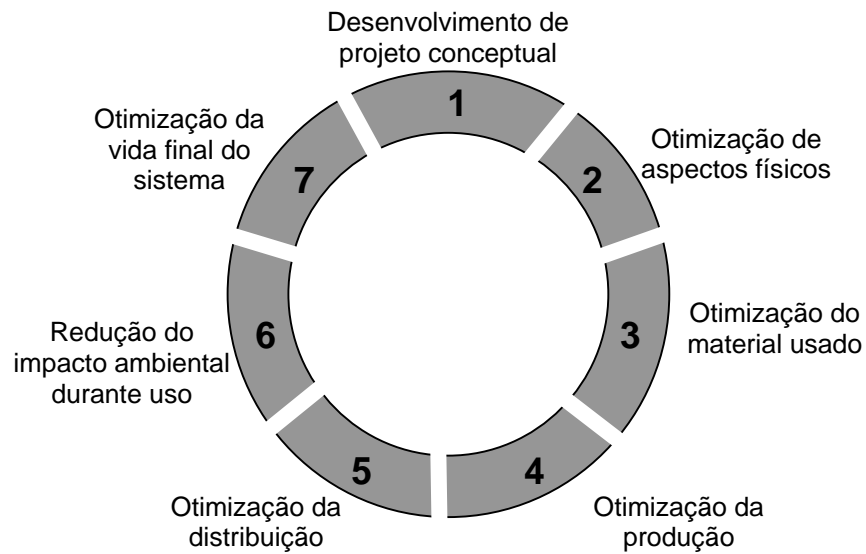


FIGURA 8 – A “Roda Estratégica” do DFE

FONTE – GOUVINHAS (2002)

O DFE vem se expandindo, e com isso está se tornando um módulo do DFX, cujas abordagens são: Projeto para Modularidade (*Design for Modularity – DFM*); Projeto para Remanufatura (*Design for Remanufacture*); Projeto para Reúso (*Design for Reuse*); Projeto para Desmontagem (*Design for Disassembly – DFD*) e Projeto para a Reciclagem (*Design for Recycling – DFR*), como mostra a FIG. 9. Essas abordagens visam, de forma geral, projetar o produto para o prolongamento de sua vida útil ou para a fácil reciclagem.

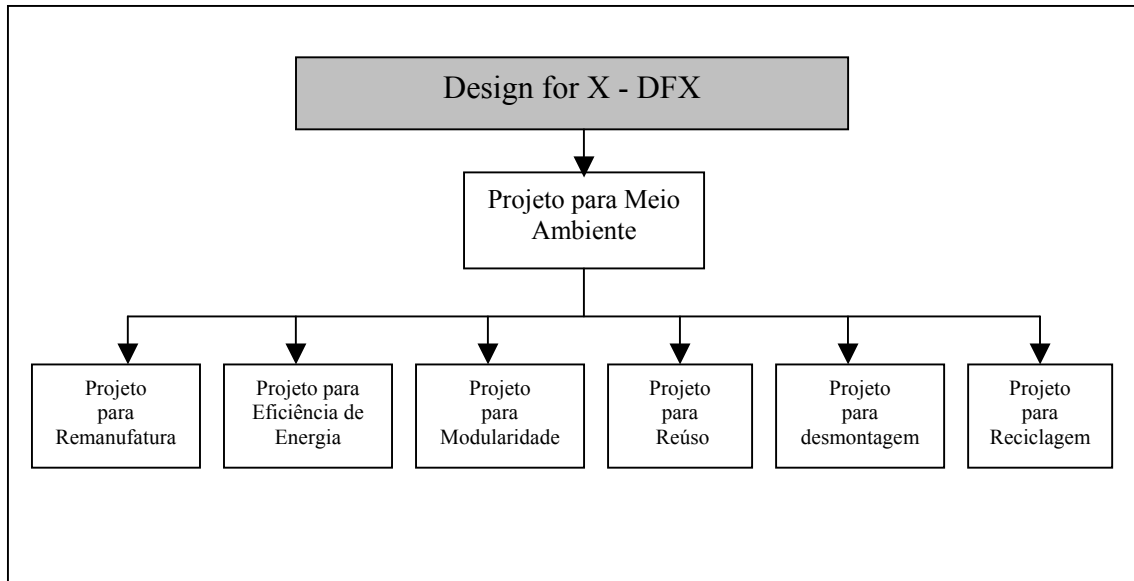


FIGURA 9 – Tipos de abordagens do DFE

#### **2.4.1.1 Projeto para Remanufatura**

O Projeto para Remanufatura ou Projeto para Recuperação do produto – *Design for Remanufacture* – consiste em projetar produtos para a durabilidade. Segundo Fleichman et al, apud Gungor e Gupta (1998), a remanufatura é o processo de trazer os produtos usados de volta às “condições novas”, fazendo-se as operações necessárias como a desmontagem, os ajustes, os reparos e a substituição das peças necessárias. O processo de remanufatura do produto requer as seguintes tarefas: desmontagem, limpeza, separação, substituição ou reparo dos componentes em más condições, acondicionamento, teste, remontagem e inspeção. Os produtos/peças recuperados são usados para reparo, fabricação de outros produtos e componentes e para venda ao comércio externo (GUNGOR; GUPTA, 1998, p. 14).

A remanufatura envolve o reaproveitamento de produtos obsoletos, por meio de peças que podem receber manutenção, pela renovação de peças usadas e pela introdução de componentes de substituição (idênticos ao original ou com melhorias). O Projeto para Remanufatura exige um processo bem planejado, porque pode tornar-se impossível e/ou inviável, dependendo do grau de dificuldade que o produto pode ter para ser desmontado ou modificado (GRAEDEL; ALLENBY, 1996. p. 95).

#### ***2.4.1.2 Projeto para Eficiência de Energia***

O Projeto para Eficiência de Energia – *Design for Energy Efficiency* – consiste em elaborar processos e produtos que demandam um menor consumo de energia durante seu uso. A quantidade de energia consumida pelas indústrias em seus processos de produção de determinados produtos de consumo contribuem consideravelmente para os problemas ambientais. Nos Estados Unidos, por exemplo, as atividades de produção são responsáveis por cerca de 30% de toda energia consumida no mundo (GRAEDEL; ALLENBY, 1996, p. 19). Alguns programas e métodos vêm sendo desenvolvidos para solucionar esses problemas. De acordo com os autores, a EPA dos Estados Unidos iniciou em 1992 o *Energy Star Computers Program*, com o objetivo de estimular a produção de computadores *desktop* e acessórios com a capacidade de mudar, automaticamente, para um estado de baixa energia, quando estivesse ocioso. A introdução dessa tecnologia, principalmente nos computadores *laptop*, atingiu uma redução de 50-70% do consumo de energia.

Bitencourt (2001) apresenta uma metodologia de Reprojetado para Meio Ambiente – REPMA. O método é aplicado em uma cafeteira elétrica, com o objetivo de fazer modificações na concepção do produto para reduzir os impactos ambientais. Na avaliação da concepção da cafeteira elétrica, as seguintes funções foram destacadas: manter o café aquecido, transformar energia elétrica em calor e aquecer a água. As principais modificações adotadas pelo reprojetado foram: utilização de duas resistências para manter o aquecimento da água e do café e um selecionador manual que indica qual a configuração de resistência deve ser utilizada pelo usuário. Este poderá optar pela menor resistência, obtendo um menor consumo de energia para manter o café aquecido; o tubo de aquecimento de água é envolvido pelas resistências, possibilitando melhor transmissão de calor. O autor concluiu que “a concepção modificada para a cafeteira elétrica proporciona uma redução no principal impacto ambiental deste produto, que é o consumo de energia para manter o café aquecido”.

#### ***2.4.1.3 Projeto para Modularidade***

O Projeto para Modularidade – *Design for Modularity* – visa projetar produtos utilizando peças ou componentes modulares. A capacidade de elaborar produtos por meio da combinação de peças modulares traz grandes benefícios para o DFE, os quais podem ser direcionados para a reciclagem, para a desmontagem e para o reaproveitamento de produtos. Alguns projetos para a modularidade têm sido desenvolvidos, por exemplo, a chaleira com peças modulares, desenvolvida pela Polymen Solutions Inc., uma junção da GE e da Fitch Richardson Smith (GRAEDEL; ALLENBY, 1996, p. 98). As peças de encaixe do produto

permitem fácil desmontagem para a reciclagem das mesmas e também para o reaproveitamento do produto, neste último caso, as peças danificadas podem ser substituídas ou reparadas.

Outro exemplo é o projeto do carro esporte Z1, desenvolvido pela BMW, que possui a carroceria modular de peças de plástico, que pode ser completamente desmontada em 20 minutos. A carroceria é composta de peças de termoplástico fornecidas pela GE Plastics Corporation. O projeto demonstrou ser de grande eficácia, pois as peças são de fácil desmontagem e recicláveis e as danificadas podem ser facilmente removidas e substituídas por outras.

#### ***2.4.1.4 Projeto para Reúso***

O Projeto para Reúso – *Design for Reuse* é uma estratégia utilizada para prolongar a vida útil do produto. Esse tipo de projeto possibilita o reúso do produto para a mesma finalidade ou qualquer outra. Um exemplo, que ocorria no passado, era o processo das embalagens de vidro utilizadas para refrigerantes e cervejas que eram retornadas ao fabricante para serem reutilizadas com a mesma finalidade. Atualmente, a maioria dessas embalagens foi substituída por embalagens descartáveis, de materiais plásticos. Esse tipo de mudança pode ter ocorrido em virtude dos altos custos com transportes para recolhimento e retorno das embalagens ao fabricante. Por outro lado, os custos são repassados aos usuários pelos danos causados ao meio ambiente. Outro exemplo pode ser visto nas embalagens de vidro para requeijão

cremoso e para maionese – a primeira, após ser utilizada, pode ser reaproveitada como copo; a segunda pode ser reutilizada para guardar alimentos não perecíveis, etc.

#### ***2.4.1.5 Projeto para Desmontagem***

O Projeto para Desmontagem – *Design for Disassembly* (DFD) – é considerado um componente-chave para qualquer estrutura de trabalho do DFE. O DFD é uma das estratégias disponíveis para a concepção de produtos cuja reciclagem seja economicamente justificada. Duarte (1997) ressalta que o projeto do produto deve prever a desmontagem visando a viabilidade da remanufatura, o reaproveitamento de componentes e a reciclagem de materiais. A desmontagem pode ser definida como o método sistemático para a separação de peças, componentes e subconjuntos de um produto. É usada na reciclagem e na reprodução, pois, através da separação seletiva de peças e materiais, possibilita aumentar a faixa de recuperação do produto.

Mok e Moon (1997, p. 621-622) ressaltam que a desmontagem do produto deve incluir os seguintes conceitos:

- desmontagem sem força;
- desmontagem por mecanismo simples;
- desmontagem sem ferramentas;
- fácil identificação dos pontos de desmontagem;
- projeto de estrutura simples do produto;

- nenhum uso de materiais tóxicos nos produtos.

O DFD envolve o desenvolvimento de produtos fáceis de desmontar, principalmente as peças dos materiais perigosos, permitindo a reciclagem. O produto deve ser, desta maneira, concebido de forma tal que os processos ligados ao reaproveitamento de seus componentes sejam facilitados, como em operações que possibilitem desencaixe de componentes e/ou reciclagem conjunta de sistemas (por exemplo, constituídos de várias peças de um mesmo termoplástico<sup>18</sup>).

As vantagens do DFD são (GUPTA; MACLEAN, 1996, p. 226):

- uniformização e prevenção na configuração de um produto;
- operações de desmontagem simples e rápidas;
- fácil manuseio das peças retiradas;
- facilidade na separação e tratamento dos materiais e resíduos retirados;
- redução do trabalho necessário na recuperação das peças e dos materiais recicláveis; e
- redução na variabilidade do produto.

Segundo Gupta e Maclean (1996), existem dois tipos de desmontagem: a desmontagem não destrutiva e a desmontagem destrutiva. Desmontagem não destrutiva é o processo de remoção sistemática das peças desejáveis, que constitui uma montagem, desde que não haja destruição das peças por causa do processo. Por outro lado, a desmontagem destrutiva é o processo de

---

<sup>18</sup> Termoplásticos “são materiais que podem ser reprocessados várias vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação. Quando submetidos ao aquecimento a temperaturas adequadas, esses plásticos amolecem, fundem e podem ser novamente moldados.” Exemplos: PEAD, PEBD, PET, PS, PP, PVC e outros (IPT, 2000, p. 146).

separação dos materiais de uma montagem, no sentido de seleccionar cada tipo de material para a reciclagem. Leonard (1991) considera os métodos de desmontagem não destrutiva e destrutiva como montagem reversa e força bruta, respectivamente. Esses dois tipos de desmontagem são necessários quando, em um mesmo produto, existem materiais considerados incompatíveis, como tipos de plásticos diferentes. Um exemplo da desmontagem não destrutiva ou montagem reversa pode ser visto mediante a desmontagem de uma embalagem “PET”. A tampa da embalagem, por ser constituída de plástico PEAD (polietileno de alta densidade), que é incompatível com o plástico PET (politereftalato de etileno), pode ser removida por intermédio da rosca. O outro exemplo, no caso da desmontagem destrutiva ou força bruta, é a desmontagem do aparelho de barbear de plástico descartável. Para a remoção da lâmina, por ser um material incompatível com o plástico, é necessária a destruição do produto.

Um dos grandes obstáculos da desmontagem para o reaproveitamento e para a reciclagem do produto está no alto custo do processo. Quanto maior for o número de etapas para desmontar o produto, mais difícil e mais inviável será o reaproveitamento e a reciclagem do mesmo. Dependendo do número de etapas necessárias para separar os módulos, as peças ou os componentes, o custo da desmontagem pode ser maior ou menor do que a disposição em aterro sanitário, como mostra o Gráfico 1 (GRAEDEL; ALLENBY, 1995. p. 271).

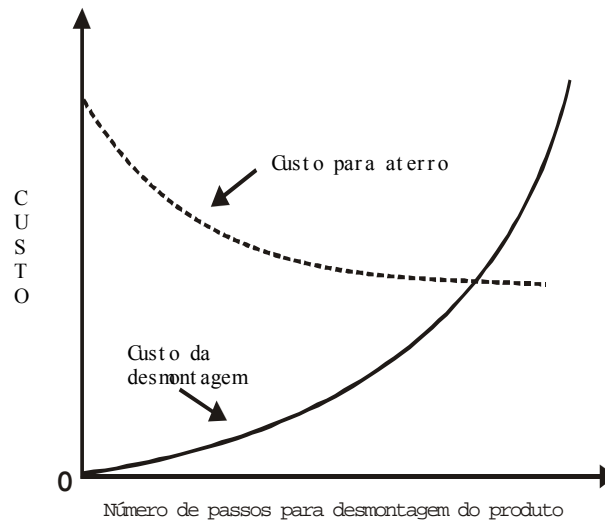


GRÁFICO 1 – Custo para a desmontagem e custo de aterro do produto dependendo do número de passos de desmontagem executados

FONTE – GRAENDEL; ALLENBY, 1995. p. 271.

Segundo Graendel e Allenby (1995, p. 271), o projetista pode reduzir o custo da desmontagem do produto se esta for considerada desde o início do projeto. Por outro lado, se a desmontagem do produto for muito complexa, o descarte no aterro pode ser a melhor opção do ponto de vista financeiro.

Hentschel, 1993, apud Gupta e Mclean (1996, p. 227) propõe as seguintes etapas para o desenvolvimento de um plano de processo de desmontagem:

- Análise do produto: esta é a primeira etapa do processo de desmontagem, na qual devem ser definidos os materiais e as peças reusáveis ou valiosas do produto. Em seguida, deve ser identificada a desmontagem satisfatória.
- Análise da montagem: na segunda etapa, a junção dos elementos, a hierarquia dos componentes e as seqüências da primeira montagem são analisadas.

- Modo e análise do efeito: a terceira etapa leva em consideração as incertezas do processo da desmontagem, gerando possíveis desvios de um produto usado, a partir de seu estado original (por exemplo, o uso do produto em ambiente úmido pode provocar corrosão).
- Determinação da estratégia de desmontagem: na etapa final é definido se será usada a desmontagem destrutiva ou a não destrutiva.

Atualmente, várias abordagens têm sido descritas na literatura para avaliar um produto no projeto para desmontagem. A maioria das abordagens utiliza métodos quantitativos e/ou simulações feitas pelo computador, enfatizando um assunto muito abrangente, que é o descarte do produto em seu fim de vida e que tem sido aplicada para analisar diversos produtos diferentes visando à reciclagem ou recuperação. De forma geral, parece que o DFD está seguindo uma evolução semelhante ao DFA. Segundo Kroll e Carver (1999, p. 192), embora a intenção do DFD e do DFA possa parecer semelhante, na prática, ambos são bem diferentes, pois muitos produtos projetados para uma fácil montagem muitas vezes são difíceis de ser desmontados. Um exemplo pode ser visto em juntas de encaixe por pressão, que exigem pouco esforço para fechá-las, mas torna-se, muitas vezes, impossível removê-las por falta de ferramentas adequadas. Os autores ressaltam que, nesses casos, as técnicas de desmontagem destrutiva são, normalmente, os meios mais eficientes para a recuperação de peças e de componentes e que o DFD exige que os projetistas adotem uma nova perspectiva no projeto do produto.

Kriwet et al (1995) propõem um estudo onde é analisada a desmontagem de uma máquina de lavar roupas. O estudo demonstrou a necessidade de modificação no projeto, por meio de uma submontagem. Os autores apontaram duas sugestões: agrupamentos dos componentes

elétricos/eletrônicos e o uso de presilhas especiais para ligar a tampa. Ambas as sugestões foram apontadas para possibilitar a fácil desmontagem. Após a finalização da modificação do projeto, concluiu-se que houve um melhor reaproveitamento das peças por facilidade da desmontagem, com vistas na reciclagem dos materiais.

Hanft e Kroll (1996) apresentam um procedimento para avaliação da fácil desmontagem para a reciclagem do produto. O procedimento é demonstrado através da avaliação de um teclado de computador e consiste de um gráfico de avaliação de desmontagem correspondente às tarefas difíceis. Os resultados difíceis resultantes da análise de medição do trabalho da desmontagem-padrão fornecem meios para identificar as fraquezas no projeto e as alternativas para comparação. Para maximizar o retorno aos projetistas, o método analisa as fraquezas do projeto, capturando as fontes de dificuldades na performance de cada tarefa. Os autores ressaltam que a mesma metodologia pode ser aplicada aos processos de desmontagem robótica e em outros produtos.

Kroll e Carver (1999) apresentam uma análise de desmontagem do produto utilizando o método de estimativa de tempo de desmontagem com o objetivo de auxiliar os projetistas a identificar as fraquezas do projeto, do ponto de vista da desmontagem. A avaliação baseada no tempo de desmontagem é aplicada em uma broca elétrica e as dificuldades associadas com a criação de outras métricas de desmontagem são discutidas. O autor resalta que o método utilizado fornece medidas importantes para a facilidade de desmontagem, quando utilizadas para comparar projetos alternativos do mesmo produto.

Veerakamolmal et al (1997) apresentam uma abordagem gráfica para alcançar um plano de processo de desmontagem eficiente. É criado um algoritmo que é aplicado para proporcionar o melhor plano de desmontagem. O algoritmo é usado para reduzir a divisão dos processos de desmontagem dentro de um componente do sistema de recuperação. O modelo é aplicado em placas de circuito impresso com chips montados de computador, com a finalidade de desmontar as placas, recuperar e reusar os componentes úteis.

Outro algoritmo é utilizado por Mok e Moon (1997) para analisar a desmontagem do produto. Os autores analisaram as características dos materiais e as características geométricas das peças, subconjuntos e elementos de ligação usados no automóvel. O algoritmo é usado com a aplicação da regra de projeto em um painel de um automóvel. O mecanismo de desmontagem entre as peças e os subconjuntos é analisado no sentido de avaliar a desmontagem de peças recicláveis em automóveis sucateados. Os pontos fracos identificados neste estudo foram: dificuldade de inserir uma ferramenta para desmontar peças em pontos de pressão e a dificuldade de sustentação da força por causa da força de pressão nas juntas. Os autores ressaltam que o painel deve ser projetado tanto para facilitar a inserção da ferramenta quanto para facilitar a desmontagem das peças.

Outros métodos, como os simulados por computador, são encontrados na literatura. Vujosevic et al (1995) apresentam uma abordagem para a simulação, animação e análise da desmontagem. Todas as seqüências geometricamente possíveis de desmontagem são criadas no sentido de identificar a seqüência de desmontagem que reduz o seu tempo e o seu custo. Os autores também observam os problemas crescentes relacionados ao operador durante a desmontagem.

Navin-Chandra (1993) desenvolveu uma ferramenta de projeto auxiliado por computador para avaliar o processo de recuperação do produto. Essa ferramenta é baseada em uma árvore de decisão com o objetivo de planejar e otimizar a desmontagem do produto para sua recuperação. O projetista apresenta informações sobre a estrutura de um produto em uma tabela, por exemplo, o tipo de agrupamentos de peças usadas e como cada peça é presa. Por meio de um algoritmo calcula-se o tipo de desmontagem mais lucrativo usando base de dados incluindo os custos de disposição, o lucro das peças recicladas e reusadas, o tempo e os custos da desmontagem. O autor conclui que esse método é eficiente para avaliar o processo de recuperação do produto.

Arai e Iwata (1993) propõem a utilização do sistema CAD<sup>19</sup> para simular a montagem/desmontagem de um produto. O método simula todos os movimentos possíveis para a desmontagem de todo subconjunto do produto. Ao final, é apresentada a abordagem que possui a melhor seqüência de montagem entre todas as seqüências possíveis. Os autores desenvolvem o método com a presunção de que a seqüência de montagem é o reverso da seqüência de desmontagem. Essa presunção não é totalmente válida, pois, conforme já foi mencionado anteriormente, a montagem reversa não pode ser sempre usada como estratégia de desmontagem do produto.

Neves (2002) apresenta um estudo sobre a desmontagem do produto para a reciclagem. Fez-se uma análise da desmontagem manual de um refrigerador doméstico (marca CONSUL) para

---

<sup>19</sup> CAD (*Computer Aided Design*) – Projeto Assistido por Computador. De uma forma geral, CAD “é uma tecnologia multidisciplinar, um conjunto de ferramentas utilizadas por todas as áreas em que existe uma forma desenvolvida de interação do computador digital à atividade de projeto, bem como ao controle e gestão deste processo” (ROMEIRO, 1997, p. 27). A tecnologia CAD pode ser definida como “a utilização de um sistema computacional para o auxílio na criação, modificação, análise e/ou otimização de um projeto” (GROOVER; ZIMMERS, 1984, apud ROMEIRO, 1997, p. 28).

verificar as dificuldades do processo. O processo manual foi comparado a um processo que utiliza ferramentas elétricas ou pneumáticas. Após a desmontagem do produto, cada material foi agrupado, pesado e valorado de acordo com o valor de mercado. O estudo demonstrou que a viabilidade econômica da desmontagem sistematizada do produto induz os novos projetos de produtos a facilitar a sua desmontagem.

O DFD pode ser visto também pela desmontagem nas indústrias de automóvel. Embora esse tipo de desmontagem seja uma prática recente, a tendência de um rápido crescimento na produção será inevitável no futuro. Mok e Moon (1997, p. 621) apresentam várias atividades internacionais sobre a desmontagem do automóvel, como mostra a FIG. 10.

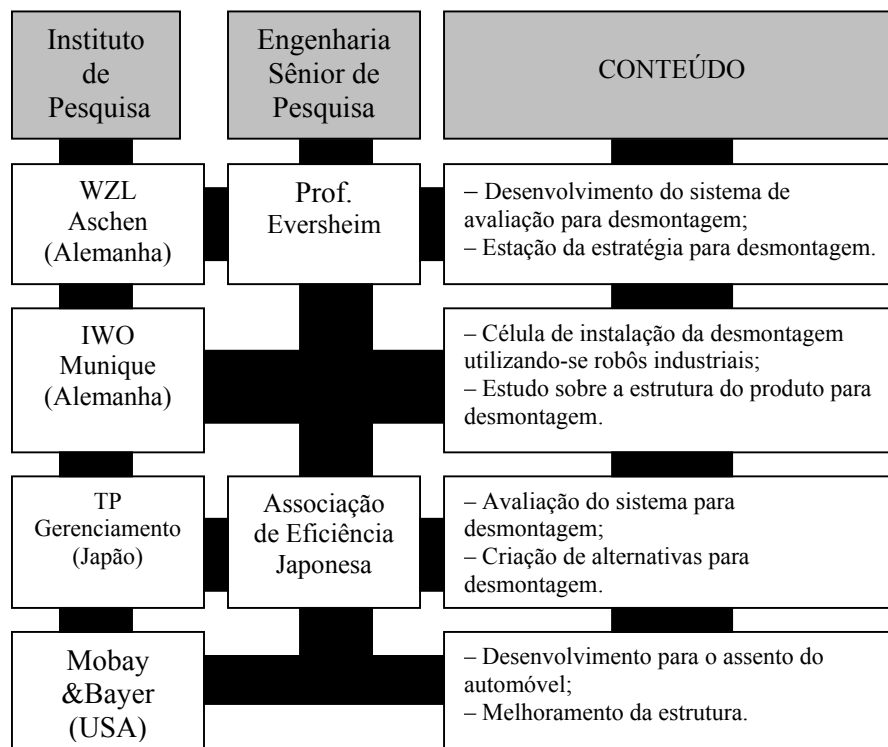


FIGURA 10 – Atividades internacionais sobre desmontagem

FONTE – MOK e MOON, 1997. p. 621.

Vários fabricantes de automóveis americanos, entre eles a Ford, Chrisler e General Motors, já possuem fábricas de desmontagem com a finalidade de reciclar alguns componentes (GUPTA e McLEAN, 1996). Medina e Gomes (2002b, p. 2) ressaltam que um dos aspectos que têm favorecido a indústria automobilística, do ponto de vista ambiental, é a redução do número de plataformas, que permite a utilização das mesmas peças, dos mesmos sistemas e dos mesmos materiais em vários modelos. Segundo os autores, “esse esquema, chamado de plataformas integradas ou consorciadas, facilita a desmontagem e a reciclagem com ganhos de escala”.

#### ***2.4.1.6 Projeto para Reciclagem***

O Projeto para Reciclagem – *Design for Recycling* (DFR) significa projetar um produto prevendo a sua reciclagem com o objetivo de facilitar a sua desmontagem para recuperação do material.

O DFR é considerado um dos aspectos mais importantes da ecologia industrial,<sup>20</sup> pois, atualmente, a reciclagem tornou-se uma ênfase na maioria dos países industrializados, porque a quantidade de produtos usados e descartados no meio ambiente tem aumentado dramaticamente. Esse aumento pode ser visto pelo resultado de uma pesquisa realizada em 1991, na *Carnegie Mellon University*. Foi estimado que, por volta de 2005, aproximadamente,

---

<sup>20</sup> Ecologia industrial é um dos conceitos no qual a ciclização de materiais, em sua maior pureza possível, e de nível de utilidade é de fundamental importância. Esta ciclização de materiais somente pode ocorrer se os materiais que atingiram o final da sua vida útil, voltarem à corrente do fluxo industrial e serem incorporados a novos produtos (GRAEDEL e ALLENBY, 1996, p. 89).

150 milhões de computadores obsoletos, sem nenhuma possibilidade de materiais recuperáveis, estariam descartados em lixeiras (GRAEDEL e ALLENBY, 1996, p. 89).

A reciclagem é o processo de recuperação dos materiais e componentes de produtos usados que são utilizados em novos produtos. É necessária a desmontagem do produto, de maneira que os materiais e os componentes individuais possam ser reusados ou reciclados. Os principais objetivos para se projetar um produto visando à reciclagem são:

- economia de energia;
- redução de material;
- reutilização de componentes;
- reciclagem de materiais;
- prolongamento da vida útil de aterros sanitários.

Existem dois grandes problemas de projeto associados ao DFR: os custos da reciclagem e as técnicas de desmontagem. Simon (1991) ressalta que a desmontagem do produto exige o conhecimento do destino ou a possibilidade de reciclagem das peças ou componentes desmontados. O autor sugere duas alternativas para solucionar esses problemas: retirar, primeiramente, as peças valiosas e maximizar a “produção” de cada operação de desmontagem.

### 2.4.1.6.1 Tipos de reciclagem

No ciclo de vida de um produto, existem três tipos de opções de reciclagem (KRIWET,1995):

- Reciclagem de sucata: quando utiliza resíduos da produção, por exemplo, resto de moldagem;
- Reciclagem durante o uso do produto: uso contínuo do produto, após seu reparo ou sua refabricação;
- Reciclagem após o uso do produto: no estágio de fim de vida, o produto é transformado em um novo produto. Este tipo de opção é o tópico principal desta investigação.

Segundo Magalhães (1998), a reciclagem pode ser dividida em dois sistemas distintos: o *looping* (ciclo) fechado e o *looping* aberto (FIG. 11).

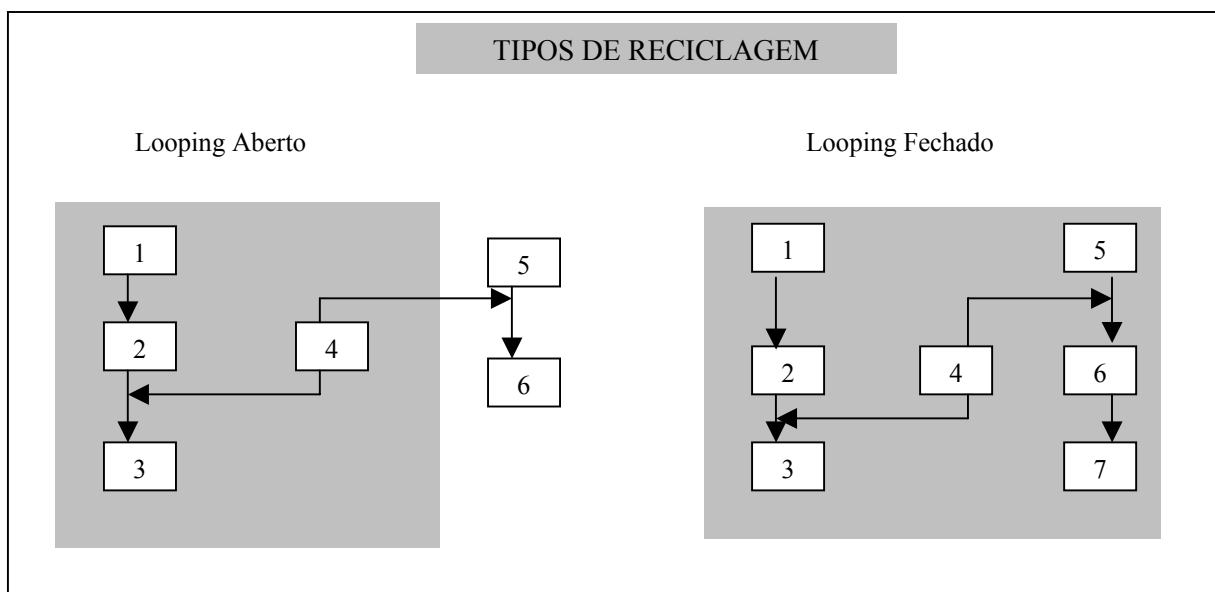


FIGURA 11 – Tipos de reciclagem

FONTE – Adaptado de CHEHEBE, 1998. p. 62.

O *looping* fechado ocorre quando um ou mais resíduos de um sistema produtivo são coletados e retornam ao mesmo sistema, ou seja, são reutilizados sem deixar o sistema produtivo de origem. Como exemplo temos o aproveitamento de rebarbas durante a fabricação de peças de alumínio, quando estas são novamente fundidas e reprocessadas no mesmo ciclo de produção. Exemplos comuns são também a reutilização de óleos, refrigeradores, etc.

O *looping* aberto ocorre quando determinado rejeito de um sistema é utilizado por outro sistema produtivo. Na indústria gráfica, por exemplo, as rebarbas de papel são utilizadas na fabricação de papéis “menos nobres”, como papel-jornal. Essa reciclagem, porém, é realizada em outro sistema de produção. O mesmo ocorre em relação às garrafas do tipo “PET”, que não podem ser reutilizadas na fabricação do mesmo produto, embora sejam reaproveitadas de forma crescente, em diferentes aplicações, como fabricação de fios, vassouras, etc.

Esses dois tipos de enfoque vêm sendo cada vez mais utilizados pelas indústrias, inclusive no Brasil, onde se observa um notável crescimento em termos de reutilização de materiais e produtos.

Algumas características gerais do Projeto para Reciclagem são descritas por Gungor e Gupta (1998):

- longa vida do produto e uso reduzido das matérias-primas;
- fácil separação dos materiais diferentes;
- número reduzido de materiais diferentes em um simples produto;
- preocupação aumentada do equilíbrio do ciclo de vida e das despesas do reprocessamento;
- utilização de partes de fácil desmontagem e que possam ser reusadas;

- poucas operações secundárias, reduzindo a quantidade de sucata e simplificando o processo de recuperação.

Vários estudos apresentam diretrizes para o projeto de reciclagem, para tipos específicos de produtos, ou para produtos gerais, auxiliando o projetista a incorporar no projeto de seus produtos, características que os tornem de fácil reciclagem. Kriwet et al (1995) apresentam uma abordagem da reciclagem através de uma integração sistemática, onde é introduzida uma rede de reciclagem definindo diferentes tipos de mensagens entre o “servidor” (projetista) e os “clientes” (consumidores, recicladores e fornecedores) e entre o sistema de reciclagem (FIG. 12). A rede de reciclagem trabalha junto com o ciclo de vida do sistema e fornece as informações relevantes a cada fase. Partindo do estágio do projeto conceitual, a rede permite aos projetistas representar e comunicar a informação pertinente ao projeto. A troca de informação que ocorre na rede é sobre assuntos ambientais e financeiros; por exemplo, na base de dados ambientais são fornecidas informações sobre legislação, processos de reciclagem, materiais e a história do produto. Os autores apresentam diretrizes simples, fáceis de aplicar e de avaliar na estrutura de trabalho da rede do projeto para a reciclagem.

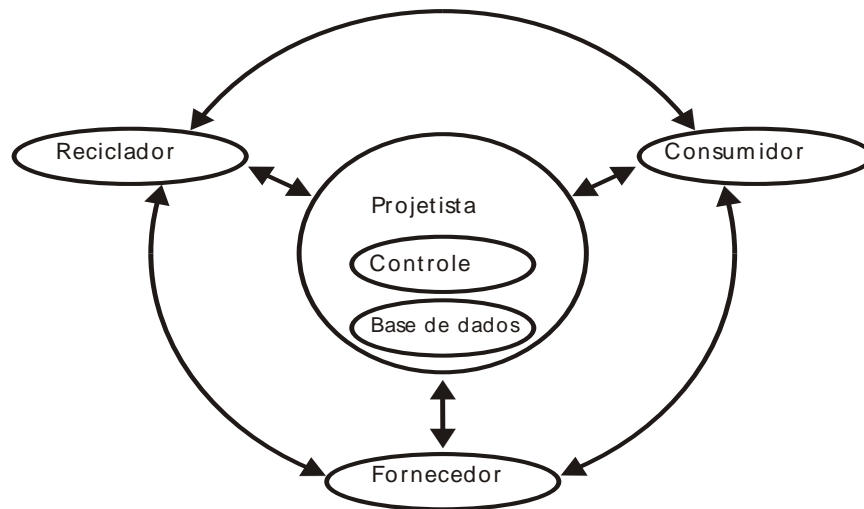


FIGURA 12 – Rede de reciclagem

FONTE – KRIWET et al., 1995. p. 18.

Gungor e Gupta (1998) relatam sobre um estudo feito por Zussman et al (1994), em que os autores introduzem uma ferramenta de análise quantitativa, por intermédio de um gráfico denominado “Gráfico de Recuperação”, com o objetivo de escolher projetos de produtos mais adequados à reciclagem.

Zussman (1995) faz uma análise de custo para desmontagem, reciclagem e recuperação do produto, levando em consideração as incertezas dos processos de reciclagem. São analisadas também as opções do fim de vida dos produtos, no sentido de reduzir a quantidade de lixo e aumentar os benefícios obtidos da reciclagem.

Simon (1993) desenvolveu um método em que utiliza a árvore de decisão em combinação com os índices do projeto, ou seja, medidas quantitativas das características do projeto, as quais afetam a reciclabilidade do produto. O custo da desmontagem é um fator relevante.

Essa métrica é calculada a partir do tempo exigido para executar uma tarefa de desmontagem-padrão, por exemplo, a tarefa de desparafusar. Os dados para cada tarefa são determinados pelos estudos de tempo e movimento em uma desmontagem feita em laboratório.

#### 2.4.1.6.2 Exemplos de reciclagem nas indústrias

Várias indústrias de produtos eletrônicos e computadores vêm desenvolvendo trabalhos para melhorar a “reciclabilidade” dos seus produtos. As indústrias alemãs são as mais desenvolvidas em relação à desmontagem e à reciclagem de produtos. A Siemens-Nixdorf desmonta os seus produtos descartados pelos consumidores e usam as seguintes metas (RON e PENEV, 1995, p. 372):

1. Primeiramente, o reuso do aparelho completo é considerado. Se isso não for possível, o aparelho é encaminhado para o mercado semiprofissional ou mercado *hobby*;
2. Se o aparelho não pode ser reusado completamente, a próxima meta é a consideração do reuso dos componentes. Os componentes não são usados na montagem de novos aparelhos;
3. Se os componentes não podem ser reusados, podem sê-lo como materiais secundários. Os materiais secundários não são usados pela Siemens, mas são vendidos a outras indústrias, por exemplo, para a Europa Oriental.

Para vender os materiais secundários, a Siemens tem de separar, primeiramente, pela técnica de desmontagem não destrutiva, manualmente, com o auxílio de ferramentas, por exemplo, chave de fenda e, finalmente, técnicas de desmontagem destrutiva podem ser aplicadas, se

forem permitidas pelas especificações, para reduzir o tempo do processo de desmontagem. O autor ressalta que a Siemens iniciou esse processo de desmontagem/reciclagem em 1988, atingindo 35% de reciclagem, e em 1992/1993 esse índice passou para 79%. Somente 21% são encaminhados para a área do lixo ou para a incineração.

Outra indústria que recicla seu produto, após ser descartado, é a Digital Equipment Corporation. Recicla também os produtos de outros fabricantes. Uma parte da desmontagem/reciclagem é realizada pela própria Digital e as demais atividades são executadas pela Mirec BV, nos Países Baixos. A indústria utiliza as seguintes estratégias (RON e PENEV, 1995):

1. análise do sistema do computador e de outros aparelhos;
2. critério para o processo de reciclagem;
3. determinação dos processos de reciclagem;
4. desenvolvimento da estratégia de desmontagem;
5. recomendações para uma estratégia completa de reciclagem;
6. requisitos para o desenvolvimento da reciclagem de um produto melhor;
7. a informação certa da estrutura.

A Digital utiliza a abordagem 6R's em seus produtos usados, que significa reciclar, reformar, renovar, remanufaturar, revender e reutilizar (DORGELO, 1996 apud GUNGOR e GUPTA, 1998). A Xerox Corporation recicla cerca de um milhão de partes de seus equipamentos, por ano, com destino a peças de reposição e a aparelhos novos. Seus engenheiros trabalham com expectativas de reduzir o número de componentes e aumentar o número de produtos utilizando componentes comuns (DUARTE, 1997). A IBM do Japão e a Microsoft iniciaram, em fevereiro de 2001, um programa de reciclagem de PCs. A expectativa das duas empresas

era reciclar mil equipamentos durante o ano. No processo de reciclagem, os equipamentos passam por teste e limpeza, ganham espaço de disco adicional e memória, novo sistema operacional e softwares atualizados. No Brasil, a IBM criou um outro tipo de programa. A empresa troca os equipamentos usados de clientes corporativos, principalmente mainframes, por um equipamento novo (LUCENA, 2001).

A indústria de embalagens vem de alguma forma contribuindo para melhoria de seus produtos procurando adaptar-se ao programa 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). Algumas indústrias têm criado alternativas para reduzir embalagens desnecessárias. Gungor e Gupta (1998) relatam que a Colgate criou um excelente projeto para a embalagem da pasta de dente com essa finalidade. A pasta de dente vem em um tubo de plástico, que serve como sua própria embalagem. Desta forma, a embalagem de papelão é eliminada.

Outro exemplo é a bandeja de papelão pré-cortada, utilizada para expor, em prateleiras, vários tubos de produtos individuais, como tubos de creme para barbear. Esse sistema elimina o uso de uma embalagem secundária desnecessária, além de evitar o desperdício reduz o espaço dispendioso para embarque, armazenamento e exposição nas prateleiras.

Para facilitar a reciclagem das embalagens de plástico, a Society of the Plastic Industry (SPI) criou um sistema internacional de codificação de plásticos (FIG. 13), com o objetivo de identificar os diferentes tipos de materiais. O código consiste de um triângulo formado por três setas com um número no centro e as letras códigos distinguindo-se debaixo do triângulo, conforme se segue (LINDBECK, 1995).



FIGURA 13 – Sistema internacional de codificação de plásticos

FONTE – IPT, 2000. p. 149.

1. PET (politereftalato de etileno);
2. PEAD (polietileno de alta densidade);
3. PVC (policloreto de vinila);
4. PEBD (polietileno de baixa densidade);
5. PP (polipropileno);
6. PS (poliestireno);
7. Outros.

No Brasil, várias indústrias também adotam sistemas de gestão ambiental, incluindo a reciclagem. A reciclagem de material é normalmente utilizada para alumínio, papel, plástico, vidro, metais ferrosos e alguns poucos metais não-ferrosos. Atualmente, por causa do crescente avanço tecnológico, é possível fazer a reciclagem de vários materiais que antes eram considerados não-recicláveis, como as embalagens cartonadas tipo “longa vida”. A seguir são expostos alguns exemplos de formas de reciclagem de materiais.

- **O alumínio** – A reciclagem de latas de alumínio é um exemplo clássico no Brasil. O processo envolve empresas de sucata, de fundição secundária de metais, transportes e crescentes parcelas da população, representando todas as camadas sociais – dos catadores até

classes sociais mais altas envolvidas com reciclagem com fins beneficentes. As latas de alumínio são recicladas e transformadas em novas latas, com grande economia de matéria-prima e, em especial, energia elétrica. A cada quilo de alumínio reciclado, cinco quilos de bauxita (minério a partir do qual se produz o alumínio) são poupados. Para se reciclar uma tonelada de alumínio, gastam-se somente 5% da energia que seria necessária para se produzir a mesma quantidade de alumínio primário, ou seja, a reciclagem do alumínio proporciona uma economia de 95% de energia elétrica. Além disso, a reciclagem diminui o volume de lixo encaminhado aos aterros sanitários.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) em 1997, o Brasil atingiu seu recorde de reciclagem de latas de alumínio, com um índice de 64%. Foi o maior percentual desde 1989, quando foram iniciadas as estatísticas que registravam o índice de 40%. Com esse índice, o Brasil ficou na frente de países com maior tradição na reciclagem de latas de alumínio, como Alemanha, França, Inglaterra, Itália e Austrália, dentre outros, que reciclam latas há mais de vinte anos. Temos como exemplo a Metalur, empresa recicladora de alumínio (CEMPRE, 2001), atuante no mercado há mais de trinta anos, que compra aproximadamente 4 mil toneladas por mês de sucata e produz 3 mil toneladas. A empresa está sediada no interior de São Paulo e fornece o produto para todo o País. O produto secundário, proveniente da reciclagem, é vendido para empresas do segmento automobilístico, principalmente para as que produzem peças automotivas, para os fabricantes de latas e para outras cuja produção tem componentes feitos de alumínio.

- **O plástico** – A reciclagem do plástico, apesar das dificuldades, por causa de sua grande variedade (por apresentarem diferentes propriedades, o que dificulta sua separação) e por

possuir um baixo valor agregado da resina secundária (em decorrência do baixo valor da resina virgem), vem ganhando novos adeptos e contribuindo para o desenvolvimento de novos produtos de boa qualidade e de baixo custo. As recicladoras de plástico vêm beneficiando, com isso, uma grande parte da população de baixo poder aquisitivo com produtos tais como utensílios domésticos, condutores elétricos, vassouras, mangueiras, etc., e também produtos industriais de alto desempenho. Como exemplo, podemos citar um produto desenvolvido pela Reciplast (REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL, 2000) que, mediante uma combinação de resíduos plásticos, é utilizado em diversas aplicações de diferentes segmentos, como indústrias têxteis, agricultura, agropecuária; indústria automobilística, naval, construção civil e várias outras. Na aplicação desse produto temos, por exemplo, *pallets* para armazenamento e movimentação de cargas, *decks* para acabamentos em piscinas, *playground*, fios utilizados na indústria têxtil, etc.

- **O Vidro** – O vidro é um produto 100% reciclável e pode ser reprocessado infinitas vezes. O vidro reciclado, além de ser utilizado para fabricar o produto original, no caso das garrafas de refrigerante, tem inúmeras aplicabilidades, como tijolos de vidro, fibra de vidro, matéria-prima na fabricação de asfalto, espuma de vidro e vários outros. As embalagens de vidro são utilizadas em forma de garrafa para acondicionamento de bebidas, de frascos para acondicionamento de conservas, etc. São extremamente vantajosas do ponto de vista da interação com o alimento, uma vez que são consideradas totalmente inertes, não transmitindo qualquer odor ou sabor, e não sendo suscetíveis de originar migrações dos seus constituintes para os alimentos nelas contidos.

Uma das grandes vantagens da embalagem de vidro, diante das outras embalagens, consiste na possibilidade de reutilização para armazenar o mesmo produto. Sendo um material inorgânico e incombustível, o vidro não produz alterações biológicas ou de contaminação da atmosfera quando da sua incineração, e a sua degradação química e erosão física é muito lenta e inócua em termos ambientais. Por outro lado, a demora da degradação do vidro, quando exposto ao meio ambiente pode ser considerado um aspecto negativo desse material (MANCINI et al., 2000).

• **O papel** – A reciclagem do papel é a forma de fabricar o produto utilizando como matéria-prima outros papéis, como cartões, cartolinas e papelões, provenientes de rebarbas geradas durante os processos de fabricação desses materiais em gráficas, e de artefatos desses materiais pré ou pós-consumo (IPT, 2000). O papel reciclado contém fibras celulósicas secundárias, ou seja, são fibras que já passaram pelo menos uma vez por uma máquina de fabricação de papel. A fibra celulósica não pode ser reciclada infinitamente, pois, após um certo número de processos de reciclagem, perdem progressivamente suas características de resistência. De acordo com o Bugajer, 1976 e Ferguson, 1992 apud IPT, 2000, o papel pode ser reciclado de sete a dez vezes, o que demonstra a capacidade do prolongamento do ciclo de vida desse produto.

No Brasil, vários tipos de papéis são fabricados utilizando fibras provenientes de aparas, dentre os quais: papel de escrever; papéis de embalagens leves e embrulhos (como manilha e macarrão); papéis de embalagens pesadas (usados na fabricação de papelão ondulado); cartões (como o papelão); papéis para fins sanitários (papéis higiênicos populares). Os artefatos de

polpa moldada podem ser utilizados para embalagens como bandejas para ovos e frutas (como as utilizadas para caixas de maçãs).

Apesar da atividade da reciclagem, no Brasil, ainda ser muito incipiente, outros tipos de produtos descartados vêm sendo inseridos em um novo ciclo produtivo. A fábrica da Philips, situada em São Paulo, possui uma unidade de reciclagem interna de cinescópios, ou seja, reciclagem de refugos da própria fábrica e de refugos advindos das montadoras de TV. Os cinescópios que não estão quebrados são analisados para serem utilizados na produção normal. Os componentes metálicos também são analisados para serem reaproveitados. A recuperação dos cinescópios atinge cerca de 400 unidades por dia útil. Os vidros originados dos cinescópios quebrados são encaminhados para reciclagem, em outra fábrica, atingindo cerca de 75 toneladas por ano (LUCENA, 2001. p. 20-21).

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), indústria fabricante de aço, utiliza a sucata proveniente de automóveis. O aço extraído da sucata do carro é reciclado e inserido em sua linha de produção. As vantagens desse processo de reciclagem são: pode atingir 100% de reciclagem; produz um produto de alta qualidade; o aço pode ser reciclado infinitas vezes sem perder suas características próprias; e o processo é de baixo custo e alta eficiência (site: <http://www.csn.com.br>).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo foi apresentada uma revisão da literatura do estado da arte sobre o Design For X (DFX), enfatizando as ferramentas de projeto relacionadas ao meio ambiente. Algumas das conclusões gerais da literatura revisada são:

- A busca de soluções para os problemas ambientais já se tornou um truísmo entre o governo, as indústrias, os projetistas e a sociedade por causa do desenvolvimento ambiental negativo, que pode ser revertido com a modificação dos padrões de consumo.
- A introdução das leis ambientais é de grande importância porque força as indústrias a pensar em seus projetos de produtos, já que se estão tornando responsáveis pela reciclagem ou destinação ambientalmente adequada dos seus produtos descartados pelos consumidores;
- O DFD é uma ferramenta fundamental para o DFR, pois a determinação da estratégia de desmontagem define os custos e oferece melhores condições aos trabalhadores para as atividades relacionadas à reciclagem.
- As considerações da desmontagem e da reciclagem no projeto do produto exigem mudanças do paradigma tradicional de produção, das fases do projeto, incluindo, principalmente, o fim do ciclo de vida do produto.
- As diretrizes e as aplicações das ferramentas do DFX apresentadas neste capítulo podem auxiliar os projetistas de produtos a incorporar as considerações de desmontagem para facilitar a reciclagem. Desta forma, os projetistas poderão contribuir para que as indústrias possam atender à demanda ambiental.
- Apesar do grande número de pesquisas na área de reciclagem/desmontagem de produtos, a maioria apresenta métodos quantitativos ou simulações feitas por computador, sendo estes

aplicáveis em produtos mais complexos. Portanto, há uma carência de estudos que apresentem métodos qualitativos.

## **Capítulo 3**

# **INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PROJETO E O REPROJETO DO PRODUTO PARA MEIO AMBIENTE**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo pretende-se reunir as informações necessárias dispersas na literatura, direcionadas aos projetistas para as considerações das variáveis ambientais no desenvolvimento de projeto e reprojeto do produto para meio ambiente.

### **3.2 PROJETO DO PRODUTO**

Segundo Bitencourt (2001, p. 32), “o projeto do produto começa com o estabelecimento de um problema, cuja expressão mais comum é um conjunto de necessidades das pessoas (físicas ou jurídicas) que se relacionam com o problema apresentado”. Nessa fase inicial de desenvolvimento do projeto do produto, o projetista necessita de um grande volume de informações, podendo enfrentar alguns problemas como (BACK, 1993, p. 23):

- Onde obter informações (disponibilidade, localização, e natureza das fontes)?

- Como poderá obter as informações (acessibilidade, custo e demora)?
- Estas informações são confiáveis (credibilidade, autenticidade, relevância e precisão)?
- Como interpretar as informações (significado e aplicabilidade)?
- São suficientes (quantidades e variedade)?
- Qual é a decisão em decorrência do resultado (sim, não, pode ser e mais tarde)?

O desenvolvimento de um produto a partir de materiais novos passa por um processo natural – suprimento, produção, distribuição, chegando ao cliente final (consumidor) – sendo considerado um processo convergente. Esse processo é denominado processo logístico direto ou distribuição direta. Com o advento das preocupações ambientais, surgiu um novo conceito de processo de produção – processo logístico reverso ou distribuição reversa. Segundo Lacerda (2002), o processo logístico reverso é definido como o planejamento, implementação e controle de fluxo de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados do ponto de consumo até o ponto de origem, com o objetivo de recapturar o valor agregado ao produto ou realizar um descarte adequado. Esse processo gera materiais reaproveitáveis que podem retornar ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição, como mostra a FIG. 14.

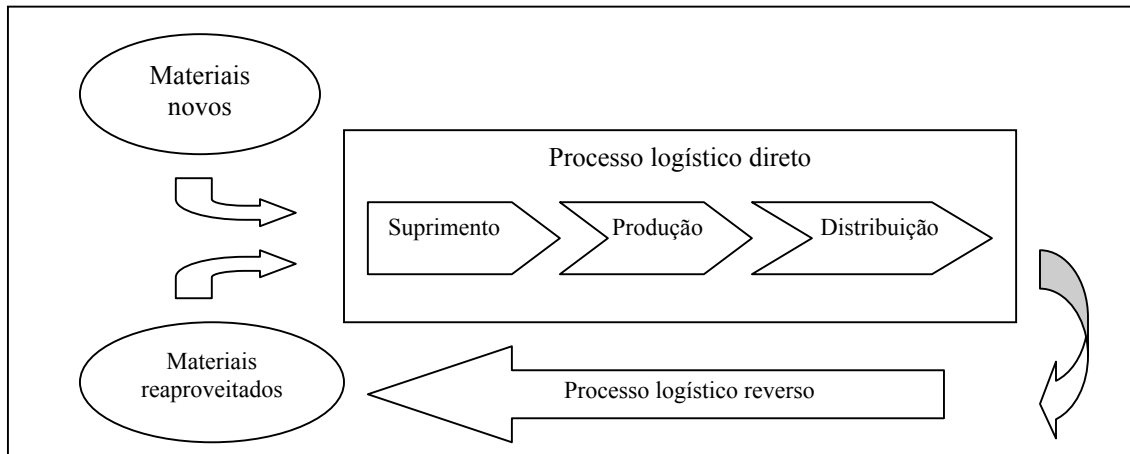


FIGURA 14 – Representação esquemática dos processos logísticos: direto e reverso

FONTE – LACERDA, 2002.

O processo logístico reverso envolve uma série de etapas para destinar o produto (usado, danificado, obsoleto) do ponto pós-consumo até os locais de reprocessamento, revenda ou de descarte. As etapas desse processo são: coletar, separar/desmontar, embalar e expedir (FIG. 15).

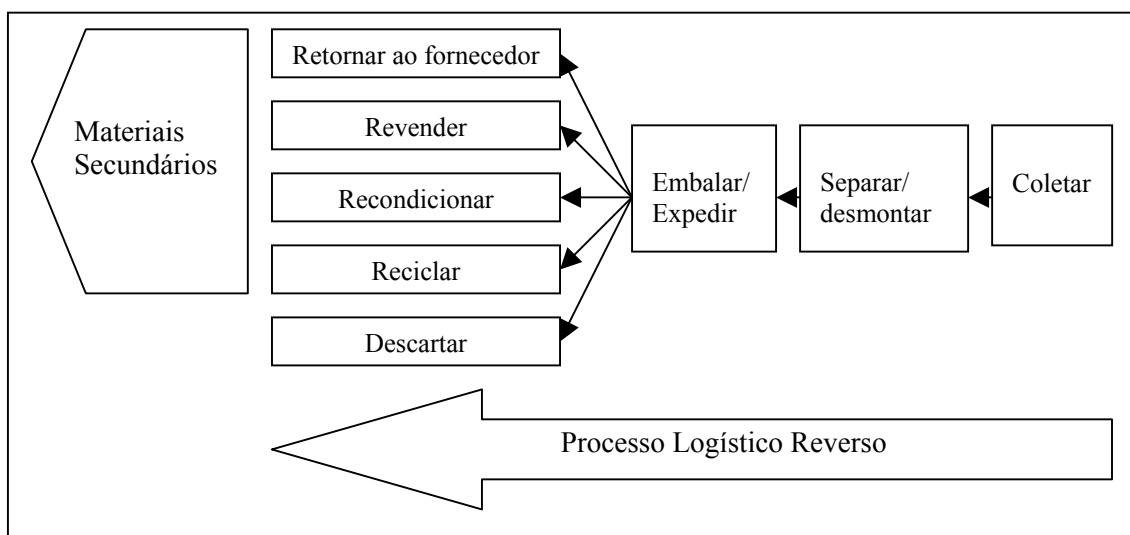


FIGURA 15 – Atividades típicas do processo logístico reverso

FONTE – Adaptado de LACERDA, 2002.

### 3.3 PROJETO DO PRODUTO PARA MEIO AMBIENTE

O diferencial ambiental consistiu uma nova forma que as empresas estão adotando para a competitividade de seus produtos. A implantação do DFE no desenvolvimento de produto envolve mudanças organizacionais e tecnológicas na empresa (BITENCOURT, 2001). Entretanto, em algumas empresas onde foi implantado o DFE, alguns obstáculos foram identificados e podem ser vistos a seguir (HUANG, 1996. p. 85):

- **Falta de visão** – A gerência não tem consciência da influência das decisões realizadas no desenvolvimento de produto.
- **Falta de motivação** – Nem a gerência, nem a área de pesquisa e desenvolvimento ou marketing mostram-se interessadas pelo PPMA, uma vez que eles não vêem os benefícios da consideração ambiental, embora estejam cientes do impacto ambiental.
- **Insegurança** – A gerência sente-se insegura em relação às iniciativas de regulamentação e aos efeitos comerciais da consideração da demanda ambiental no desenvolvimento de produto.
- **Complexidade na implantação:**
  - a empresa não tem uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de produto, desta forma não sabe integrar o PPMA de modo estruturado.
  - não existem recursos que auxiliem a empresa a fixar as fases para a implantação do PPMA (organização de pré-condições e organização de equipes multidisciplinares), o que pode originar uma carência de conhecimentos necessários.

– A empresa é desencorajada pelo custo de aquisição de informações necessárias para a implantação do PPMA (consultoria de especialistas, manuais, base de dados, entre outras).

- **Outras prioridades:**

– A empresa prioriza investimentos em outras atividades, ou

– A empresa prioriza a consideração ambiental em outras atividades.

- **Falta de consciência ambiental** – A empresa nunca pensou sobre sua influência na questão ambiental.

As principais propostas de projeto inseridas no contexto do DFE são: projeto para reúso de material e componentes, projeto para remanufatura, projeto para uma maior eficiência energética, projeto para modularidade, projeto para reciclagem, projeto para desmontagem etc (BITENCOURT, 2001). Essa última abordagem pode proporcionar resultados significativos na fase do projeto, pois antecipa a consideração do componente “reciclagem” do produto. Por exemplo, se na fase inicial do projeto do produto considerar apenas o tipo de material (reciclável ou não tóxico) e não considerar a desmontagem não destrutiva, poderá provocar um aumento na carga de trabalho e, conseqüentemente, será inviabilizado o processo de reciclagem.

Os componentes principais originados do Projeto para Meio Ambiente são: materiais, processamento, uso e descarte. No caso do descarte, as direções serão diferenciadas, dependendo do tipo do produto, dos materiais usados e dos métodos disponíveis para os mesmos, podendo ser especificada como meta pretendida no projeto: incineração, aterro sanitário e reciclagem.

- Incineração: “É um método de tratamento que utiliza decomposição térmica via oxidação, com o objetivo de tornar um resíduo menos volumoso, menos tóxico ou, em alguns casos, eliminá-lo” (BRANDT et al, 1998).
- Aterro sanitário: “É um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção de saúde pública” (IPT, 2000, p. 252).
- Reciclagem: “Corresponde ao processo de re-transformação industrial do material em uma nova matéria-prima a ser processada” (PEREIRA, 2002).

Na execução do projeto para o meio ambiente, quando a reciclagem é especificada como meta pretendida do descarte, é importante estabelecer que o prejuízo ambiental resultante do uso da reciclagem de material é menor que o resultante do uso de material virgem. No caso do uso de recursos não renováveis, normalmente, a reciclagem é ambientalmente a opção mais sensata (HUANG, 1996. p. 386).

Durante o estágio do projeto do produto para meio ambiente, existem objetivos distintos que o projetista pode focar, dependendo da estratégia de fim de vida do produto. A estratégia pode ser direcionada para aumentar a reciclabilidade, para facilitar a desmontagem, para reduzir os impactos sobre o meio ambiente, etc. Para qualquer uma das estratégias escolhidas, a seleção de material é considerada um fator-chave e envolve uma série de outros fatores como:

- **Escolha de material** – A escolha do material, pelo projetista, com propriedades físicas e químicas adequadas ao projeto é limitada por causa da sua disponibilidade e do seu custo.

Dessa forma, o ponto de partida para determinar os tipos de materiais é verificar a disponibilidade dos materiais em relação à abundância de elementos e compostos encontrados em nosso Planeta. O Quadro 1 mostra as cinco principais classes baseadas nas abundâncias elementares (GRAEDEL; ALLENBY, 1996, p. 60):

QUADRO 1  
Classe da abundância dos elementos

<b>Classe</b>	<b>Elementos</b>
Abundante (> 0.1 %)	Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti
Comum (> 100 ppm)	Ba, Mn, P, Rb, Sr, Zr
Relativamente comum (10-99 ppm)	Cr, Cu, Ga, Li, Ni, Pb, Sc, V, Zn
Não comum (1-9 ppm)	B, Be, Co, Mo, Sn, Ta, Th, U, W
Raro (< 1 ppm)	Ag, Au, Cd, Hg, Pb, Sb

FONTE – GRAEDEL e ALLENBY, 1996. p. 60.

- **Redução de material** – Independentemente da disponibilidade do material em abundância e em fornecimento, a quantidade de material utilizado em um projeto deve, sempre que possível, ser reduzida. A redução de material pode ser feita tanto para diminuir o peso do produto quanto para reduzir o número de materiais não compatíveis. Essa consideração talvez seja uma das mais importantes a ser considerada no projeto do produto, pois, mesmo que o produto seja totalmente descartado, significa que uma menor taxa de resíduo será encaminhada ao meio ambiente, além de demandar menor quantidade de recurso natural.

• **Substituição de material** – A substituição de material é uma estratégia que deve ser considerada no projeto do produto, mesmo após uma redução de material, principalmente no caso dos não tradicionais. Um exemplo de sucesso, que engloba a substituição e a redução de materiais em um mesmo produto é o da indústria automobilística. Nas últimas décadas, houve uma redução e substituição de materiais no automóvel típico dos Estados Unidos, e o seu peso total diminuiu em aproximadamente 11% (Tabela 1) (GRAEDEL e ALLENBY, 1996, p. 64). Pode-se observar que, no período de 1978 a 1988, a quantidade de aço carbono, zinco e ferro reduziu e a quantidade de plástico, alumínio e cobre aumentou significativamente.

TABELA 1

Alteração do material em um automóvel típico dos EUA (kg)

<b>Material</b>	<b>1978</b>	<b>1988</b>	<b>% Alteração</b>
Aço carbono	870	654	-25
Aço de alta resistência	60	105	74
Aço inoxidável	12	14	19
Outros aços	25	20	-19
Ferro	232	207	-11
Plástico	82	101	23
Líquidos	90	81	-10
Borracha	67	61	-8
Alumínio	51	68	32
Vidro	39	38	-2
Cobre	17	22	32
Zinco fundido	14	9	-33
Outros	62	57	-9
<b>Total</b>	<b>1621</b>	<b>1437</b>	<b>-11</b>

FONTE – GRAEDEL e ALLENBY, 1996. p. 65.

• **Identificação de material** – A identificação correta e clara do material é um fator importante utilizado no projeto do produto, visando a uma separação futura. Essa iniciativa já

vem sendo utilizada na indústria de embalagens e na indústria automobilística. No caso das embalagens plásticas, como foi mencionado anteriormente, a identificação por meio de símbolos é uma realidade. No caso dos automóveis (MEDINA et al. 2002a), os novos modelos já estão sendo projetados com essa finalidade, principalmente no que se refere à padronização de símbolos dos materiais plásticos.

### **3.3.1 Inclusão do DFE no projeto do produto**

Quando uma indústria adota a abordagem do DFE, não apenas o produto deve ser considerado, mas também seu processo de produção (uso, capacidade de manutenção, opções de reciclagem etc). A competitividade e a eficiência não podem ser alcançadas por esforços aplicados após o estágio do projeto do produto. Os aspectos ecológicos de um produto, por exemplo, devem ser planejados e considerados, antecipadamente, para todo o ciclo de vida, no sentido de formar um sistema ecologicamente completo. Kriwet et al (1995, p. 17) apresentam três elementos do sistema do ciclo de vida que devem ser considerados simultaneamente durante as fases de aquisição, utilização e reciclagem (FIG. 16):

1. Ciclo de vida do produto: inicia-se com a identificação de cada uma das necessidades e estende-se por todo o projeto, planejamento, produção, montagem, uso, fim de vida e estágios de reciclagem. Para a reciclagem, a fase mais influente é o projeto, pois ele determina as opções de reciclagem e dos processos de reciclagem do produto e também do apoio logístico no estágio de fim de vida.
2. Ciclo de vida do processo: inicia-se com a definição da tarefa de produção por intermédio do projeto do produto. Agrupa o projeto de produção e sistemas de reciclagem e processos.

Com relação à reciclagem, o planejamento do processo de produção tem como objetivo reduzir os gastos e descobrir caminhos para reciclar o produto. Em relação ao sistema de reciclagem, o objetivo é descobrir os processos que levam ao valor máximo do fim de vida, como componentes de reposição, materiais e energia para um uso posterior, enquanto reduzem os esforços da reciclagem.

3. Ciclo de vida do apoio logístico: engloba o apoio durante os estágios do projeto e produção, o apoio ao consumidor e a manutenção durante o uso do produto, e o apoio à reciclagem do produto. Os pontos principais para a reciclagem são a coleta e o transporte dos produtos pós-uso, fornecendo informações para as indústrias de reciclagem, como por exemplo, a composição dos materiais e, se possível, a transferência dos materiais e dos componentes usados para a produção dos novos produtos.

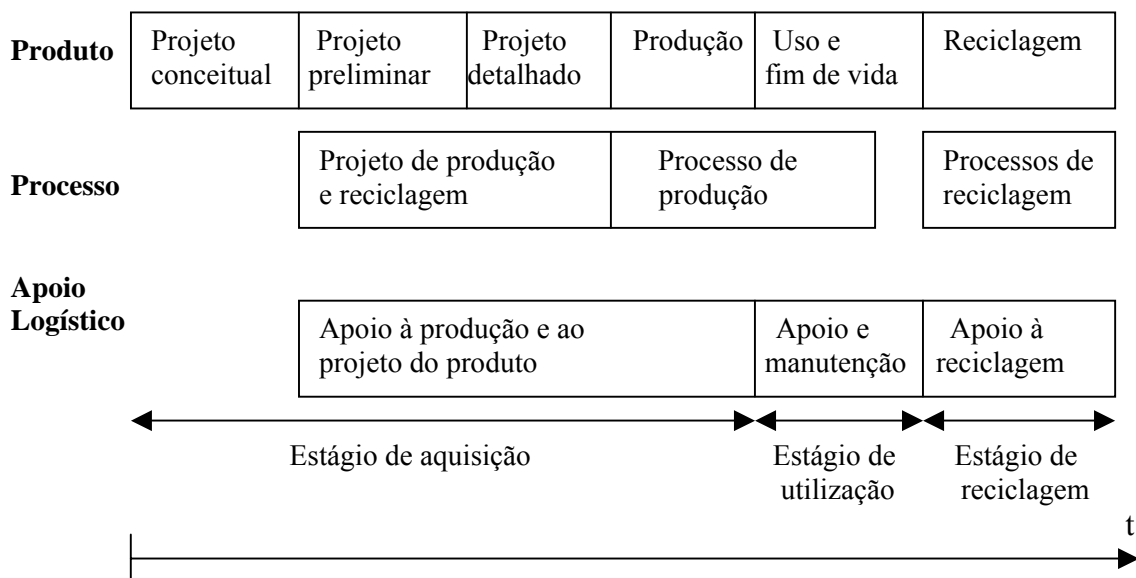


FIGURA 16 – Sistema do ciclo de vida

FONTE – KRIWET et al, 1995. p.17.

Graedel e Allenby (1996, p. 16-17) apresentam alguns procedimentos para incluir as características do DFE no projeto do produto:

- Definição do produto – A definição de um produto é o estágio inicial e muito importante no processo de seu desenvolvimento. Nesse estágio, os atributos ambientais de um produto podem ser identificados e inseridos no projeto. A inclusão do DFE nesse estágio exigirá um esforço por parte do projetista e, como todos os outros aspectos do projeto, as escolhas feitas anteriormente no processo do projeto estão longe de um custo efetivo. Para um projeto responsável “ambientalmente”, o DFE deverá ser, automaticamente, um componente da definição do produto e um ciclo de criação.
- Gerenciamento do material – Geralmente, os projetistas possuem uma certa autonomia nas diretrizes de definição referente à escolha de materiais. Uma vez que estas escolhas sejam feitas, os caminhos referentes àqueles materiais são incorporados no produto.
- Projeto detalhado do produto – É o estágio no qual as considerações do DFX, incluindo principalmente o DFE, são levadas em consideração. Os projetos, inevitavelmente, envolvem problemas entre tais atributos, como confiabilidade, custo, utilidade, meio ambiente, qualidade, etc. Esse estágio é a especificidade central dos projetistas.
- Interações produto: processo – No caso de muitos produtos novos, eles não podem ser produzidos sem uma evolução paralela aos processos industriais. Um exemplo é a indústria de produtos eletrônicos, em que há uma contínua evolução para projetar produtos usando-se resoluções cada vez mais apuradas nos circuitos integrados, no sentido de aumentar a velocidade e reduzir o tamanho. Tais projetos são razoáveis somente se a resolução final puder ser alcançada e houver ferramentas de produção disponíveis. Da mesma forma, as metas do DFE podem ser alcançadas somente se os projetistas do processo trabalharem mais

próximo aos projetistas de produto, para fornecer as ferramentas de produção necessárias e tornar os produtos “ambientalmente amigáveis”.

- Interações com o fornecedor – Após décadas, tornou-se óbvio que as metas de confiabilidade, eficiência, qualidade, redução de custo e outras não podem ser alcançadas no processo de produção sem a participação ativa de um dos fornecedores da corporação. Um exemplo relevante é o *just in time* de entrega de suprimentos – uma técnica que reduz o custo de armazenagem e aumenta a qualidade do produto. Do ponto de vista ambiental, esses relacionamentos podem ser usados para fornecer informações sobre materiais reciclados, criar mercados para resíduos de produtos recicláveis e padrões e especificações para os itens comprados.
- Interações de marketing – Os projetistas e os gerentes do produto podem promover metas industriais ecológicas por meio dos compradores e fornecedores. Neste caso, o projetista pode melhorar a embalagem do produto (incluindo embalagem para devolução ou embalagem reciclável), reduzindo o transporte desnecessário, fornecer informações sobre os aspectos ambientais relacionados aos produtos e os tipos de reciclagens disponíveis.

### **3.3.2 Considerações da reciclagem no Projeto para Meio Ambiente**

Projetar um produto para o meio ambiente significa projetar um produto ecoeficiente. O produto ecoeficiente é todo artigo fabricado que seja não-poluente, não-tóxico, reciclável e, principalmente, benéfico ao meio ambiente e à saúde humana, de acordo com um modelo de

desenvolvimento sustentável.<sup>21</sup> O componente ambiental no desenvolvimento de um produto ecoeficiente não deve ser restrito à produção e ao marketing. Deve ser levado em consideração o ciclo de vida total do produto, principalmente a inclusão da etapa pós-consumo (descarte).

Graedel e Allenby (1996, p. 92) descrevem algumas considerações gerais de reciclagem para serem usadas pelos projetistas nos projetos do produto:

- Uma das considerações mais importantes é reduzir o número de materiais diferentes e o número de componentes individuais usados no projeto. A importância dessa consideração é mais relevante para os produtos que possuem grande quantidade e diversidade de materiais e componentes. Segundo Medina (2001), o automóvel, por exemplo, é o produto industrializado que possui o maior número de materiais, em quantidade e diversidade. Somente em materiais plásticos são encontrados 40 tipos diferentes, cada um contendo variações na composição, nos aditivos e nos corantes.
- Evitar o uso de materiais tóxicos é também outra consideração importante. Quando os materiais tóxicos necessitam ser utilizados em um projeto, eles deverão ser facilmente identificáveis e os componentes que os contém, facilmente separáveis, como as baterias níquel e cádmio e relés de mercúrio.
- Dissociar materiais distintos – O projetista não deve juntar materiais que não sejam semelhantes em produtos cuja separação torna-se difícil. Toda vez que um projetista utilizar materiais não semelhantes juntos, ele deve ter em mente que, se eventualmente este produto for reciclado, os materiais deverão ser facilmente separados. Esta consideração é muito

---

<sup>21</sup> “Desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (*Nosso Futuro Comum*, 1991, p. 46).

importante, porque os custos dos serviços tendem a ser uma das barreiras mais significativas para a reciclagem do produto.

O agrupamento de componentes é também considerado importante fator para reciclagem. O agrupamento é um conjunto de componentes e/ou subconjuntos que formam uma característica comum em determinado produto. A compatibilidade é ponto relevante no agrupamento e interfere na reciclagem do produto. No projeto do produto, o projetista pode necessitar de agrupar componentes que não sejam compatíveis, em decorrência de certas restrições. Após a vida útil do produto, se a meta do projetista é a reciclagem e se os componentes do agrupamento não são compatíveis, as ligações entre estes deverão ser facilmente desmontadas, isto é, manualmente removíveis ou utilizando ferramentas ou equipamentos adequados à separação. Se a meta do projetista é o descarte em aterros, as considerações de desmontagem não são importantes (KUO et al, 2001). Por outro lado, o projetista deve levar em consideração o tipo de material que será descartado, pois estes devem ser menos agressivos ao meio ambiente.

Além de considerar as características do produto para a reciclagem, têm de ser consideradas também as condições de trabalho dos envolvidos na atividade de desmontagem, de forma que esta reciclagem seja cada vez mais facilitada. Desta forma, é essencial ao adequado processo de reciclagem que o produto seja facilmente desmontado (por intermédio, sempre que possível, de processos não destrutivos) ou que possa ser reciclado integralmente em um mesmo processo. Exemplo típico são produtos plásticos que, embora tenham componentes isoladamente recicláveis, são construídos de forma que a desmontagem é impossível ou

economicamente onerosa, o que inviabiliza, na prática, o reaproveitamento e a reciclagem de materiais.

O reaproveitamento e a reciclagem de materiais dependem de como estes foram especificados no projeto. Cinco regras que devem ser levadas em consideração no projeto, do ponto de vista da reciclagem dos materiais, são apontadas a seguir (BACK, 1983, p. 343):

- Primeira regra: tanto quanto possível, para um produto ou um conjunto de construção deve ser adotado um único material ou ao menos o menor número de materiais diferentes ou, ainda, o mínimo de diferença entre eles. Usar um único material normalmente é impossível, mas, por exemplo, se num conjunto de construção têm-se peças de aço e ferro fundido, então, para a bucha de um mancal de escorregamento deve-se estudar a possibilidade de adotar o ferro fundido em substituição ao bronze;
- Segunda regra: selecionar materiais e processos de fabricação que não resultam em retalhos ou a um mínimo destes. Quando não é possível evitar retalhos, deve-se, em primeiro lugar, verificar se estes podem ser utilizados para outras peças. Se isso ainda não é possível, procura-se outra forma de reciclagem, por exemplo, cavacos, canais de alimentação ou massalotes, que poderão ser refundidos; refugos e retalhos de plásticos, que poderão ser moídos e misturados a matérias-primas na injeção de plásticos;
- Terceira regra: os produtos deverão permitir, após seu uso, uma reciclagem sem que haja necessidade de desmontagens consideráveis ou separação ou dissociação de materiais. Como exemplo, considera-se o problema da limpeza de produtos usados e disponíveis à reciclagem. Os produtos deverão ser projetados de tal forma que haja o máximo de superfícies planas, o máximo de aberturas para limpeza, tampas facilmente removíveis e poucos cantos vivos ou espaços cegos de difícil limpeza;

- Quarta regra: no projeto de produtos ou grupos de construção, evitar ou reduzir ao mínimo materiais considerados impurezas para a reciclagem do material principal. Por exemplo, no caso dos aços, materiais como o cobre e o zinco não podem ser separados na fusão;
- Quinta regra: as peças, os grupos de construção ou os produtos deverão ser identificados quanto ao tipo de material e o modo de reciclagem.

### 3.4 REPROJETO DO PRODUTO PARA MEIO AMBIENTE

O reprojeto é um processo de alterações e/ou modificações que podem ser feitas ao longo do ciclo de vida do produto já existente. Segundo Maribondo (2000), estas modificações têm o objetivo de satisfazer novos requisitos ou melhorar o desempenho de um projeto existente. De acordo com Bitencourt (2001), as alterações podem ser feitas para atender a demandas de características diversas ou de características específicas, podendo ser decorrentes de causas técnicas, de mercado, de segurança ou legais (FIG. 17).

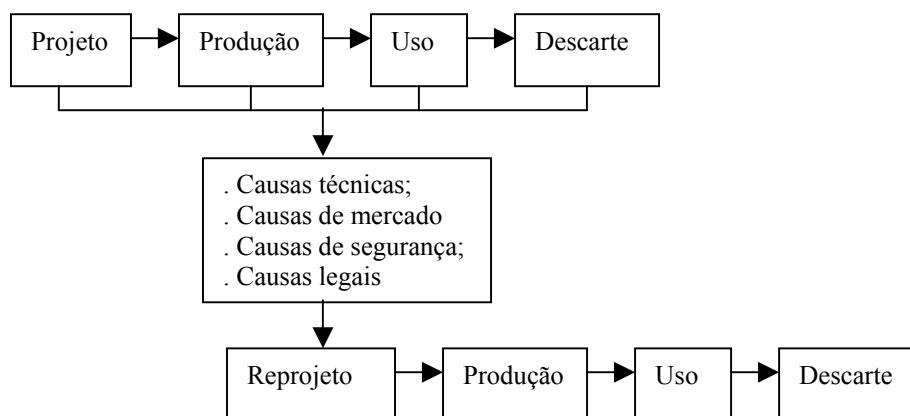


FIGURA 17 – Reprojeto ao longo do ciclo de vida do produto

FONTE – BITENCOURT, 2001. p. 35.

Um exemplo de reprojetado para atender a demandas relacionadas às causas legais corresponde ao programa de reprojetado de embalagens da *Hewlett-Packard Company* (citado por BITENCOURT, 2001). A empresa realizou mudanças substituindo o material utilizado nas embalagens de seus produtos por outro com maior taxa de material reciclado e substituindo a tinta por outra de menor toxicidade.

Os objetivos do reprojetado para meio ambiente são (DUFOR, 1996):

- identificar os problemas que dificultam a reciclagem de um produto de acordo com determinadas especificações (concepção original);
- focar o reprojetado dos componentes visando à remanufatura e desmontagem;
- integrar o projeto para meio ambiente com o reprojetado do produto para assegurar o melhor atendimento dos requisitos.

Segundo Otto e Wood (1998), o processo de reprojetado se divide em quatro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhado.

- Reprojetado informacional: é a primeira fase do processo de reprojetado, na qual ocorre a análise do produto existente e são levantadas informações em relação às demandas (mercado, segurança, ambiental, etc).
- Reprojetado conceitual: nesta fase, modificações mais complexas no produto podem ser feitas a partir da concepção do produto.
- Reprojetado preliminar: nesta fase podem ser feitas modificações como alteração na configuração do produto.
- Reprojetado detalhado: é a última fase, quando se executa o detalhamento do *layout* selecionado, definem-se os materiais e processos e identificam-se os ganhos que serão obtidos pelo reprojetado.

O processo de reprojeto pode ser utilizado para fazer desde modificações mais complexas até alterações mais simples no produto. Essas modificações vão depender do nível de mudança mais adequado para atender aos requisitos de reprojeto. Os níveis de mudanças são denominados níveis de reprojeto (BITENCOURT, 2001). Segundo Otto e Wood (1998), os níveis de reprojeto podem ser classificados em original, adaptativo e paramétrico, e as principais características podem ser vistas no Quadro 2.

## QUADRO 2

### Níveis de reprojeto de produtos

Nível de reprojeto	Principais características
Original	Compreende o maior nível de mudanças do produto existente. Está relacionado às mudanças funcionais e/ou dos princípios de solução. Por exemplo: mudança na estrutura funcional e seleção de princípios de solução que corresponda a uma maior eficiência energética. Engloba as fases de reprojeto conceitual, preliminar e detalhado.
Adaptativo	As mudanças ocorrem no <i>layout</i> ou na configuração do produto existente. Por exemplo: necessidade de facilidade de montagem, de reciclagem, de desmontagem, melhoria na separação de componentes etc. Engloba as fases de reprojeto preliminar e detalhado.
Paramétrico	As modificações necessárias estão relacionadas somente a parâmetros de engenharia. Por exemplo: mudança de material, aumento ou redução de uma determinada dimensão, mudança na potência necessária etc. Está relacionado à fase de reprojeto detalhado.

FONTE – Adaptado de BITENCOURT, 2001. p. 39.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo procurou-se complementar o estudo do estado da arte com informações específicas relacionadas aos requisitos ambientais que se fazem necessários ao projeto e ao reprojeto do produto. Desta forma, reuniu-se um conjunto de informações ambientais que se encontram dispersas na literatura para orientar os projetistas no sentido de incorporá-las ao projeto do produto.

No levantamento das informações ambientais, percebeu-se que a seleção de material é uma consideração fundamental que interfere no processo de desmontagem e reciclagem do produto. Assim, o projetista deve considerar este requisito durante todo o ciclo de vida do produto, pois pode-se evitar que problemas ambientais de uma fase sejam, simplesmente, transferidos para outras fases.

## **Capítulo 4**

### **METODOLOGIA DE PESQUISA**

#### **4.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo apresenta-se o método utilizado na construção deste trabalho e descrevem-se as etapas que conduziram a pesquisa de campo.

#### **4.2 O MÉTODO ESTUDO DE CASO**

Segundo YIN (1989. p. 23), “o método estudo de caso é uma inquirição empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, quando a fronteira entre o fenômeno e o contexto não é claramente evidente e onde múltiplas fontes de evidência são utilizadas”. Seguindo esta orientação, este trabalho de pesquisa foi conduzido por meio da análise exploratória e apoiado pela metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho – AET, mediante o levantamento de problemas ocorridos em situações reais de trabalho junto à desmontagem de produtos de uso cotidiano no Brasil. A AET é o estudo da

atividade de trabalho do homem, em situação real, por meio de métodos de observação, entrevistas, verbalizações e outras técnicas de registro.

Nesta pesquisa optou-se pelo método do Estudo de Caso por causa de suas características: por ser um método qualitativo; por ter um enfoque para abordar pesquisas que tratam de problemas sociais; por ser mais adequado para pesquisas exploratórias; por ser um método aplicável a questões explicativas do tipo “como” e “por quê”; pela capacidade de lidar com uma completa variedade de evidências – documentos, artefatos, entrevistas e observações; e por ser um método mais eficaz ao estudo de eventos contemporâneos, em situações onde é possível se fazer observações diretas e entrevistas sistemáticas.

Inicialmente, foi realizada uma revisão da bibliografia para o levantamento dos problemas relacionados à tríade: projeto do produto, descarte do produto e meio ambiente, conforme descrito nos Capítulos 2 e 3. Tendo definido o problema a ser tratado neste trabalho, iniciou-se em seguida um estudo acerca das abordagens do DFE, especificamente, o DFR e o DFD inseridos no contexto do *Design for X* (DFX). As buscas bibliográficas foram realizadas principalmente no Portal Capes,<sup>22</sup> em bancos de dados do Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) e de teses de Universidades, além de Anais de Congressos e *homepages* pela Internet. Paralelamente ao levantamento da bibliografia definiu-se o campo da pesquisa empírica dentro da realidade brasileira.

A fase exploratória da pesquisa de campo teve seu início durante o curso das disciplinas do mestrado, paralelamente à etapa de definição do tema da pesquisa. A análise exploratória no

---

<sup>22</sup> Em especial no Periódico *Design Studies* da Editora Elsevier Science.

local a ser pesquisado determinou-se o método e a metodologia de apoio. Optou-se por uma associação que trabalha com a separação/desmontagem de produtos para a reciclagem e que já possuía uma infra-estrutura para tal.

### **4.3 A PESQUISA DE CAMPO**

O primeiro contato com a direção da associação pesquisada foi feito por meio de uma reunião, em novembro de 2001, com a coordenadora-geral e um dos membros da administração, quando apresentou-se a proposta do projeto, que foi considerada relevante para a associação. A diretoria solicitou um documento contendo a síntese da proposta do projeto, que foi encaminhado à associação no início de dezembro de 2001. A proposta foi aceita e a pesquisa iniciou-se em janeiro de 2002. As investigações feitas, anteriormente à negociação com a associação já haviam apresentado elementos que sugeriam a aplicação da AET como apoio ao método do estudo de caso.

Para realização da pesquisa, inicialmente trabalhou-se com as observações gerais e entrevistas com os trabalhadores, a fim de obter um conhecimento global do funcionamento da empresa e construir a análise da demanda. Em seguida, foram realizadas observações das atividades, entrevistas (registros manuais e gravações áudio) com os triadores<sup>23</sup> e demais envolvidos, análise documental, levantamento fotográfico da atividade e verbalizações (interruptivas e consecutivas). No final, foram realizadas discussões com os trabalhadores, expondo as

---

<sup>23</sup> Triadores são os operadores que executam as atividades de separação (triagem) e desmontagem dos materiais e produtos recicláveis.

representações identificadas durante as observações e permitindo a confrontação dos resultados.

#### **4.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

As principais etapas utilizadas na pesquisa de campo foram baseadas nas abordagens da metodologia da AET, representadas de forma geral na FIG. 18.

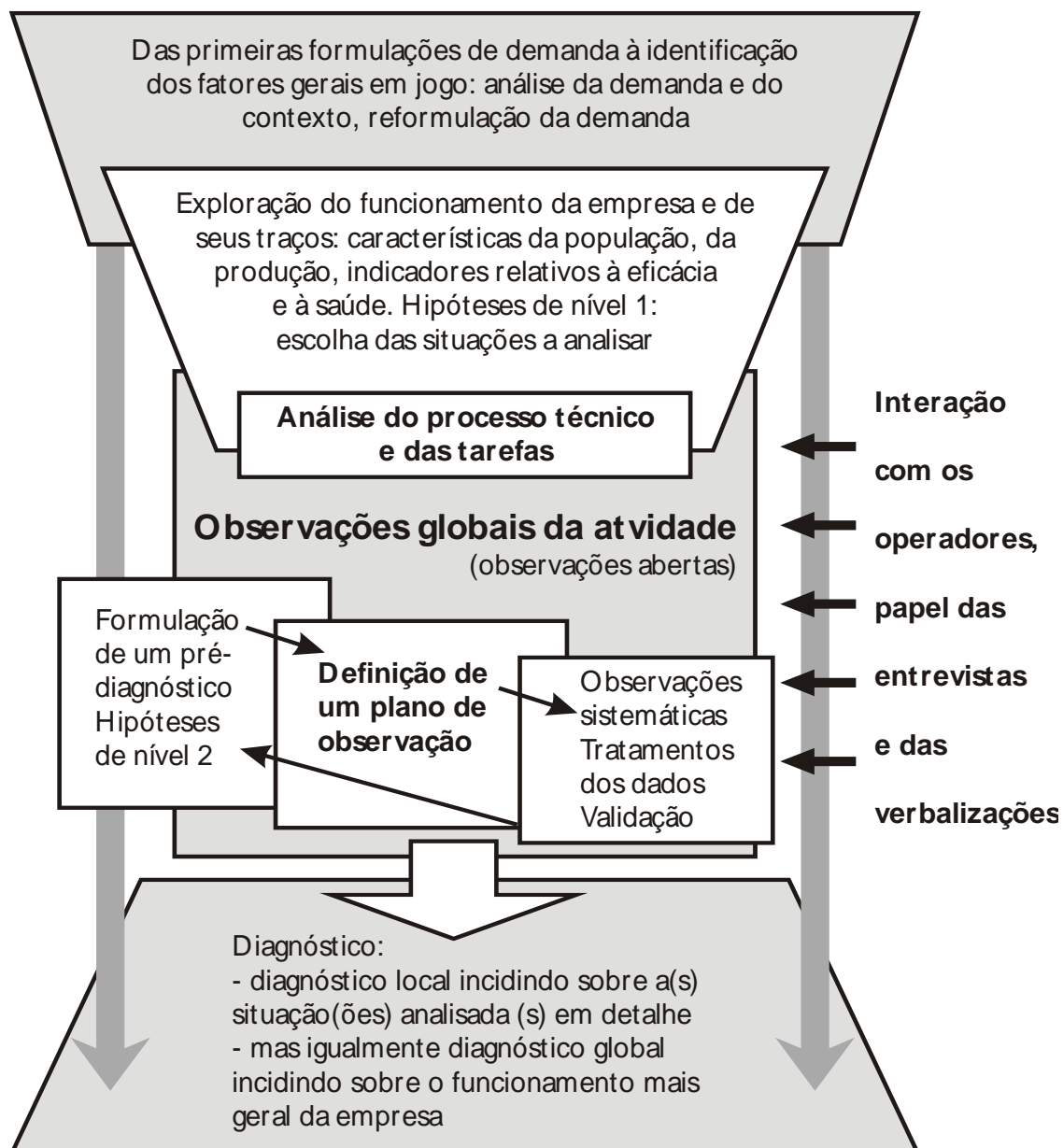


FIGURA 18 – Esquema geral da metodologia da AET

FONTE: GUÉRIN et al., 2001. p. 86.

#### 4.4.1 Análise da demanda

A demanda inicial da pesquisa teve como ponto de partida o interesse do pesquisador em compreender a atividade de trabalho dos operadores que lidavam com o produto descartado

(recicláveis), para verificar as dificuldades existentes nas etapas da desmontagem/separação que se justificasse como deficiência de projeto.

A partir das primeiras visitas à associação foi possível fazer um levantamento de uma série de problemas relacionados à atividade do operador, cuja descrição se encontra no Capítulo 5, item 5.2.1.

#### **4.4.2 Exploração do funcionamento da associação**

As informações globais acerca da associação foram adquiridas por meio das gerências (verbalizações e fornecimento de documentos) e durante a análise da atividade, pelos próprios operadores (verbalizações). Os dados sobre o funcionamento geral da empresa foram obtidos durante todo o desenrolar da análise.

#### **4.4.3 As observações**

As técnicas de observações utilizadas na pesquisa foram: registro manual, gravações áudio e autoconfrontação (LIMA, 1995, p. 23-24).

**Registro manual** – É uma forma prática de registro e é feita simplesmente com o uso de lápis e de papel. Esse tipo de registro foi usado durante toda a pesquisa e, principalmente, durante as verbalizações interruptivas.

**Gravações áudio** – Os registros feitos em gravador são de grande relevância para analisar situações que exijam maior credibilidade. O registro em gravador permite captar informações mais contextualizadas, sendo muito úteis em situações de verbalizações consecutivas e em entrevistas previamente agendadas. As situações que exigiram o uso desse instrumento foram realizadas com o consentimento dos trabalhadores. Esse tipo de registro foi utilizado apenas em algumas verbalizações consecutivas e em entrevistas não-diretivas, ou seja, em situações que demandaram informações mais extensas.

**Autoconfrontação** – É uma técnica indispensável na aplicação da metodologia da AET. Consiste em devolver aos trabalhadores observados os resultados obtidos pela análise e funciona tanto como forma de enriquecimento dos dados coletados quanto meio pelo qual os operadores refutam os resultados. Esta técnica é utilizada para a validação dos resultados e é considerada, portanto, uma passagem obrigatória do pesquisador neste tipo de pesquisa (LIMA,1995, p. 22).

#### 4.4.4 As entrevistas

Segundo YIN (1989), a entrevista é uma das fontes de dados mais importantes para os estudos de caso. O autor ressalta que a entrevista é, ainda, uma fonte essencial de evidências para o método do estudo de caso. A entrevista é definida, de acordo com Moraes e Mont'alvão (1998, p. 20) “como a técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e lhe formula perguntas, com o objetivo de obter dados que interessam à investigação. A entrevista é, portanto, uma forma de interação social.” Há vários tipos de entrevista que podem ser usados em uma pesquisa científica. Nesta pesquisa utilizou-se os seguintes tipos de entrevistas (MORAES e MONT'ALVÃO, 1998, p. 40-41):

**Entrevista não-diretiva**, *ou entrevista aprofundada* – *A conversação é iniciada a partir de um tema geral sem estruturação do problema por parte do investigador.* Este tipo de entrevista foi utilizado na fase inicial da pesquisa de campo para explorar o funcionamento da associação e para fazer o levantamento dos problemas relacionados ao processo de trabalho.

**Entrevista focalizada ou centrada** – *Em algumas hipóteses e em determinados temas, o entrevistador deixa o entrevistado descrever livremente sua experiência pessoal a respeito do assunto investigado.* Esta foi utilizada na etapa da aproximação com os trabalhadores do posto de trabalho analisado, com o objetivo de obter informações acerca das características pessoais, experiência profissional, formação adquirida e estado momentâneo.

**Entrevista semi-estruturada** – *Aplicada a partir de um pequeno número de perguntas abertas.* Este tipo de entrevista foi utilizado nas enquetes com a coordenadora e gerentes da Associação.

**Entrevista clínica** – *Eventualmente conduzida de maneira não-diretiva, cuja especificidade está na sua orientação em função do objetivo de interpretação sócio-psicológico da situação ou da personalidade dos sujeitos através de suas verbalizações.* Esta, por sua vez, foi utilizada durante as verbalizações provocadas dos trabalhadores da triagem.

#### **2.4.5 As verbalizações**

A verbalização é uma técnica de grande utilidade para a Ergonomia (MORAES e MONT'ALVÃO, 1998, p. 41). Mediante depoimento do operador, adquirido pelas verbalizações provocadas e os constrangimentos da tarefa, o pesquisador busca compreender o seu modo operatório.<sup>24</sup> GUÉRIN et al (2001) classificam as verbalizações provocadas em verbalizações simultâneas e verbalizações consecutivas. A escolha entre uma dessas modalidades depende das condições de exercício da atividade e do tipo de informação que se pretende obter.

- Verbalizações simultâneas: apresentam o interesse em produzir explicações no próprio contexto da atividade. As condições concretas de seu exercício são apresentadas (a peça

---

<sup>24</sup> São as formas concretas pelas quais o operador realiza sua atividade de trabalho numa determinada situação (ECHTERNACHT, 2002).

usitada, o documento tratado etc.). O operador está em condições de expressar e o ergonômista para entender.

- Verbalizações consecutivas: apresentam o interesse em preservar o desenvolvimento normal da atividade, ou seja, o operador não é perturbado durante a execução da sua atividade. A coleta de dados é feita e os resultados de observações são apresentados ao operador.

Os questionamentos decorrentes das verbalizações foram feitos com certas precauções. O pesquisador priorizou os questionamentos do tipo “como” e “o que” e evitou os do tipo “por que” no início deles. Segundo Guérin et al (2001, p. 170), um dos inconvenientes do uso do “por que” justifica-se porque *introduz uma confusão entre as causas e os objetivos*. O operador por trás da pergunta *Por que você faz isso?* pode entender indiferentemente *Que evento o levou a fazer isso?* e *O que procurava obter fazendo isso?*. O autor sugere que as perguntas tenham a forma do tipo:

- *O que você está fazendo nesse momento?*
- *Como você faz isso?*
- *O que o leva a...?*
- *O que você procura fazer?*

#### **4.4.6 Escolha da situação a analisar**

A escolha da situação a analisar foi definida em decorrência do posto de trabalho, onde se constatou o maior número de problemas levantados. O posto de trabalho escolhido foi o setor

de triagem de material reciclável. Os pontos considerados para estudar a situação de trabalho estão representados na FIG. 19.

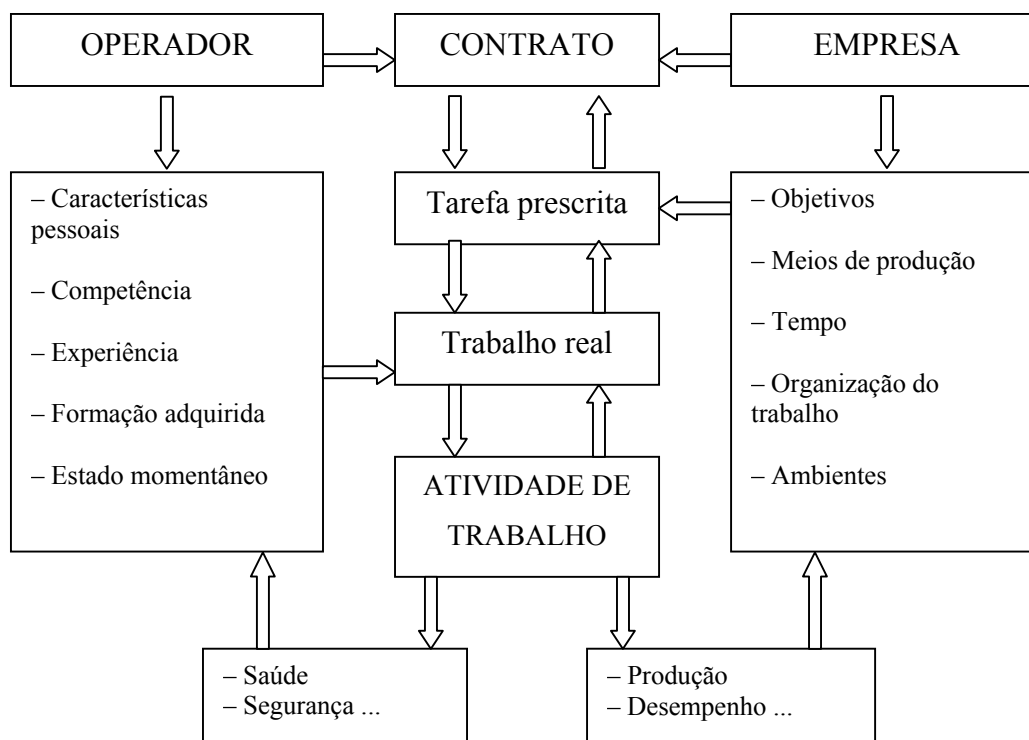


FIGURA 19 – Pontos utilizados para a análise da situação de trabalho

FONTE – Adaptada de GUÉRIN et al. 2001. p. 27.

#### 4.4.7 Análise da atividade

Para a análise da atividade foram realizadas observações gerais com todo universo dos triadores envolvidos nas atividades de triagem dos diversos tipos materiais (papel, plástico e metal). Já as observações para coletar as informações específicas sobre as atividades de triagem de plásticos (produto definido como foco do estudo), foram entrevistadas duas

triadoras, durante a realização da tarefa (“verbalização interruptiva”) e após a sua execução (“verbalização consecutiva”), buscando a explicitação das razões, os meios e as finalidades das atividades (conforme descrito por LIMA, 1995). A análise das atividades foi feita mediante visitas, variando de um a três dias por semana em diferentes horários de trabalho, por um período de aproximadamente 10 meses.

#### **4.4.8 Validação**

A validação da análise da atividade é uma etapa indispensável da AET. Esta etapa trata da devolução dos resultados obtidos a partir da análise aos trabalhadores e demais atores envolvidos, com os seguintes objetivos:

- Retornar as informações àqueles que as forneceram;
- Corrigir e completar o trabalho de pesquisa.

A devolução e a correção dos resultados foram realizadas por meio de reuniões com as pessoas ligadas à diretoria da associação e aos trabalhadores envolvidos na pesquisa, no próprio local de trabalho. Esta etapa foi realizada de forma individual e em grupos, conforme descrito no Quadro 3.

## QUADRO 3

## Etapas da validação da análise da atividade

DATA	ENCONTROS	OBJETIVOS
21 de março de 2003	Encontro com a Coordenadora Geral e com a Agente Social da Pastoral de Rua	– Discutir os resultados da análise da atividade e a forma de devolução aos trabalhadores; – Apresentar um pré-relatório escrito para apreciação e para futuros comentários.
28 de março de 2003	Encontro com grupo de trabalhadores envolvidos na análise da atividade	– Devolver os resultados da análise da atividade por meio de uma apresentação e discussões; – Apresentar um pré-relatório escrito para apreciação e comentários no próximo encontro.
8 de abril de 2003	Encontro com os trabalhadores (individual)	– Comentar, corrigir e completar o trabalho de pesquisa
17 de abril de 2003	Encontro com a Agente Social da Pastoral de Rua	– Comentar, corrigir e completar o trabalho de pesquisa.
24 de abril de 2003	Encontro com a diretoria	– Apresentação dos resultados e de propostas para trabalhos futuros

#### 4.4.9 Diagnóstico

**Pré-diagnóstico** – Após a primeira etapa da análise (final de maio de 2002) chegou-se a um pré-diagnóstico relativo à situação inicial (galpão antigo). O diagnóstico formulado foi apresentado à associação por meio de um documento que gerou um artigo apresentado no ABERGO,<sup>25</sup> em setembro de 2002.

<sup>25</sup> Ver (LIMA e ROMEIRO FILHO, 2002).

**Diagnóstico final** – Ao final da análise foi divulgado o diagnóstico final à empresa e aos trabalhadores apontando os fatores a serem considerados como possibilidades de intervenção em relação ao produto focado.

A partir do relato dos trabalhadores e das observações contidas no produto focado, observou-se a necessidade de buscar alternativas para a solução do problema. Desta forma, algumas empresas foram visitadas.

#### **4.4.10 Procedimentos complementares**

Após a etapa da validação, foram realizadas visitas técnicas em duas fábricas dos principais produtos que utilizam a embalagem PET. As visitas foram realizadas em duas fábricas de refrigerantes situadas em Belo Horizonte, consideradas de médio porte (empresa “A”) e grande porte (empresa “B”). A empresa “A” produz refrigerantes de mercado regional, enquanto a “B” é uma franquia de marca existente em todo o mundo. As visitas foram acompanhadas pelo técnico químico (“A”) e pelo coordenador de produção (“B”), e foram guiadas por perguntas abertas direcionadas ao processo de produção e à fabricação da embalagem e de seus componentes (Quadro 4).

## QUADRO 4

## Visitas técnicas

<b>Visita técnica</b>	<b>Acompanhamento da visita</b>	<b>Produto(s)</b>	<b>Processos desenvolvidos</b>
Empresa “A”	Técnico em Química	Refrigerantes em embalagens de vidro e PET	– Envase dos produtos.
Empresa “B”	Coordenador de produção	Refrigerantes em embalagens de vidro, alumínio e PET	– Sopro das embalagens PET – Fixação de rótulos nas embalagens; – Envase dos produtos.

As visitas técnicas tiveram caráter investigatório sobre o problema focado. Os objetivos principais das visitas foram: 1. conhecer o processo de desenvolvimento do produto, especificamente da embalagem; 2. fornecer aos projetistas informações sobre as deficiências de projeto do produto do ponto de vista do DFR; e 3. verificar a possibilidade de modificação no processo para facilitar a atividade do “trabalhador da reciclagem”.

## Capítulo 5

### ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA ATIVIDADE DE TRABALHO DO TRIADOR

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo descreve-se a aplicação da metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho – AET. A metodologia foi aplicada em uma análise de situação de desmontagem/separação de um produto considerado simples<sup>26</sup> com fins para reciclagem.

Este estudo foi realizado na Associação de Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável (ASMARE), localizada no município de Belo Horizonte – MG, no período de janeiro de 2002 a abril de 2003. A idéia era compreender como se dá o processo de recuperação do produto, pós-descarte, para verificar as dificuldades encontradas para a reciclagem do mesmo. Como esta idéia envolvia a análise das tarefas dos trabalhadores, optou-se pela aplicação do método da Análise Ergonômica do Trabalho (GUÉRIN, 2001; WISNER, 1987; LIMA, 1995 e 1996). A análise foi realizada inicialmente no antigo galpão, onde foi criada a sede da associação e teve continuidade no galpão atual, para alguns setores.

---

<sup>26</sup> Neste trabalho, produto simples é considerado um produto que possui um número de operações de desmontagem  $\leq 5$ .

Antes de apresentar as etapas da análise, será descrito um breve histórico da Asmare e do desenvolvimento do produto focado, e uma síntese dos tipos de processos de desmontagem/separação das diversas resinas utilizados para a reciclagem.

## 5.2 HISTÓRICO DA ASMARE

Desde 1950, a atividade dos “catadores de rua” já existia em Belo Horizonte. Esses trabalhadores eram menosprezados e marginalizados pela sociedade. De um lado, eram explorados pelos patrões – donos de depósitos de materiais recicláveis e, de outro eram marginalizados pelo Poder Público, ocasionando constantes conflitos. Esses desentendimentos eram gerados por causa da atividade que realizavam nas calçadas e que, conseqüentemente, provocava sujeira nas ruas. Em decorrência disso, os “catadores” perdiam todo o material coletado (fruto do trabalho diário), bem como seus próprios pertences, que, se misturavam com o material apreendido.

A partir de 1980, os catadores iniciaram uma luta pela conquista da inclusão social e do resgate à cidadania. Essa luta teve total apoio de uma instituição social, a “Pastoral de Rua”<sup>27</sup> por meio de reuniões que eram realizadas debaixo dos viadutos. Em 1988, houve a primeira manifestação dos catadores que, a partir da organização e da resistência fizeram as seguintes reivindicações:

- direito de executar as atividades de trabalho;

---

<sup>27</sup> Pastoral de Rua é uma instituição social vinculada à Arquidiocese Católica de Belo Horizonte, direcionada à população de rua.

- isenção de impostos e outras contribuições.

Em contrapartida, contribuiriam para a preservação do meio ambiente, uma vez que o objeto de trabalho (lixo) é gerado pelo próprio desperdício da sociedade. Em 1989, os catadores ocuparam um terreno da Rede Ferroviária, situado em uma área central da cidade, por estar localizado próximo ao local de trabalho – comércio central. E, em 1990 foi constituída a sede da associação – Asmare. A palavra Associação é definida por Bueno (1996) como “reunião de pessoas para um fim comum” e a Asmare é uma entidade que possui duas finalidades relevantes. A primeira, de caráter social, visa resgatar a dignidade e a cidadania dos catadores de rua. A segunda, de caráter ambiental, visa recuperar e reaproveitar materiais para serem reciclados e, desta forma, contribuir para o prolongamento da vida útil dos aterros sanitários e para a conservação de recursos naturais.

Após várias pressões dos catadores, por meio de manifestações, para aquisição de um local de trabalho e direito de moradia, foi construído em 1992, pela Prefeitura de Belo Horizonte - PBH, o primeiro galpão destinado às atividades de trabalho. Após a construção do galpão a associação fez novas reivindicações no sentido de que os catadores fossem inseridos na Lei Orgânica do Município garantindo também a inserção dos mesmos na coleta seletiva.

A partir de 1993, a Superintendência Municipal de Limpeza Urbana (SMLU) e a Secretaria Municipal de Assistência Social (SMAS), órgãos vinculados à PBH, iniciaram um modelo de gerenciamento diferenciado dos resíduos sólidos, voltado para o aspecto tecnológico e para a incorporação de componentes sócio-ambientais. Um dos programas criados a partir deste modelo foi a coleta seletiva de recicláveis inorgânicos, utilizando Locais de Entrega

Voluntária (LEV's). A partir da implantação dos LEV's, a SMLU disponibilizou galpões de triagem e caminhões e passou a encaminhar todo o material coleta para a Asmare, tornando-os parceiros prioritários.

Em 2002, a Associação possuía cinco galpões na cidade e já era considerada “modelo” repassando as suas experiências para outras localidades. Desta forma, a Associação ficou conhecida nacional e internacionalmente.

Por ser uma organização social e ambiental, a Asmare foi escolhida como um local exemplar para aplicação do campo empírico deste trabalho. Por meio de uma análise exploratória procurou-se levantar as interferências que os fatores internos e externos à Associação provocavam na atividade dos operadores. O enfoque deste trabalho foi dado à atividade da triagem de materiais recicláveis, no setor de triagem dos produtos de plástico, considerado crítico por apresentar um grande volume, variedade e acúmulo de materiais, e, especificamente à desmontagem dos componentes da embalagem PET, por apresentar dificuldades na execução das tarefas.

### **5.3 O DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO PET**

O PET – Poli (tereftalato de etileno) é um poliéster, polímero termoplástico. A primeira amostra do material foi desenvolvida em 1941, pelos ingleses Whinfield e Dickson. O desenvolvimento de pesquisas para produzir o material em grande escala teve início em 1950, nos Estados Unidos e na Europa, visando sua aplicabilidade, praticamente total, na indústria

têxtil. Em 1962, foi desenvolvido o primeiro poliéster pneumático e somente no início de 1970, o PET foi introduzido na indústria de embalagem. No Brasil, o PET foi introduzido em 1988, sendo utilizado inicialmente na indústria têxtil. A partir de 1993 passou a ter uma forte expressão no mercado de embalagens, principalmente para os refrigerantes, além de ser utilizado também para embalar águas, sucos, produtos de higiene, e outros (ABEPET, 2002).

A escolha da análise desse produto foi feita também porque ele está inserido na realidade brasileira, representando uma evolução do consumo de materiais plásticos no Brasil. Para ilustrar, a Tabela 2 e o Gráfico 2 mostram essa evolução.

TABELA 2  
Evolução do consumo de embalagens PET no Brasil

Ano	Consumo (ktons)
1994	80
1995	120
1996	150
1997	185,7
1998	223,6
1999	244,8
2000	255,1
2001	270

FONTE – ABEPET (2002).

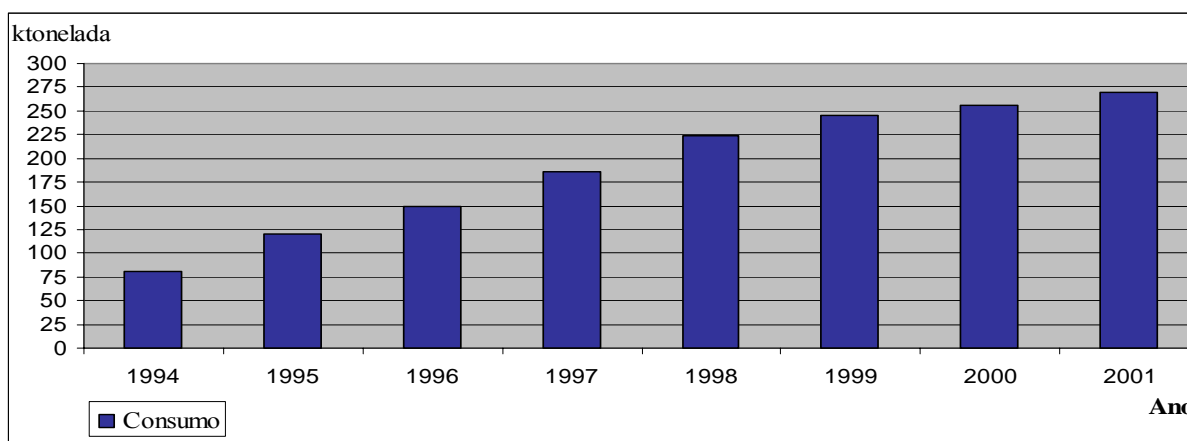


GRÁFICO 2 – Evolução do consumo de embalagens PET no Brasil.

FONTE – ABEPET (2002)

A embalagem PET utilizada para refrigerantes é constituída de diferentes tipos de resina, como mostra o Quadro 5. A atividade de reciclagem exige a separação destes componentes que contaminam o processo por serem incompatíveis.

QUADRO 5

Composição do material da embalagem PET

<b>Componente</b>	<b>Material</b>
Tampa	PEAD (polietileno de alta densidade)
Lacre (anel)	PEAD (polietileno de alta densidade)
Rótulo	PEBD (polietileno de baixa densidade)
Frasco	PET (politereftalato de etileno)

A recuperação dos diferentes tipos de resina que compõem a diversidade das embalagens plásticas, durante a reciclagem pode ser obtida por dois tipos de processo: manual e automatizado. O processo manual é aquele utilizado nas associações e nas usinas de triagem para atender a um mercado que absorve o material previamente separado. Já o processo

automatizado não necessita de uma separação prévia, ou seja, toda a resina é encaminhada misturada e sua separação ocorre em um processo posterior. O Quadro 6 mostra as vantagens e as desvantagens de cada um dos processos:

QUADRO 6

Vantagens e desvantagens dos tipos de processos de separação de resinas

<b>TIPO DE PROCESSO</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Separação manual de resinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exige baixo investimento;</li> <li>– Oferece maior geração de empregos;               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Obtém um material mais puro;</li> </ul> </li> <li>– Menor possibilidade de ocorrer contaminação do processo;</li> <li>– Produção de artefatos com melhor qualidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Processo mais lento;</li> <li>– Apresenta maior dificuldade para separação e identificação dos diversos tipos de resinas</li> </ul>
Separação automatizada de resinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Processo mais rápido;</li> <li>– Apresenta maior facilidade para separação e identificação dos diversos tipos de resinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exige altos investimentos em equipamentos especiais;</li> <li>– Maior possibilidade de ocorrer contaminação do processo;</li> <li>– Restrição à produção de artefatos (permite a fabricação de produtos com espessuras grandes como, por exemplo: mourões de cercas, formas de concreto);</li> <li>– Produção de artefatos de baixa qualidade;</li> <li>– Redução de geração de empregos.</li> </ul>

FONTE – Dados extraídos de IPT (2000. p. 150-154)

## 5.4 ETAPAS DA ANÁLISE

### 5.4.1 Análise da demanda

A análise exploratória nos galpões da Asmare, que teve como objetivo compreender a atividade de trabalho para verificar as dificuldades encontradas nos processos de separação dos materiais recicláveis, possibilitou o levantamento dos seguintes problemas:

- aspectos físicos: *layout* inadequado, provocando desconforto dos trabalhadores;
- transporte inadequado de cargas e excesso de peso, podendo causar sobrecarga nas atividades do trabalhador;
- posturas inadequadas, causando problemas músculo-esqueléticos nos trabalhadores;
- uso de ferramentas de trabalho inadequadas, que podem causar acidentes perfurocortantes;
- temperatura elevada em virtude da grande quantidade de material armazenado;
- insalubridade e presença de agentes patogênicos, podendo comprometer a saúde dos trabalhadores;
- variedade, excesso e acúmulo de materiais, ocasionando dificuldades para realização das tarefas.

A partir dos problemas levantados, a demanda consiste em fazer uma análise da atividade real dos triadores de materiais recicláveis sobre a relação entre as características dos produtos, as condições de trabalho e as características físicas e ambientais.

### 5.4.2 Características da Asmare

A Asmare é formada por uma comissão central, dividida em sete comissões de trabalho: religiosidade; infra-estrutura; divulgação e imprensa; saúde; finanças; educação e cultura; e meio ambiente (ANEXO A), tendo um membro representante cada uma. Possui 356 associados, sendo que 250 são considerados permanentes e a maioria já foi catador de papel. A unidade analisada possui cerca de 150 associados organizados em um escritório, uma marcenaria, uma oficina de artesanato, uma cozinha e três galpões, que funcionam da seguinte forma:

1. galpão de triagem do material proveniente da coleta seletiva e de doações de empresas;
2. galpão de triagem do material dos catadores informais;
3. galpão operacional (enfardamento e comercialização do material triado).

A Associação possui três unidades em Belo Horizonte e trabalha com os materiais advindos da coleta seletiva, de doações e dos materiais coletados nas ruas. Dentre as três unidades, apenas uma trabalha com o material da coleta seletiva, das doações e parte da coleta informal.<sup>28</sup> As outras duas trabalham apenas com o material da coleta informal.

---

<sup>28</sup> Coleta informal é a coleta realizada nas ruas pelos “catadores de rua”, normalmente transportada em carrinhos de madeira (tração humana)

### 5.4.3 População trabalhadora

A população trabalhadora do setor de triagem é formada por 1 balanceiro, 2 ajudantes e 23 triadores. O grupo dos triadores é formado por 20 mulheres e 3 homens na faixa etária de 16 a 66 anos, predominando a faixa de 18 a 26 anos. O tempo de serviço varia de 2 meses a 12 anos, sendo que a maioria possui de 2 a 3 anos de experiência, com o 1º grau incompleto.

• **Saúde coletiva** – As principais queixas dos trabalhadores são:

- dores nas costas e na coluna;
- olhos ardendo e coçando (principalmente nos boxes de papel);
- dores nas pernas;
- dores nos pés;
- material muito misturado;
- carregamento de peso;
- cortes nas mãos e dedos;
- presença de ratos.

Estas queixas foram levantadas no decorrer da pesquisa a partir do relato dos triadores. *Já carreguei muito peso. Agora não carrego mais. Estou com problema de coluna. Tem dia que chego aqui e dá vontade de voltar pra trás... A gente sente dor na coluna de tanto abaixar e levantar. Mas a gente até já acostumou... No final do dia sinto dor nas pernas e nos pés... Já cortei tanto com a faca que já até perdi a conta.* Os demais relatos que comprovam as outras queixas estão descritos no decorrer do texto.

#### 5.4.4 Análise da atividade

A atividade na Asmare consiste em: 1. receber o material da coleta seletiva que é obtido através da Superintendência Municipal de Limpeza Urbana – SMLU e o material que é doado por empresas como Belgo Mineira, C&A, Toshiba, Maxitel, Banco Itaú, Andrade Gutierrez, Mc Donald's, dentre outras; 2. coletar material nas ruas; 3. triar; 4. prensar e fazer a comercialização com as indústrias de reciclagem e com os atravessadores. O material da coleta seletiva é entregue todos os dias à Associação, com exceção do vidro que é encaminhado ao hospital Santa Casa. O material processado pela Associação inclui: papel (branco, jornal, revista, papelão, misto, embalagens cartonadas); metal (latas de alumínio e metais ferrosos) e plástico (PET, PEAD, PEBD, PP5, PS, PVC, outros). A quantidade de material proveniente da coleta seletiva vem crescendo e pode ser vista no Gráfico 3.

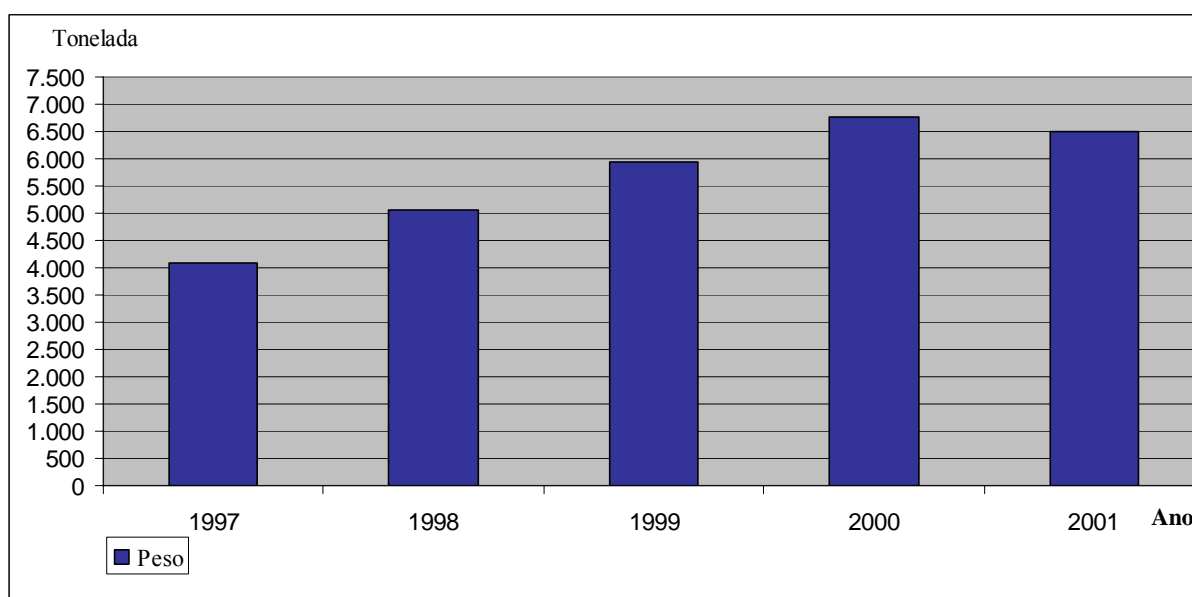


GRÁFICO 3 – Coleta seletiva em Belo Horizonte

FONTE – SMLU (2001).

Para realização deste estudo, optou-se pela unidade que recebe o material da coleta seletiva, que compreende grande parte do material proveniente do lixo domiciliar, que é o objeto desta investigação. Nesta unidade, a análise ergonômica foi focada no galpão de triagem, por centralizar o maior número dos problemas detectados. O fluxo do processo de separação do material inicia no galpão de triagem com o recebimento do material e finaliza com a comercialização do material enfardado.

#### 5.4.5 Galpão de triagem (antigo)

**Caracterização do galpão** – O galpão de triagem possui dimensões de aproximadamente 14m de largura, 45m de comprimento e 4m de altura. É dividido em 23 boxes feitos em

alvenaria e conta com uma área de circulação. Cada box tem aproximadamente 3,5m de largura, 5m de comprimento, 2m de altura e a área de circulação possui 3,5m de largura e 45m de comprimento (o *layout* do galpão de triagem está ilustrado no Anexo B). O posto dispõe de uma mesa e uma cadeira em mal estado de conservação. A ventilação é feita através de aberturas na parte superior das paredes, próximo ao telhado, e por uma porta de 3,5m de largura. A iluminação é artificial (lâmpadas fluorescentes) e natural (aberturas para ventilação), mas é, ainda, precária em função do excesso de material que interfere na iluminação artificial. Na entrada do galpão, próximo à porta, há uma balança que é utilizada para pesar todo o material (entrada e saída). Os boxes são utilizados para armazenar o material distribuído de acordo com o tipo: plásticos, papéis e metais. Na parte externa do galpão ficam os carrinhos de madeira utilizados para transportar o material triado até o galpão operacional, conduzidos pelo ajudante ou pelo próprio triador, para realização da prensagem e da comercialização.

#### ***5.4.5.1 Aspectos organizacionais***

- **Organização da produção e do trabalho** – As atividades são realizadas em um turno de trabalho com duração de aproximadamente 8 horas/dia, com pausa de uma hora para o almoço. O termo aproximadamente é usado em função dos triadores trabalharem por produção. A remuneração é semanal, feita todas as sextas-feiras, de acordo com a produção de cada triador. A média da remuneração semanal dos triadores é de R\$ 40,00. Quanto às exigências da produção, o Agente Administrativo relatou que *há uma avaliação trimestral e,*

*quem tiver com a produção baixa é avisado que poderá ser substituído. Mas, não há uma exigência rígida em relação à produção.*

Quanto à qualificação, não há nenhuma exigência específica nem experiência para a atividade de triagem apesar de a maioria já ter sido “catador de rua”. Em relação ao treinamento para os trabalhadores novatos, a coordenação passa informações verbais de como e quais materiais devem ser triados. Posteriormente, o treinamento é feito de forma empírica com o auxílio dos triadores com experiência.

No posto de trabalho existe uma tabela que serve de parâmetro para os triadores contendo a quantidade referente à produção e o valor a ser remunerado. Apesar de não haver rigidez para se atingir uma produção determinada, notou-se que os triadores têm como meta semanal conseguir triar 2000 kg de papel e 650 kg de plástico, quantidades estas que equivalem a um mesmo valor de produção, ou seja, R\$ 56,00 (semanal). Alguns triadores conseguem ultrapassar esta meta. De acordo com o relato do balanceiro, *uma boa triadora de PET consegue triar 750 kg e uma boa triadora de papel consegue 3000 kg.*

Os trabalhadores não utilizam equipamentos de proteção individual – EPis para a realização das atividades. Segundo depoimento de uma triadora, a Asmare não fornece botas, luvas e máscaras. *Só dá o uniforme. Eles falam que vão fornecer pra gente. Eles vão obrigar a gente a usar, mas eles vão gastar dinheiro à toa, porque eu não vou usar.*

As tarefas principais realizadas no galpão de triagem são: receber o material da coleta seletiva e das doações; pesar todo o material e anotar a quantidade; armazenar o material nos boxes, triar o material por tipo, pesar o material triado e anotar a produção de cada triador; transportar o material para o setor operacional para fazer a prensagem (FIG. 20).

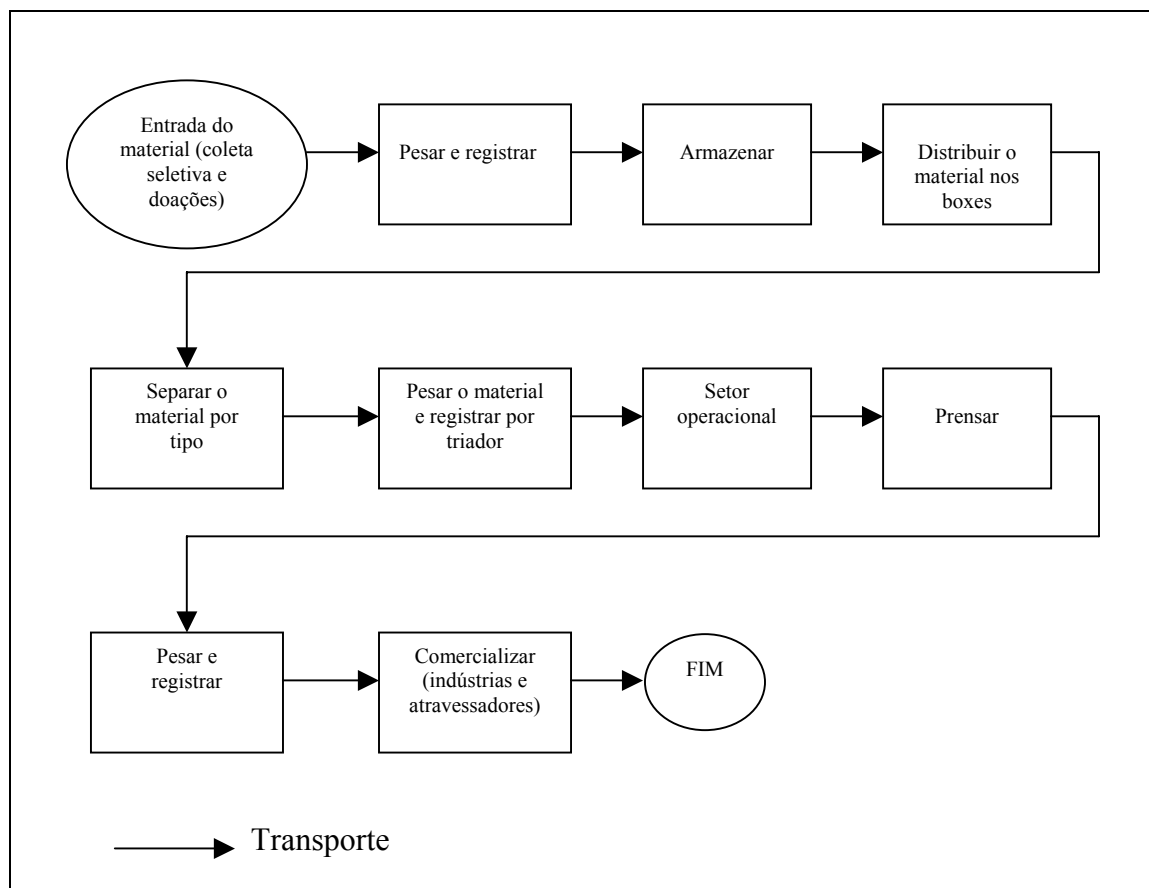


FIGURA 20 – Fluxograma do processo no setor de triagem

• **Aspectos físicos e ambientais** – Os espaços do galpão de triagem são insuficientes para executar as tarefas. A deficiência de circulação é também um grande problema, dada à diversidade de fluxos para atender trabalhadores; chegada do material da coleta seletiva e das doações, armazenamento do material, triagem do material e visitantes. A FIG. 21 mostra situações críticas do posto de trabalho em que os boxes e a área de circulação se encontram congestionados de material, gerando desconforto e dificultando todo o processo das atividades. O espaço físico é bem precário, agravado pelo alto grau de insalubridade e poluição decorrentes do acúmulo de material.



FIGURA 21 – Posto de trabalho de triagem de materiais recicláveis

Não foram medidos índices de insalubridade e de poluição mas, qualitativamente, estes problemas foram visíveis durante todo o período das visitas e confirmados pelos depoimentos dos trabalhadores, como exemplificado a seguir.

Triadora de plásticos: *O grande problema é a falta de espaço. É muito material e o espaço é pequeno para colocar as bombas (fardos).*

Triadora de papel: *O material é muito misturado. É muito difícil.*

Triadora de papel: *A maior dificuldade é a quantidade de material misturado. Não é fácil não. Se deixar muito tempo, aparecem ratos.*

Triadora de papel: *Hoje, minhas vistas estão coçando e doendo. Acho que é por causa da poluição, por causa da quantidade de material. Por isso que eu fico 'doida' para esvaziar o box, e porque dá rato. Tem hora que sai um rato atrás do outro.*

Triadora de plásticos: *De vez em quando aparece rato aqui. Durante o dia, até que não, aparece mais à noite, quando diminui o movimento.*

A situação dos boxes também é crítica e a área é insuficiente para armazenar o material, impedindo que os triadores executem suas tarefas dentro deles. Um outro problema verificando é que antes de um box ser triado por completo, um novo material é armazenado por cima, provocando sempre o acúmulo do material antigo, que pode ser o principal causador do surgimento de ratos (FIG. 22).



FIGURA 22 – Boxes de plástico e de papel

Outro ponto observado foi em relação ao *layout* do galpão. A divisão de trabalho, com um box para cada triador, gera alguns conflitos entre os triadores como, por exemplo, disputa pelo material e posse do local de trabalho. Segundo a Coordenadora Geral da Associação, *as pessoas aqui apoderam do box, achando que é só dela aquele material, que ela pode guardar para triar no outro dia, não precisa de correr*. De acordo com o depoimento de uma triadora de papel *quando o material (papel) acaba e quando a coleta chega, dá até briga*. O material acabou somente em alguns boxes de papel, em um período do mês de fevereiro, época em que normalmente há uma redução de material da coleta seletiva. Apesar dos conflitos existentes, há certo tipo de cooperação entre alguns triadores, no sentido de ajudar a carregar e/ou puxar os fardos pesados, separar o material coletivamente e dividir a produção.

Alguns setores correlatos ao galpão de triagem situam-se em outro espaço físico. Um deles é o setor operacional, onde estão localizadas as prensas utilizadas para o enfardamento do material triado para ser comercializado. É um setor fundamental para a finalização do processo e está a aproximadamente 200m de distância do galpão de triagem. Essa distância torna-se um problema, porque os triadores ou ajudantes têm de transportar o material triado em carrinhos de madeira (tração humana), carregando 250 kg de uma só vez. O percurso não é totalmente plano e dificulta ainda mais o transporte (FIG. 23). O excesso de peso é opção dos triadores que preferem transportar vários fardos de uma só vez *pra andar mais rápido por causa da distância*.



FIGURA 23 – Transporte do material triado do galpão de triagem para o galpão operacional

Outro setor correlato é o escritório onde funciona a gerência de vendas, responsável pelas informações sobre os tipos de produtos comercializáveis. Este setor está localizado próximo ao setor operacional, que é distante do galpão de triagem. A distância entre esses dois setores influencia no sistema informacional, quando surge um material que não é comum. Quando é encontrada uma embalagem de plástico diferente das embalagens de uso cotidiano e o triador não a identifica pelo “saber-fazer”, por não possuir a codificação SPI, a informação é solicitada aos triadores com mais experiência na função. Caso esses também não identifiquem o tipo de resina, a informação é solicitada ao balanceiro e, por último, ao gerente de vendas. É importante ressaltar que esta não é uma situação que ocorre com frequência. A maioria das embalagens é de uso cotidiano e quando surge um produto diferente, grande parte dos triadores já possui uma certa competência<sup>29</sup> para identificá-lo a partir da referência de um similar.

#### **5.4.6 Análise da atividade da triagem de plásticos**

As atividades no galpão de triagem iniciam-se por volta das 8 horas, controladas pelo balanceiro, que é o encarregado de produção. A triagem dos materiais é feita manualmente e cada triador trabalha com o material em um box.

---

<sup>29</sup> “Conjuntos estáveis de saberes e saber-fazer, de condutas-típicas, de procedimentos *standarts*, de tipos de raciocínio que se pode aplicar sem nova aprendizagem” (MONTMOLLIN, 1983, apud ECHTERNACHT, 2002).

#### ***5.4.6.1 Tarefa prescrita versus atividade real***

O ponto central da ergonomia está na distinção que se faz entre a tarefa (trabalho prescrito) e a atividade (trabalho real). Segundo Daniellou (1989), a tarefa *é a maneira como o trabalho deve ser executado: o modo de utilizar as ferramentas e as máquinas, o tempo concedido para cada operação, os modos operatórios e as regras a respeitar*. De acordo com Lima (1995), a atividade *é o modo como o homem (cada um dos indivíduos), numa situação de trabalho, se relaciona com os objetivos propostos, com a organização do trabalho e com os meios fornecidos para realizá-los*. A atividade (real) nunca é executada como é definida a tarefa (prescrita).

Apesar de não ter uma prescrição formal, a tarefa para a triagem das embalagens PET requer desenroscar a tampa, retirar o lacre (anel) e remover o rótulo. Após a desmontagem, as peças devem ser separadas e armazenadas em fardos de acordo com o tipo do material e a embalagem PET deve ser separada conforme a cor (verde e incolor). As demais embalagens de plásticos (PEAD, PEBD, PP5, PS, PVC e outros) devem ser separadas de acordo com o tipo da resina, não sendo necessário remover o rótulo. A tampa somente deve ser retirada se o tipo da resina for incompatível com o da embalagem. O Quadro 4 mostra os tipos de plásticos, os produtos fabricados e os respectivos valores comercializados. Os materiais devem ser separados dentro dos boxes, pesados na balança no próprio setor e transportados em carrinhos de madeira até o galpão operacional para serem prensados e comercializados (FIG. 24). O material não pode ficar acumulado dentro dos boxes. Ao final da jornada de trabalho, todos os trabalhadores têm que fazer a limpeza da área interna e da área externa do galpão.

## QUADRO 7

Materiais plásticos comercializados pela Asmare

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS</b>	<b>VALOR/KG</b>
PET	Garrafas de refrigerante	R\$ 0,10
PEAD	Galões, frascos de produtos de limpeza, tampas de garrafas PET	R\$ 0,06
PEBD	Sacos de lixo, sacolas de supermercado, frascos de soro	R\$ 0,10
PP5	Garrafas de água mineral macia	R\$ 0,15
PS	Copinhos de água e café	R\$ 0,20
PVC	Tubos, canos, plástico porta-documentos	R\$ 0,06
Plástico Colorido	Plástico liso de cor, exceto sacolas de supermercado	R\$ 0,12
Plástico Incolor	Plásticos liso de cor transparente, exceto plástico que faz barulho quando é amassado	R\$ 0,20

FONTE – Asmare, 2002.

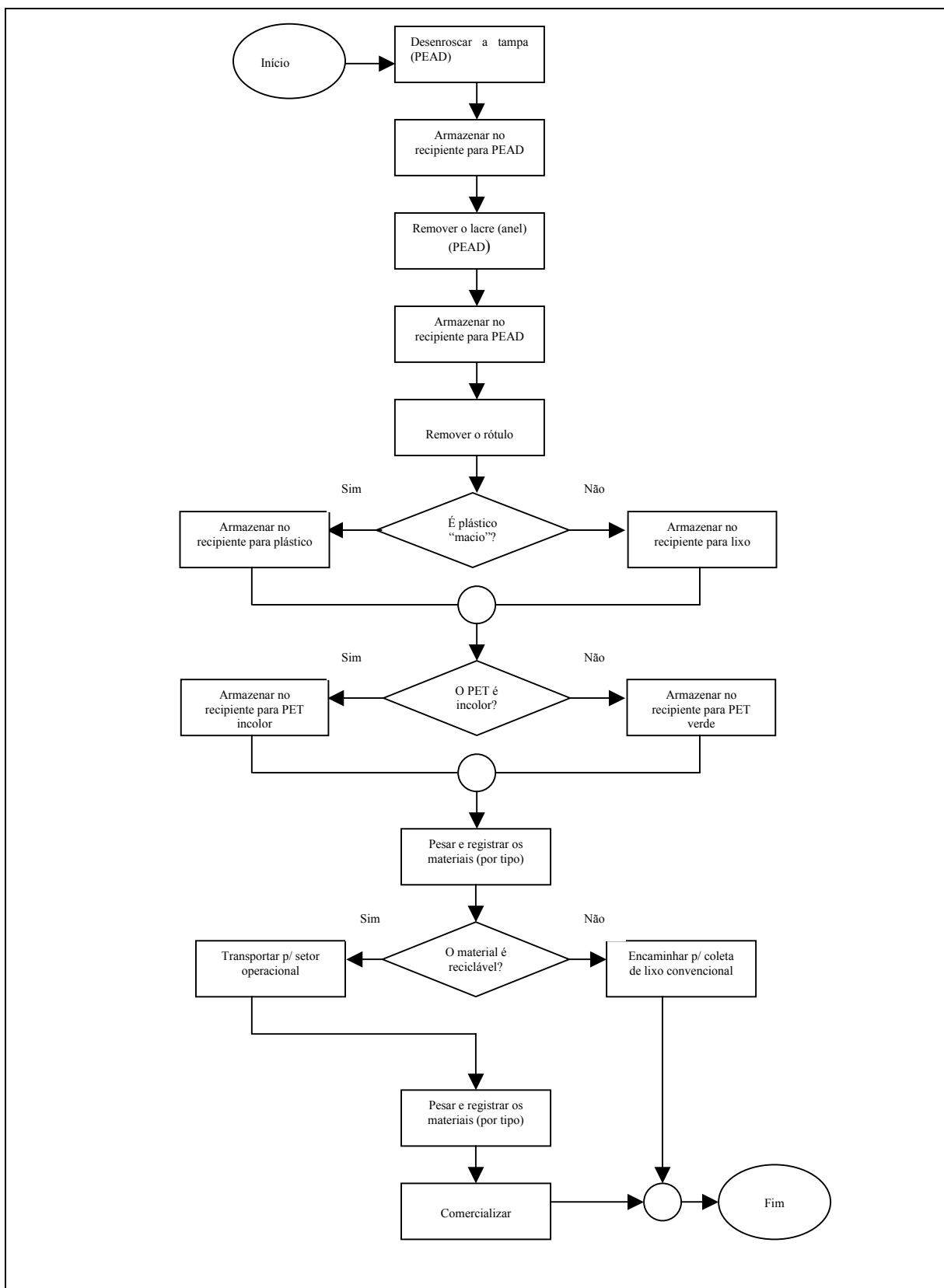


FIGURA 24 – Fluxograma da tarefa de desmontagem do PET.

A tarefa para a desmontagem dos componentes da embalagem PET é descrita em função da atual exigência dos compradores. De acordo com o relato de uma triadora: *Antes, o PET era separado só pela cor e não precisava de tirar o rótulo, nem a tampa e nem o anel. Agora, os compradores não compram se a gente não retirar. O que mais demora aqui é retirar o anel. Se não tivesse ele, seria muito mais fácil.*

#### **5.4.6.2 O foco sobre a atividade**

Para a análise da atividade foram realizadas observações e entrevistas com duas triadoras de plásticos. A escolha dessas duas foi feita por elas possuírem experiência na função (3 anos) e por cumprirem rigorosamente o horário de trabalho.

Antes de abordar, especificamente, a atividade das duas e dos demais triadores, serão descritos alguns pontos observados, que foram considerados comuns durante a atividade das mesmas. Para o desenvolvimento das atividades, os triadoras do setor de triagem de plásticos adotaram uma postura em pé e utilizaram a área de circulação para fazer a triagem dos materiais. Cabe ressaltar que mesmo não possuindo cadeiras ou bancos não há espaço para colocá-los e os triadores também se recusam a assentar. *Se trabalhar assentada o serviço não rende...Se assentar fica difícil de separar... Se eu assentar eu não consigo trabalhar direito. De vez em quando eu pego uma cadeira que vem de doação e assento para descansar... Se eu assentar, eu durmo* (fala de triadores de plástico). As atividades não são realizadas dentro dos boxes devido ao excesso de material armazenado. A utilização da área de circulação para

executar as atividades dificulta o transporte dos fardos e a realização das tarefas. A retirada do lacre e a remoção do rótulo são feitas com a utilização de uma faca “tipo serra”. A FIG. 25 ilustra essa situação de trabalho.

Para a realização da atividade, as triadoras utilizam vários tambores e fardos que são posicionados em frente ao box. Cada tambor é utilizado para armazenar um tipo de resina que é, posteriormente, colocado dentro de fardos.



FIGURA 25 – Posto de trabalho de triagem do plástico

A triadora “A” utiliza, inicialmente, um dos tambores para armazenar as embalagens PET, antes de serem triadas. Em seguida ela faz a desmontagem e a separação de acordo com a cor

da embalagem. Na posição em pé ela pega uma embalagem de cada vez, desenrosca a tampa e retira o lacre, coloca em um mesmo tambor, apóia a embalagem no abdômen e remove o rótulo. O rótulo da embalagem de Coca-Cola é armazenado e o do guaraná é jogado no chão. Em seguida, as embalagens são separadas de acordo com a cor (incolor e verde) e armazenadas em tambores diferentes. Os demais tipos de plástico são separados de acordo com a identificação da resina. Essa identificação é feita, na maioria das vezes, pelo saber prático. Após o enchimento dos tambores, o material é colocado dentro de fardos. No diálogo a seguir essas observações podem ser vistas de forma mais clara:

Para que você utiliza a faca para remover o anel e o rótulo?

Triadora: *Porque não é possível tirar o anel e o rótulo da embalagem PET, sem usar a faca.*

Você já se machucou com a faca?

Triadora: *Sempre a gente corta. Olha este aqui. Passei até mal. Também furei meu dedo.*

Você joga os rótulos da embalagem de guaraná no chão, por que?

Triadora: *Depois eu separo. Os rótulos da coca-cola a gente separa e os rótulos do guaraná não. Então é lixo. A gente joga fora.*

Por que o rótulo do guaraná é jogado no lixo se está escrito nele que é reciclável?

Triadora: *Porque é de um material diferente. Não sei qual material é. Ninguém compra, então tem que jogar fora.*

Qual tipo de plástico é feito o aparelho de barbear?

Triadora: *É de PVC.*

Você jogou-o no lixo, por quê?

Triadora: *Por causa da lâmina. Não tem jeito de tirar e então tem que jogar fora.*

Sempre vem aparelho de barbear da coleta seletiva?

Triadora: *Às vezes vem. E quando vem a gente joga no lixo.*

Durante a atividade da triadora “A”, quando da separação das embalagens, basicamente ocorreu torção e flexão do tronco por causa do movimento para recolher as embalagens do chão, colocá-las dentro do tambor e da utilização da força bruta para remover o lacre. A estratégia de colocar, primeiramente, as embalagens dentro de um tambor, antes de desmontá-las, reduz a possibilidade de torção do tronco.

A triadora “B” retira as embalagens PET e as demais embalagens diretamente do box e do chão. Ela utiliza os tambores e os fardos para colocar o material triado. A triadora pega de duas a três embalagens por vez, desenrosca a tampa, retira o anel e remove o rótulo, sendo

uma de cada vez. Durante a desmontagem da primeira embalagem, as outras embalagens são presas debaixo do braço. Cada material é separado, em um tambor, conforme o tipo da resina, que após ser enchido é transferido para os fardos. Os rótulos são jogados no chão. No diálogo a seguir essa situação pode ser observada:

O que você faz com os rótulos?

Triadora: *Jogo no lixo.*

Já que eles são recicláveis, por que você não separa os rótulos?

Triadora: *Tem rótulo que é reciclável. Este aqui, da Coca-Cola é, porque é plástico, mas tem alguns da Coca que não são recicláveis. Os rótulos das outras embalagens também, tem uns que são e outros não. Mesmo os que são recicláveis, a gente não separa porque senão a gente não vai ganhar nada. Perde muito tempo. Até que se não tivesse esses outros materiais, se fosse só o PET, a gente até separava.*

Como você sabe qual rótulo é reciclável e qual não é?

Triadora: *Olha este aqui, quando a gente amassa, ele é macio e então ele é reciclável. Este outro, quando a gente amassa, ele faz um barulho de celofane e então ele não é reciclável porque não tem quem compra.*

Você usa a faca para retirar o anel e o rótulo, por quê?

Triadora: *Quando eu vim pra cá, eles já trabalhavam com a faca. Pra tirar o anel, se não for com a faca não tem jeito de tirar.*

Você já se cortou com a faca?

Triadora: *A gente corta direto. Quando a faca está nova, até acostumar com ela, a gente corta bastante.* Nesse momento, a triadora “B” e a triadora do box ao lado mostram as marcas dos cortes nos braços e nas mãos, provocadas pelo uso da faca.

Durante as observações da atividade da triadora “B” verificou-se um maior número de movimentos de torção do tronco para recolher as embalagens diretamente do chão.

Após encher os fardos com o material triado, as triadoras levam (puxam) os fardos até a balança. Cada fardo contendo o PET triado pesa em média 35 kg. O balanceiro pesa um fardo de cada vez, anota a quantidade em um caderno, contendo o nome de cada triador, coloca-os no carrinho que é transportado (tração humana) até o galpão operacional pela própria triadora ou pelo ajudante. Ao final da jornada de trabalho, por volta das 17 horas, os triadores fazem a limpeza da área de circulação e da parte externa do galpão.

Além dos problemas relacionados à postura, que já foram expostos anteriormente, o transporte dos carrinhos por tração humana, a permanência da posição em pé para triar os materiais e a torção do tronco, outro problema observado foi em relação à atividade realizada para a pesagem do material: carregar os fardos triados para a balança e da balança para o

carrinho (FIG. 26). Esta atividade expõe os trabalhadores a uma sobrecarga física de carregamento de peso.



FIGURA 26 – Situações típicas relacionadas aos problemas posturais

#### 5.4.7 Pré-diagnóstico

Algumas etapas do processo de triagem não são executadas de acordo com a prescrição. O excesso de material armazenado para ser triado impossibilita que as tarefas de separação das embalagens plásticas sejam feitas dentro do box. A variedade de tipos de resinas juntamente com as dificuldades para desmontar os componentes das embalagens PET contribuem para que o material fique acumulado dentro do box.

O uso da faca, como instrumento de trabalho, para remover o laque e o rótulo da embalagem PET representa risco de acidentes perfurocortantes. Este risco foi detectado em vários momentos, por meio de entrevistas e confirmado pelas cicatrizes existentes em várias triadoras. A opção pelo uso da faca se deu após tentativas com outros tipos de instrumentos. Segundo a coordenadora-geral *a gente tentou várias maneiras de não usar a faca, mas não teve jeito. Fizeram até uma maquinazinha que a gente passava o PET. Mas era muita dificuldade prá passar, e tinha que puxar. Então com a faca ficou melhor, foi uma maior facilidade. Até na agilidade pra triar mais. A faca é mais ágil.*

Um outro aspecto observado e que dificulta a separação dos plásticos, é a variedade de embalagens compostas de diferentes tipos de resinas. Apesar de muitas conterem as codificações do tipo de plástico, várias embalagens não as possuem, e que eventualmente, dificulta o processo da separação.

Pelas observações e pelos relatos dos trabalhadores, foi possível constatar que a atividade de triagem é bastante árdua, devido ao levantamento de peso constante, permanência por um longo período na postura ereta, pelos movimentos de torção do tronco, pela precariedade do

posto de trabalho e pelo contato direto com os materiais descartados (lixo). As condições físicas e ambientais do posto de trabalho não proporcionam nenhum tipo de conforto aos trabalhadores e representam riscos à saúde dos mesmos.

É importante destacar que a Associação foi criada em 1990, e em decorrência do aumento da quantidade de material da coleta seletiva, os setores triagem, operacional e um escritório foram transferidos para um novo galpão, com dimensões maiores, que entrou em operação no final do mês de maio de 2002.

#### **5.4.8 Galpão de triagem atual**

- **Características do galpão** – O galpão tem uma área de aproximadamente 1650m<sup>2</sup>, possuindo 10 boxes com áreas irregulares, divididos por grades de arame galvanizado (FIG. 27). A área de circulação é de aproximadamente 450m<sup>2</sup> (o *layout* do galpão de triagem está ilustrado no Anexo C). A ventilação é feita por aberturas (janelas) próximo ao telhado e por duas portas de entrada, sendo que uma delas é específica para a entrada e descarga do material da coleta seletiva. O posto de trabalho do balanceiro fica em frente à entrada do material da coleta seletiva, possui mesas, cadeiras e uma balança que foi adaptada rente ao piso. Essa adaptação permite que o material seja pesado diretamente no carrinho reduzindo a carga física de carregamento de peso. A entrada para a descarga do material, por ser independente, não interfere no fluxo das demais atividades. Não existe mobiliário para os triadores.



FIGURA 27 – Galpão de triagem atual

• **Aspectos físicos e ambientais** – Os setores operacional e o escritório situam-se próximo ao da triagem e são divididos por paredes e divisórias, sendo, portanto, a extensão um do outro. A proximidade desses setores facilita no fluxo de informação e reduz a carga de trabalho,<sup>30</sup> com um percurso menor para o transporte do material triado.

• **Organização da produção e do trabalho** – Os trabalhadores se organizam em dois turnos, sendo que o primeiro funciona de 8 às 17 horas e o segundo de 15 às 22 horas, com pausa de uma hora para a refeição. A divisão de tarefas é coletiva, ou seja, em cada box trabalham de 2 a 4 triadores, mas a produção é considerada de forma individual e funciona pelo sistema de rodízio. O sistema de rodízio é feito semanalmente, quando há o revezamento dos grupos de triadores de papel para o plástico e vice-versa. Cabe lembrar que essa mudança foi adotada para resolver os conflitos que existiam, conforme já mencionado na situação anterior. Em decorrência disso, surgiram outros tipos de conflitos como a dificuldade de adaptação à nova situação e a queda da produção gerando insatisfação de alguns trabalhadores. Essa insatisfação pode ser percebida nos depoimentos dos triadores.

Triadora de papel/plástico “C”: *Eu não gosto de trabalhar com o PET. Dá muito mais trabalho. O PET, tenho que fazer 650 kg e o papel 2000 kg. É mais difícil de alcançar essa produção e machuca muito a mão com a faca. É difícil demais tirar o anelzinho. Custei a acostumar com ele. Tem uns que saem com facilidade, mas é difícil demais. Olha aqui meu dedo, está todo cortado. Já tive corte mais fundo também. Trabalhar aqui não é muito agradável (plástico). Acaba não produzindo de lado nenhum.*

---

<sup>30</sup> Sobre o assunto ver WISNER, 1987.

Triadora de papel/plástico “D”: *Antes eu só mexia com papel, agora estou no plástico. Estou detestando. Arregaça a mão da gente toda. No papel eu faço de 2000 a 3000 kg por semana. No plástico eu não chego nem a 500 kg por semana.*

Triadora papel/plástico “E”: *Eu tenho dificuldade aqui para retirar o anel. No papel eu consigo fazer de 2000 até 3000 kg. No plástico, eu estou há uma semana, e só consegui fazer 300kg.*

A insatisfação dos triadores também foi confirmada pelo balanceiro *elas estão muito insatisfeitas com esse rodízio. A produção caiu muito.*

Em decorrência desses conflitos foi feita uma reivindicação por parte dos triadores e diante disso ficou estabelecido, pela diretoria, um aumento do valor remunerado para a produção de triagem de plásticos, passando de R\$ 56,00 a produção de 650 kg para R\$ 56,00 a produção de 550 kg.

Para realização das atividades, foram fornecidos aos trabalhadores os seguintes EPI's: uniforme, botas e máscaras. A diretoria exige o uso diário dos EPI's e os trabalhadores são conscientizados da necessidade dos mesmos. As luvas não são fornecidas e apesar da necessidade do uso há uma grande resistência por parte dos trabalhadores, para não utilizá-las. *As luvas e a máscara são muito ruins de usar. As luvas grudam nas mãos e faz suar muito... . Eu não uso luvas porque tenho alergia. Fere entre meus dedos... . Eu não uso luvas porque não tem jeito de trabalhar com ela... A máscara é muito ruim. Parece que vai sufocar... . Não*

*dá pra trabalhar com as luvas. Não tem jeito. Atrapalha muito o serviço da gente. É muito ruim...* (Fala de triadores de papel e de plástico.)

Para a remoção dos rótulos das embalagens PET foi observado que os triadores, muitas vezes, necessitam cortar parte da embalagem, com a utilização da faca. Essa estratégia é feita para atender a atual exigência dos compradores, de que a embalagem PET não contenha nenhum resíduo de cola. De acordo com o relato de uma triadora: *agora, quando tem muita cola e o rótulo agarra, a gente tem que cortar esta parte. Não pode deixar nem um pedacinho, senão eles não compram... A faca tem que estar boa pra fazer isto. A parte da embalagem que é cortada pelos triadores é jogada no lixo juntamente com os rótulos, gerando um aumento de desperdício.*

#### ***5.4.8.1 Comparação entre o galpão antigo e o atual***

A partir da atual situação, alguns pontos foram analisados e comparados com a situação anterior (galpão de triagem antigo). O Quadro 8 apresenta uma síntese da comparação das duas situações e algumas observações dos pontos positivos e negativos.

## QUADRO 8

## Síntese da comparação do galpão antigo e do galpão atual da Asmare

Pontos analisados	Galpão de triagem antigo	Galpão de triagem atual	Observações: pontos positivos e negativos
Área do galpão de triagem	405m <sup>2</sup>	1650m <sup>2</sup>	O aumento do espaço físico proporcionou algumas melhorias na organização do trabalho como: aumento da ventilação e da iluminação; maior conforto aos trabalhadores, melhor fluxo da atividade etc.
Quantidade de box	23	10	Apesar da redução do número de box, houve um aumento considerável da área.
Quantidade de triadores	23	33	O aumento foi feito em função do aumento de turnos.
Número de turnos	1 turno	2 turnos	Houve um aumento da quantidade de material triado.
Mobiliário para o posto do balanceiro	1 mesa e uma cadeira (*)	1 mesa e 1 cadeira	Maior conforto na atividade do balanceiro.
Mobiliário para os triadores	Inexistente	Inexistente	A falta de mobiliário para os triadores contribui para os problemas posturais (posição em pé e torção do tronco)
Uso do EPI	Não eram fornecidos	Usam (fornecimento de máscaras e botas)	Apesar do fornecimento, alguns triadores não utilizam a máscara.
Distância do galpão de triagem até o galpão operacional (prensagem)	200m	50m	Redução do esforço físico
Presença de agentes patogênicos	Sempre	Às vezes	Decorrente das melhorias dos aspectos ambientais.
Balança	Suspensa	Rente ao piso	Redução do esforço físico
Divisão dos boxes	Alvenaria (fixo)	Tela de arame galvanizado	Maior ventilação
Divisão de trabalho por box	Individual	Coletivo (2 a 4 triadores)	Possibilitou maior cooperação o trabalho coletivo; reduziu os conflitos (poder de posse do material e do box).
Sistema de distribuição do box	Permanente	Rodízio (semanal)	Houve uma baixa na produção decorrente da falta de experiência, principalmente por parte dos triadores de papel quando executavam as atividades de triagem de plásticos.
Posturas adotadas pelos triadores para realização da atividade	Em pé, torção do tronco	Em pé, torção do tronco	Desconforto dos trabalhadores
Instrumento utilizado para retirar o rótulo e o lacre do PET	Faca tipo “serra”	Faca tipo “serra”	Riscos de acidentes perfurocortantes; ineficiência na produção.

NOTA – (\*) No galpão antigo, apesar de existir uma mesa e uma cadeira no posto de trabalho do balanceiro, ele não as utilizava por causa da falta de espaço para colocá-las, além do mal estado de conservação dos mesmos.

#### 5.4.9 Diagnóstico

Apesar das melhorias ocorridas com o funcionamento do galpão de triagem atual, alguns problemas ainda permanecem como as posturas adotadas para execução das atividades de triagem (permanência da posição em pé e torção do tronco) e a dificuldade para retirada do laque e do rótulo das embalagens PET, provocando acidentes perfurocortantes e ineficiência na produção. Há também riscos de contaminação e infecção biológica, tanto pelo contato direto com o objeto de trabalho – “lixo” quanto exposição do corte provocado pela faca ao material sujo.

A atividade exigida para execução da tarefa de triagem de embalagens demanda uma alta carga física, verificada pela necessidade de carregar pesos excessivos, assumindo posturas inadequadas.

Os problemas ambientais estão relacionados aos objetos de trabalho (lixo), agravados pela presença de agentes patogênicos (ratos) e da poluição do ambiente, que representam riscos à saúde do trabalhador.

Pode-se perceber que o novo *layout* contribuiu para a melhoria das condições de trabalho no local, em especial das condições físicas e ambientais, através da ampliação do espaço no novo galpão. Por outro lado, a má organização do fluxo de produção e do esforço físico podem gerar sobrecarga e acidentes provocados pela circulação de carrinhos com carga na área de circulação.

Os conflitos que existiam entre os trabalhadores, na situação anterior, foram minimizados em função da modificação na divisão do trabalho. Como consequência dessa divisão outros conflitos foram gerados.

Apesar dos problemas existentes no processo de trabalho, relacionados às características físicas e ambientais, a dificuldade central da atividade de triagem reside na etapa da desmontagem das embalagens PET, o que é verificável pela utilização de uma ferramenta que oferece riscos, tendo em vista a impossibilidade de separação dos componentes da embalagem (tampa, rótulo, lacre e frasco) por outro meio. Esta é uma etapa essencial à reciclagem.

Pontos críticos para a desmontagem da embalagem PET:

- Lacre – A retirada do lacre da tampa da embalagem foi considerado o ponto mais crítico da desmontagem, pois, além de ser considerado impossível de ser removido sem a utilização de uma ferramenta, não existe um instrumento adequado para a sua remoção.
- Rótulo – A remoção do rótulo foi considerada também um outro ponto crítico, principalmente por causa da cola. Em muitos casos, o excesso de cola dificulta a remoção do rótulo e, nesse caso, o material que se torna aderente ao recipiente (por ser incompatível com o material da embalagem e contaminar o processo da reciclagem) tem que ser cortado, gerando aumento do lixo. Ademais, a variedade de tipos de materiais encontrado nos rótulos também contribui para o aumento da geração do lixo. Se os rótulos das embalagens PET fossem constituídos de plástico “macio” facilitaria a separação e dessa forma entrariam novamente no ciclo produtivo.

Outro aspecto observado, que dificulta a separação das embalagens plásticas, foi a variedade de embalagens compostas de diferentes tipos de resinas. Apesar de muitas conterem as codificações do tipo do plástico, existem embalagens que não possuem e eventualmente, dificultam o processo da separação.

No caso dos aparelhos de barbear (constituídos da resina PVC), embora não tenham uma representação expressiva na coleta seletiva, estes não são encaminhados para a reciclagem. A desmontagem do produto (remoção da lâmina) é impossível de ser realizada manualmente e não há ferramenta adequada para tal atividade. Este produto apresenta, portanto, uma deficiência de projeto do ponto de vista do DFR e a sua separação demanda uma desmontagem destrutiva. Ressalta-se que os aparelhos de barbear não foram desenvolvidos para reciclar, e sim para serem “descartados” por inteiro.

#### **5.4.10 Recomendações**

A partir da situação analisada em relação ao produto focado, foram estabelecidas recomendações sobre dois pontos de vista: foco no produto e foco no posto de trabalho. O Quadro 9 mostra uma comparação entre as duas possibilidades de intervenção:

## QUADRO 9

Comparação das possibilidades de intervenção relacionadas ao produto

<b>Foco</b>	<b>Possibilidade de intervenção</b>	<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
Produto	Reprojeto do produto (nível de reprojeto: adaptativo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facilidade de desmontagem do produto;</li> <li>– Eficiência na atividade da reciclagem;</li> <li>– Redução do risco de acidentes perfurocortantes;</li> <li>– Maior produtividade na atividade da reciclagem;</li> <li>– Maior abrangência (atendimento aos demais locais que tiram o lacre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necessidade de maior investimento da indústria;</li> </ul>
Posto de trabalho	Desenvolvimento de uma ferramenta de trabalho adequada	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necessidade de menor investimento;</li> <li>– Redução do risco de acidentes perfurocortantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Requer maior adaptação por parte dos trabalhadores;</li> <li>– Menor abrangência (atendimento local).</li> </ul>

#### 5.4.11 Resultados das visitas técnicas

A partir da visita na empresa “A”, uma fábrica de refrigerantes de médio porte, constatou-se que existem dois tipos de tampa para vedação das embalagens PET (FIG. 28) utilizadas em refrigerantes (o que já havia sido observado no mercado). Um deles é a denominado *double lock*, no qual o anel (lacre) é forçado para que se rompa totalmente quando a tampa é retirada, ficando fixado ao recipiente (o que traz problemas para o desmonte). No outro tipo, denominado *win lock*, o lacre não se separa totalmente da tampa e, dessa forma, ele retirado do recipiente (junto com a tampa).

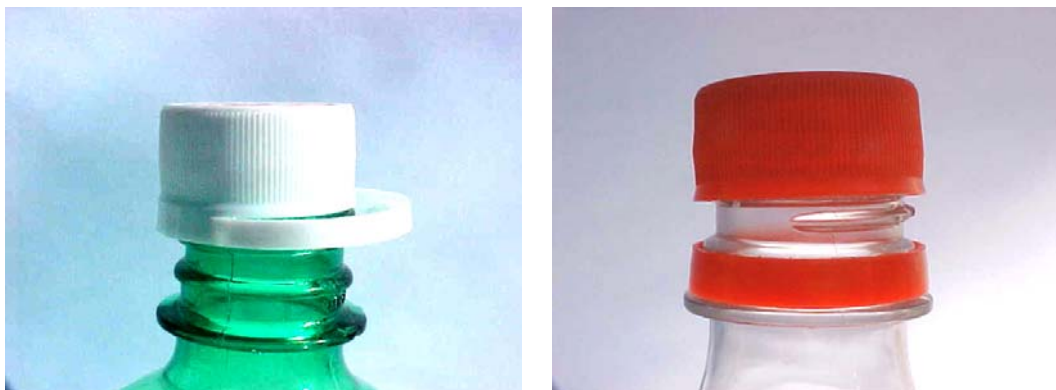
*win lock**doble lock*

FIGURA 28 – Tipos de tampa para vedação da embalagem PET

Em relação ao rótulo, o que a fábrica utiliza é fixado na embalagem por meio de cola, tarefa realizada por uma firma terceirizada. Ressalta-se que foi verificado a partir da análise da atividade dos triadores que as embalagens dessa empresa contêm excesso de cola nos rótulos de seus produtos, o que novamente traz problemas consideráveis na atividade de desmonte.

Na visita à empresa “B”, de grande porte, verificou-se a utilização de tampas do tipo *win lock* em seus produtos, o que foi alterado por questões de segurança, ou seja, para não permitir a violação de seus produtos, problema relatado pelo entrevistado. Segundo este, reclamações de consumidores (segundo as quais as embalagens eram violadas) indicavam que a tampa poderia ser retirada e recolocada sem que o lacre fosse rompido, o que não seria possível com a adoção de tampas do tipo *double lock*. A tampa do tipo *win lock* é ainda utilizada em embalagens de vidro que, ainda segundo o entrevistado, não permitem que o conteúdo seja violado sem a retirada do lacre.

Em relação aos rótulos, até no momento, a fábrica utiliza em seus produtos dois tipos (FIG. 29):

- BOPP: tipo de rótulo colocado no recipiente com o uso de cola;
- “Manga”: tipo de rótulo fixado no recipiente sem o uso de cola. Esse rótulo é “fechado” com uma “solda especial” antes de sua fixação.



BOPP



“Manga”

FIGURA 29 – Tipos de rótulos

Ressalta-se que o rótulo tipo “manga” não será mais usado pela empresa, em decorrência do maior custo da matéria-prima e operacional, bem como da imagem do produto, pois a qualidade de impressão nesse rótulo é também inferior. O Quadro 10 mostra as vantagens e desvantagens dos tipos de rótulos.

## QUADRO 10

## Vantagens e desvantagens dos tipos de rótulos

Tipo de rótulo	Vantagens	Desvantagens
BOPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Menor custo de matéria-prima e operacional.</li> <li>– Maior capacidade de rotulação pelo equipamento (até 18 mil recipientes por hora).</li> <li>– Melhor qualidade de impressão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dificulta a remoção do rótulo no processo de desmontagem.</li> <li>– Utiliza cola em sua fixação.</li> </ul>
“Manga”	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facilita a remoção do rótulo no processo de desmontagem.</li> <li>– Processo de separação não destrutivo (pela ausência de cola).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maior custo de matéria-prima e operacional (10-15% mais caro que o BOPP).</li> <li>– Exige maior controle sobre o processo.</li> <li>– Pode-se soltar comprometendo a imagem do produto.</li> <li>– Menor capacidade de rotulação pelo equipamento (até 10.500 recipientes por hora).</li> </ul>

### 5.5 Síntese

A necessidade da utilização de ferramentas de corte, no caso, facas serrilhadas, na situação de trabalho analisada decorre de características definidas no projeto do produto, ou seja, o anel de lacre preso ao frasco. Diante disso, recomenda-se a reflexão, pelos projetistas, de sua responsabilidade diante da possibilidade de evitarem os riscos de acidentes perfurocortantes, nesta situação de trabalho, o que demanda modificações no projeto do produto, com vistas a uma maior facilidade na desmontagem, viabilizando efetivas melhorias no processo da reciclagem e nas condições de trabalho dos triadores.

A AET exerce um papel importante no processo de análise dos problemas para desmontagem do produto visando a reciclagem, por ser realizada diretamente junto ao trabalhador (em

situação real). Desta forma, pode auxiliar os projetistas em tomadas de decisões a partir de elementos consistentes, através de diretrizes que podem ser adotadas no projeto de um produto novo ou mesmo no reprojeto de um produto já existente. Parece claro que, desta forma, as condições de trabalho dos atores envolvidos no processo de reciclagem devem ser levadas em consideração a partir da concepção do produto, o que facilitaria de maneira marcante o processo de desmonte.

Embora possa parecer, em princípio, uma atividade marginal ao processo produtivo – o que leva a uma concepção equivocada e pejorativa do trabalho do reciclador – a reciclagem apresenta-se atualmente como importante característica a ser incorporada aos produtos. Há que se ter em vista a progressiva preocupação ambiental, expressa cada vez mais através de legislação específica, em especial, nos países centrais, o esgotamento de recursos naturais, o que torna a reciclagem economicamente viável, e, em especial, a possibilidade de fonte de renda e inclusão social de expressivo número de pessoas, como no caso do Brasil.

Apesar de não ter sido o propósito deste trabalho investigar as empresas que utilizam a embalagem PET nos seus produtos, os dados levantados nas duas empresas investigadas contribuíram para a confirmação da hipótese, demonstrando que existe uma demanda de informações aos projetistas em relação aos requisitos ambientais de seus produtos, no que se refere à facilidade da desmontagem para a reciclagem. Através de entrevistas realizadas junto a profissionais envolvidos com o processo de produção, concluiu-se que as empresas não detêm conhecimentos sobre as dificuldades que os triadores encontram para a desmontagem manual de seus produtos e que alterações de projeto podem efetivamente trazer benefícios aos processos de reciclagem.

Concluiu-se também que o problema do excesso de cola para fixação de rótulos situa-se na regulagem do equipamento. Esse problema pode ser corrigido por meio de manutenção adequada, reduzindo-se assim os custos de redução de cola e de reparos no equipamento.

Apesar da empresa “B” eliminar a utilização da tampa *win lock* e do rótulo tipo “manga”, que são considerados mais adequados do ponto de vista da desmontagem do produto, este procedimento pode ser justificado pelo comprometimento da segurança do produto por esse tipo de tampa e pelo fato da tecnologia utilizada pela empresa para colocação do rótulo exigir maiores custos. Por outro lado o rótulo tipo BOPP, que será o único utilizado, permite o uso de uma quantidade mínima necessária, apresentando assim a melhor situação de uso em relação aos demais produtos.

## **Capítulo 6**

### **CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

#### **6.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresenta as conclusões gerais sobre este trabalho, complementando os pontos conclusivos já relatados no decorrer do texto. Para sermos sucintos e objetivos nesta apresentação, agrupamos os pontos que julgamos importantes destacar, a saber: o enquadramento teórico da dissertação, o campo empírico, e as recomendações para trabalhos futuros referente à aplicação da metodologia AET e ao Projeto para Meio Ambiente, especificamente, do ponto de vista da desmontagem para facilitar a reciclagem do produto.

#### **6.2 CONCLUSÃO GERAIS**

##### **Enquadramento teórico**

O enfoque teórico desta dissertação se situa como uma contribuição às abordagens tradicionais de desenvolvimento de projeto de produto, que em decorrência dos problemas

ambientais exigem mudanças do paradigma de produção. A grande discussão concentrou-se em torno da problemática da dificuldade de desmontagem do produto que interfere no processo de reciclagem, envolvendo métodos, práticas e informações necessários para facilitar a reciclagem. A maioria dos estudos realizados, conforme mencionado no Capítulo 3, propõe métodos de análise quantitativa ou simulações feitas em computador para analisar os problemas de projeto, que interferem na reciclagem do produto. A proposição pelo uso desses métodos decorre do tipo de produto, ou seja, no caso de desmontagem de produtos complexos, há uma quantidade maior de componentes e, conseqüentemente, há um aumento no volume de produção.

Dessa forma, a abordagem desta dissertação surgiu como uma novidade sobre dois aspectos: primeiro, porque não foi possível detectar na literatura estudos de análise da atividade de desmontagem de produtos, utilizando-se a metodologia da AET; segundo, porque estudos encontrados na literatura como Bifano (1999) e Soares e Bucich (2002) para citar alguns deles, propõem o uso da ergonomia em análises que envolvem homem/produto em termos de usabilidade, ou seja, a interface do homem com o produto em pleno uso (melhor uso do produto e segurança do produto). Diante disso, este trabalho pode significar um grande passo para a ergonomia e um ponto de partida para outros estudos com a mesma proposta deste trabalho, ou seja, aplicação da ergonomia como fonte de informações ao projetista, mesmo após a vida útil do produto.

Os objetivos propostos nesta dissertação foram, em nossa opinião, alcançados. A própria proposição da AET como demonstração para identificar oportunidades de melhoria no projeto

do produto, do ponto de vista do DFR, foi nosso objetivo principal com este trabalho. Os objetivos específicos também foram alcançados por meio das seguintes ações:

- identificação de oportunidades de melhoria do projeto do produto, por meio da análise das dificuldades encontradas nas atividades dos operadores de triagem, para a reciclagem;
- fornecimento de informações, diretrizes e orientações disponibilizadas neste documento e direcionadas aos projetistas para incorporar as variáveis ambientais no projeto do produto;
- orientação na identificação do nível de reprojeto mais adequado ao produto;
- disponibilização de ferramentas de Projeto para Meio Ambiente para auxiliar os projetistas na concepção de produtos de fácil desmontagem e que viabilize a reciclagem.

Como principal contribuição, considera-se a demonstração da viabilidade na utilização da AET para avaliar produtos, no que diz respeito à sua capacidade de ser facilmente desmontado, ou seja, a utilização da AET como ferramenta para implementação da filosofia de Projeto de Produto para a desmontagem.

### **Estudo de caso**

No estudo de caso, a utilização da metodologia AET como ferramenta de apoio ao projeto do produto foi aplicada como referência para o foco sobre as atividades de trabalho envolvidas no processo de desmontagem para a reciclagem. O principal objetivo da AET clássica é transformar o trabalho (no posto de trabalho), visando a três pontos fundamentais: a saúde e a

segurança dos trabalhadores, a eficiência do sistema produtivo e o conforto dos trabalhadores em situação de trabalho. Embora no estudo tenham sido levantados elementos suficientes para uma prática ergonômica clássica, ou seja, projetar uma ferramenta adequada à atividade de desmontagem do produto focado, este não fez parte do escopo deste trabalho, que é voltado essencialmente à alterações no trabalho em virtude do reprojeto de “matéria-prima”, ou seja, do produto a ser reciclado.

A utilização da AET, no contexto da identificação de oportunidades de melhoria no projeto de produtos mostrou-se eficiente por meio do levantamento das principais dificuldades dos triadores para a desmontagem/separação de componentes recicláveis.

As informações obtidas acerca das deficiências de projeto do produto, por meio da análise de atividade de trabalho dos “trabalhadores da reciclagem”, vão ao encontro da hipótese que norteou este trabalho (cf. item 1.3). A proposta deste estudo não teve a pretensão de uma intervenção ergonômica no posto de trabalho por dois motivos. Primeiro, porque não fez parte do escopo desta pesquisa e segundo, porque o problema central da análise está relacionado a correções de projeto do produto, localizado em outro extremo – indústria e projetista. Entretanto, considerações ergonômicas deveriam ser incorporadas ao projeto do produto para maior eficiência dos trabalhadores no processo de reciclagem.

A não consideração da variável “desmontagem” dos componentes na fase de concepção do produto se manifesta no desempenho (ineficiência da produção) e na segurança (riscos de acidentes perfurocortantes) do trabalhador.

O estudo de caso demonstrou que as dificuldades identificadas pela Análise da Atividade da desmontagem do produto fornecem meios para apontar os problemas de projeto e para extrair diretrizes que possam ser direcionadas aos projetistas, onde o componente “desmontagem” seja incorporado para facilitar o Design para Reciclagem (DFR). A metodologia AET centralizou-se na desmontagem manual de um produto bastante simples, mas pode ser aplicada aos processos de desmontagem de produtos mais complexos como, por exemplo, automóveis, eletrodomésticos, computadores, dentre outros.

A partir destas conclusões propõem-se algumas recomendações para trabalhos futuros, com a intenção de expandir a aplicação da AET no campo de desmontagem/reciclagem de produtos e de ampliar o estudo sobre o tema abordado.

### **6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Desenvolver estudos que utilizem a metodologia da AET aplicada em situações reais de atividades que envolvam a desmontagem de produtos complexos, com fins para reciclagem.

Propor a prática do método da AET às indústrias (automobilística, eletrodomésticos, eletrônicos, embalagens, etc.) com o mesmo objetivo desta pesquisa para que obtenham informações sobre o produto, a fim de que estas possam ser incorporadas em novos projetos ou em reprojeto.

Na análise realizada neste estudo, foram levantados problemas relacionados ao posto de trabalho no que se refere às posturas adotadas pelos triadores, aos deslocamentos e aos aspectos ambientais, apesar de não fazerem parte do escopo desta pesquisa. Diante disso, recomenda-se um estudo mais aprofundado no sentido de propor melhorias no posto de trabalho.

Neste trabalho demonstrou-se necessidade de reprojeto (ou redesenho) dos componentes da embalagem. Para isto recomenda-se o aprofundamento de estudos que investiguem alternativas em termos de material (utilização de tampa e recipiente de um mesmo material) ou mesmo de soluções de desenho (uma solução mista entre *win lock* e *double lock*), que incorpore a segurança e a retirada do lacre, modificação esta que facilite a desmontagem e viabilize a reciclagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET. Disponível em: <<http://www.abepet.com.br>> acesso em março de 2002.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Normas ABNT sobre documentação. Trabalho acadêmico. Tese. Dissertação*. Rio de Janeiro, ago. 2002. NBR 14724.

AGUIAR, Cezar de. Reciclagem de materiais: atolados no aterro sanitário. *Revista Autodata*, ano 11, n. 158, p. 146-150, out. 2002.

ARAI, E and IWATA, K. CAD system with product assembly/disassembly planning function. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 10, p. 41-48, 1993.

ASMARE – Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável de Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.asmare.org.br>>. Acesso em out. 2002.

BACK, Nelson. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BIFANO, Amélia Carla Sobrinho; ROMEIRO FILHO, Eduardo. A análise ergonômica da atividade como ferramenta de auxílio ao QFD no processo de desenvolvimento de produtos. *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto*. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1999.

BITENCOURT, Antônio Carlos P. *Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeto para o meio ambiente*. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

BITENCOURT, Antônio Carlos P., OGLIARI, André e FORCELLINI, Fernando Antônio. Sistematização do reprojeto conceitual de produtos para meio ambiente. *Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto*. Florianópolis, Santa Catarina, set. 2001.

BRANDT, Wilfred; FONSECA, Dinalva C. E BRUNETTI, Charlie. *Ecolatina'98* – Curso internacional de resíduos sólidos. Belo Horizonte, Minas Gerais, 5 ago. de 1998.

BUENO, Francisco da Silva. *Dicionário escolar da língua brasileira*. 11. ed., 14. tir. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 1996. 1.058 p.

CEMPRE – Compromisso empresarial para a reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em março de 2001.

CHEHEBE, José Ribamar B. *Análise do ciclo de vida de produtos* – Ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998. 105 p.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.

DANIELLOU, François; LAVILLE, Antoine e TEIGER, Catherine. Ficção e realidade do trabalho operário. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, n. 68, v. 17, out./ nov./ dez. 1989.

DUARTE, Marcos Daniel. *Caracterização da rotulagem ambiental de produtos*. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

DUFOUR, Carlos Alvarado. *Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante*. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ECHTERNACHT, Eliza H. O. Disciplina: *Análise Ergonômica do Trabalho*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 1º Semestre de 2002 (Notas de aula).

GOUVINHAS, Reidson Pereira. *Análise do ciclo de vida*. Natal: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002 (Apostila do Curso de Especialização).

GRAEDEL, T. E. e ALLENBY, B. R. *Design for environment*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996. 175 p.

\_\_\_\_\_. *Industrial ecology*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1995. 412 p.

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURRAFOURG, J. e KERGUELEN, A. *Comprender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia*. Tradução de Giliane M. J. Ingratta e Marcos Maffei. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2001. 201 p.

GUNGOR, Askiner e GUPTA, Surendra M. Disassembly sequence planning for products with defective parts in product recovery. *23 rd International Conference on Computers and Industrial Engineering*, v. 35, n. 1-2, p. 161-164, 1998.

\_\_\_\_\_. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey. *Computers and Industrial Engineering* (An International Journal – Forthcoming). 1998. 60 p.

GUPTA, Surendra M.; McLEAN, Charles R. Disassembly of Products. *19th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, v. 31, n. 1/2, p. 225-228, 1996.

HANFT, Thomas A.; KROLL, Ehud. Ease-of-disassembly evaluation in design for recycling. *In: Design for X: Concurrent engineering imperatives*. London: Chapman & Hail, cap. 15, p. 318-334, 1996.

HUANG, George Q. *Design for X: Concurrent engineering imperatives*. London: Chapman & Hail, 1996. 489 p.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Lixo municipal: manual de gerenciamento de lixo*. 2. ed., São Paulo, 2000. 370 p.

JAGOU, Patrick. *Concurrent engineering: la maîtrise des couts, des délais et de la qualité*. Hermes, Paris, 1993.

KRIWET, A.; ZUSSMAN E. and SELIGER, G. Systematic integration of design-for-recycling into product design. *International Journal of Production Economics*, v. 38, p. 15-22, 1995.

KROLL, Ehud and CARVER, Brad S. Disassembly analysis through time estimation and metrics. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 15, p. 191-200, 1999.

KUO, Tsai-C.; HUANG, Samuel A. and ZHANG, Hong-C. Design for manufacture and design for “X”: concepts, applications and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LACERDA, Leonardo. *Logística reversa – Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais*. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD – UFRJ, 2002, Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>>. Acesso em junho 2002

LEONARD, L. Design for environment. *Plastics Design Forum*, p. 25-32, maio/jun. 1991.

LIMA, Francisco de Paula Antunes. *Fundamentos teóricos da metodologia e prática de análise ergonômica do trabalho*. Belo Horizonte: UFMG, março, 1996 (Notas de aula).

\_\_\_\_\_. *Introdução à análise ergonômica do trabalho*. Belo Horizonte: UFMG, 1995.

LIMA, Rose Mary R. e ROMEIRO FILHO, Eduardo. Análise ergonômica do trabalho do triador em uma associação de materiais recicláveis. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Ergonomia – ABERGO*. Recife, Pernambuco, set. 2002.

LINDBECK, J. R. Applied Ergonomics. *In: Product Design and Manufacture*. New Jersey: Prentice Hall, cap. 6, p. 224-273, 1995.

LUCENA, Luiz Carlos. Lixo eletrônico: as sobras da modernidade. *Revista Banas Ambiental*, ano III, n. 13, p. 16-23, 2001.

MAGALHÃES, Rita Mello. *Análise de ciclo de vida orientada para o meio ambiente – O contexto de projeto e gestão para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MANCINI, Sandro Donnini Mancini; ZANIN, Maria e REMEDIO, Marcus Vinícius P. Composição dos plásticos presentes em resíduos urbanos. *Revista Saneamento Ambiental*, n. 67, p. 34-38, 2000.

MARIBONDO, Juscelino Farias. *Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares*. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

MEDINA, Heloisa V. de. Design for continuous Innovation: a case study on the sustainability of the automobile for the 21th century. *In: Conference at Washington and Lee University*, EUA, in 10th Oct. 2001.

MEDINA, Heloisa V. de e GOMES, Dennys Enry Barreto. A indústria automobilística projetando para reciclagem. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design*. Brasília, Distrito Federal, oct. 2002a.

\_\_\_\_\_. Gestão ambiental na indústria automobilística: o caso da reciclagem de materiais.

Rio de Janeiro: CETEM, 2002b. 8 p.

MÉSZÁROS, I. *Produção destrutiva e estado capitalista*. São Paulo: Ensaio, 1996.

MOK, H. S.; KIM, H. J. e MOON, K. S. Disassemblability of mechanical parts in automobile for recycling. *Computers & Industrial Engineering*, v. 33, n. 3-4, p 621-624, 1997.

MORAES, Anamaria de e MONT'ALVÃO, Cláudia. *Ergonomia: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: 2AB, 1998, 120 p.

NASCIMENTO, Luis Felipe M. e POLEDNA, Silvia R. Caballero. O processo de implantação da ISO 14.000 em empresas brasileiras. *Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*. Curitiba, Paraná, out. 2002.

NAVIN-CHANDRA, D. ReStar: a design tool for environmental recovery analysis. *Proceedings of 9th International Conference on Engineering Design*, v. 2, p. 780-787, 1993.

NEVES, Silvio Rafael A. das. *Estudo da desmontagem de um refrigerador doméstico*. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

OPPENEAU, Jean Claude. A política francesa sobre o tratamento de resíduos. In: *Seminário Franco Brasileiro*, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2000.

OTTO, K. N. e WOOD K. L. Product evolution: a reverse engineering and redesign methodology. *Research in engineering design – theory, applications and concurrent engineering*. Springer-Verlag Gmbh & Company KG, v. 10, n. 4, p. 226-243, 1998.

PEREIRA, Andréa Franco e SANTOS, Maria Cecília Loschiavo dos. Design pré-reciclagem e pós-reciclagem: contribuição à discussão do problema do lixo urbano de embalagem, levando em conta a complexidade sistêmica da coleta e triagem. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design*. Brasília, Distrito Federal, outubro, 2002.

PRATES, Gláucia Aparecida. Ecodesign utilizando QFD, métodos Taguchi e DFE. Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

RAMOS, Jaime. *Alternativas para o projeto ecológico de produtos*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROMEIRO FILHO, Eduardo. *CAD na indústria: implantação e gerenciamento*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997. 176 p.

RON, Ad; PENEV, Kiril. Disassembly and recycling of electronic consumer products: an overview. *Technovation*, v. 15, n. 6, p. 363-374, 1995.

SIMON, M. Objective assessment of designs for recycling. *Proceedings of 9th International Conference on Engineering Design*, v. 2, p. 832-835, 1993.

SMLU – Superintendência Municipal de Limpeza Urbana. *Relatório anual*. Belo Horizonte, Minas Gerais, julho de 2000.

SOARES, Marcelo Márcio e BUCICH, Clóvis Correa. Segurança do produto: reduzindo acidentes através do design. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Ergonomia – ABERGO*. Recife, Pernambuco, set. 2002.

STOLL, H. W. Design for manufacturing. *Manufacturing Engineering*, v. 1, p. 67-73, 1988.

VEERAKAMOLMAL, P., GUPTA, S. M. and McLEAN, C. R. Disassembly process planning. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design and Automation*, march v. 25-27, p. 162-165, 1997.

VUJOSEVIC, R., RASKAR, R., YETUKURI, N. V., JOTHISHANKAR, M. C. And JUANG, S. H. Simulation, animation and analysis of design disassembly for maintainability analysis. *International Journal of Production Research*, v. 11, p 2999-3022, 1995.

WISNER, Alain. *Por dentro do trabalho: ergonomia, método & técnica*. Trad. Flora Maria Gomide Vezzà. São Paulo: FTD/Oboré, 1987. 189 p.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T. & ROOS, Daniel. *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347 p.

YIN, Robert K. *Case study research – Design and methods*. Sage Publications Inc., USA, 1989.

ZUSSMAN, E. Planning of disassembly systems. *Assembly Automation*, v. 4, p. 20-23, 1995.

## BIBLIOGRAFIA

ALCANTARA, Fabiana Ferreira de. Design e aspectos ambientais. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*. Brasília, Distrito Federal, out. 2002.

ASSIS, Maria Alice A.; DUTRA, Ana Regina A.; PROENÇA, Rossana Pacheco C. e SANTOS, Néri dos. O futuro da ergonomia: preocupações com a taxionomia e com os problemas globais do próximo século. *Revista Produto & Produção*, PPGE – UFRGS, v. 2, n. 1, p. 31-38, 1998.

BARCIOTTE, Maria Lucia. *Coleta seletiva e minimização de resíduos sólidos domésticos: uma abordagem integradora*. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Saúde Pública da USP.

BIED-CHARRETON, B. Closed loop recycling of lead/acid batteries. *Journal of Power Sources*, v. 42, p. 331-334, 1993.

CHEN, S. F., OLIVER, J. H., CHOU, S. Y. And CHEN, L. L. Parallel disassembly by onion peeling. *Journal of Mechanical Design*, v.2, p. 267-274, 1997.

CHODAVARAPU, Surya Kiran; ZHENG, Alex. Control System Design for Recycle Systems. *Journal of Process Control*, v. 11, p. 459-468, 2001.

CONAMA. Resolução n. 5. Define e classifica resíduos sólidos e procedimentos - Conselho Nacional do meio ambiente. 5 agosto. 1993.

ECHTERNACHT, Eliza H. O. *Sobre o conceito de carga de trabalho*. DEP/UFMG, 1997.

FERREIRA, Leda Leal. *Algumas reflexões sobre a ergonomia*. Fundacentro, 1995.

FRANÇA, Júnia Lessa et al. *Manual para normalização de publicações de normas técnico-científicas*. 5. ed. rev. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2001. 211 p.

FREITAS, Érika & CERQUEIRA, Luciana. A ousadia de integrar governo, técnica e sociedade. *Revista Saneamento Ambiental*, n. 67, p.24-32, 2000.

GRAÇA JÚNIOR, João Cândido da. Qualidade e meio ambiente. *Revista Banas Ambiental*. Ano I, n. 2, p. 36-39, out. 1999.

IIDA, Itiro. *Ergonomia: projeto e produção*. Rio de Janeiro. Edgard Blücher, 1990.

JOHNSON, M. R. And WANG, M. H. Planing product disassembly for material recovery opportunities. *International Journal of Production Research*, v. 11, p. 3119-3142, 1995.

KIZILKAYA, E. A. and GUPTA, S. M. Material flow control and scheduling in a disassembly environment. *Computers and Industrial Engineering*, v. 1-2, p. 93-96, 1998.

LAGO, Antônio e PÁDUA, José Augusto. *O que é ecologia*. São Paulo: Brasiliense, 1985. 112 p.

LAMBERT, A. J. D. Optimal disassembly of complex products. *International Journal of Production Research*, v. 9, p. 2509-2523, 1997.

LAVE, B.; HENDRICKSON, Chris and McMICHAEL, Francis C. Recycling decisions and green design. *Environmental Science & Technology*, v. 28, n. 1, p. 19A-24A, 1994.

LAVILLE, Antoine. *Ergonomia*. Trad. Márcia Maria Neves Teixeira. São Paulo, EPU/EDUSP, 1977. 99p.

LEAL, Lorena e OLIVEIRA, Alfredo Jeferson de. Demanda de informações sobre ecodesign por projetistas de produto. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*. Brasília, Distrito Federal, out. 2002.

LIMA, Rose Mary R. e ROMEIRO FILHO, Eduardo. A contribuição da análise ergonômica ao projeto do produto voltado para a reciclagem. *Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*. Curitiba, Paraná, out. 2002.

\_\_\_\_\_. A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos – um estudo de caso. *Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto – CBGDP*. Florianópolis, Santa Catarina, set. 2001.

\_\_\_\_\_. Design para X: design para desmontagem e design para reciclagem – conceitos, diretrizes e aplicações no projeto do produto. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design*. Brasília, Distrito Federal, out. 2002.

MESTRINER, Fábio. *Design de embalagem – curso básico*. São Paulo: Editora Makron Books, 2001.

MORAES, Anamaria de e SOARES, Marcelo M. *Ergonomia no Brasil e no Mundo: um quadro, uma fotografia*. Rio de Janeiro: Univerta/ABERGO/ESDI-UERJ, 1989. 186 p.

MUZZI, Isabela de Melo. Recipientes urbanos para a coleta seletiva. *Anais do 2º Encontro Carioca de Ergonomia – ABERGO*, Rio de Janeiro, p. 319-328, maio 1994.

PAHL, Gerhard and BEITZ, Wolfgang. *Engineering design: a systematic approach*. Berlin: Springer-Verlag, 2nd. ed., 1996. 544 p.

PAPANEK, Victor. *Diseñar para El Mundo Real: Ecologia Humana y Cambio Social*. Madrid: H. Blume Ediciones, 1971.

PAZMINO, Ana Verônica Paz y Mino. *Sistemática de projeto conceitual com abordagem modular-ambiental para o desenvolvimento de produtos com aplicação de estudo de caso no reprojeto de aspirador de pó*. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

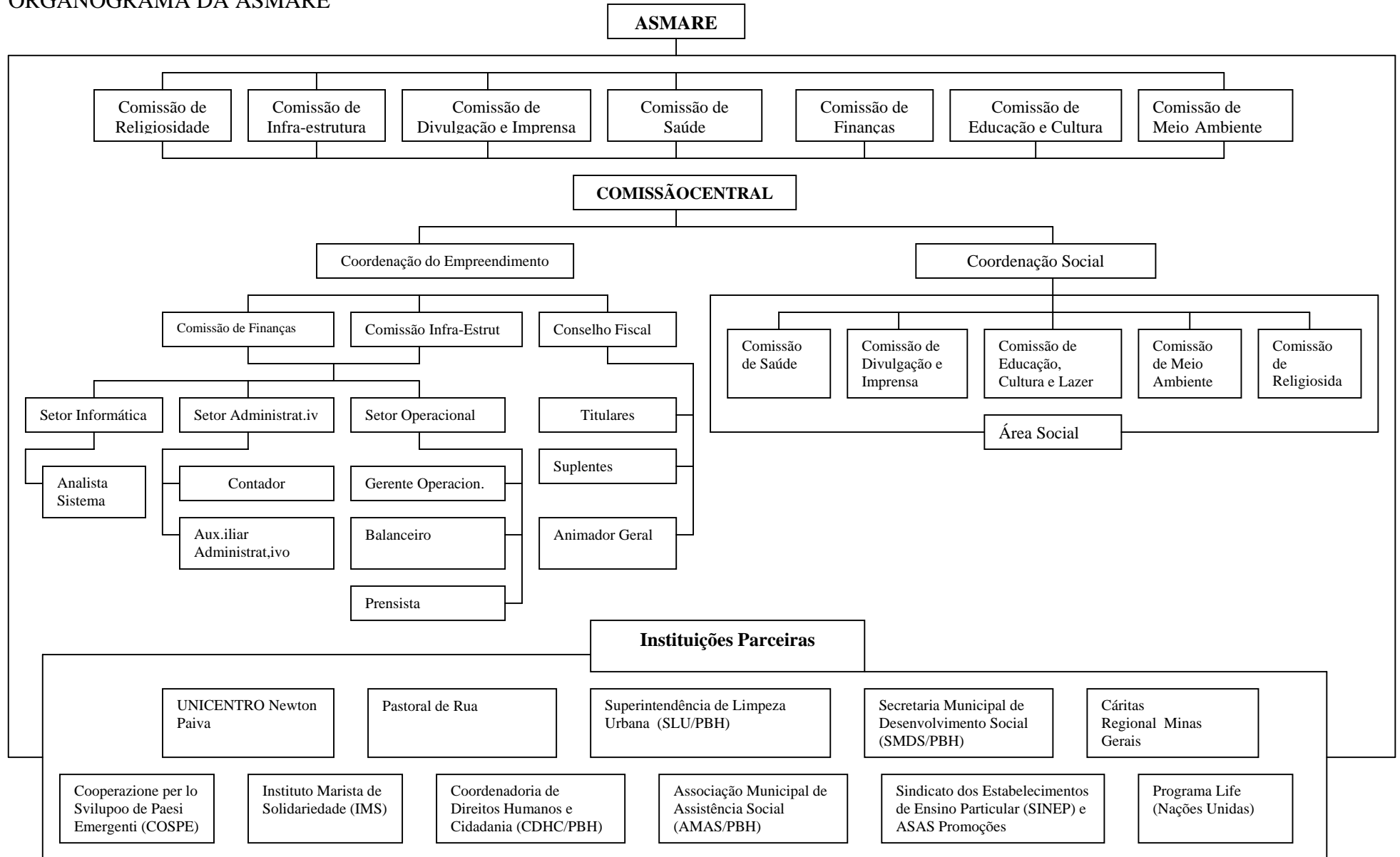
SOUSA, S. J. Exposição na coleta. *Revista Proteção*, p. 48-56, 1996.

THIOLLENT, Michel. Problemas de metodologia. In: FLEURY, A. C. C. & VARGAS, N. *Organização do trabalho*. São Paulo: Atlas, 1983.

WISNER, Alain. *A inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia*. Tradução de Roberto Leal Ferreira. São Paulo: FUNDACENTRO, 1994. Texto 8. (p.87-107). 191 p.

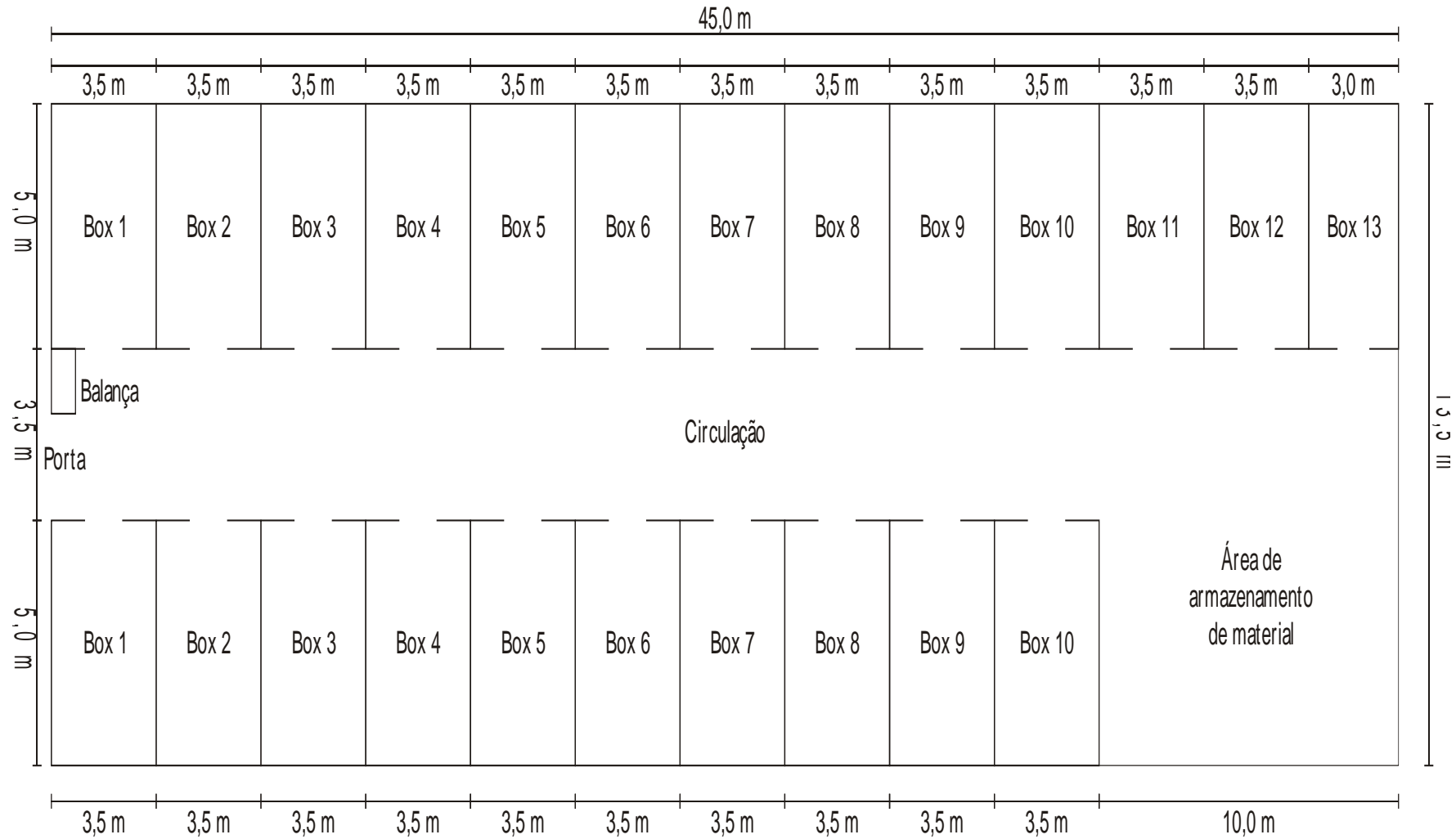
**ANEXOS**

ORGANOGRAMA DA ASMARE



ANEXO B

# Layout do galpão de triagem da ASMARE



## ANEXO C

Layout esquemático do galpão de triagem da ASMARE

