

Raquel Bertholdo Cavalli

**A INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DE
FERRAMENTAS PARA O DESIGN DO CICLO DE VIDA:
UMA APLICAÇÃO NO DESIGN DE MÓVEIS EM PINUS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Leila Amaral Gontijo, Dra.

Florianópolis

2005

Raquel Bertholdo Cavalli

**A INTEGRAÇÃO DOS REQUISITOS AMBIENTAIS ATRAVÉS DE
FERRAMENTAS PARA O DESIGN DO CICLO DE VIDA:
UMA APLICAÇÃO NO DESIGN DE MÓVEIS EM PINUS.**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção** e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, abril de 2005.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Profa. Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina
Presidente

Profa. Leila Amaral Gontijo, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientadora

Prof. Eugênio Andrés Díaz Merino, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre Amorim dos Reis, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina

Aos meus pais, João Pedro e Lurdes, pelo apoio incondicional e pelas tantas oportunidades de crescimento;

Ao meu irmão, Júnior, pelo estímulo e companheirismo;

Ao meu noivo, Marciano, pela compreensão nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Leila Amaral Gontijo, Orientadora, por sua solicitude, incentivo e contribuições inestimáveis;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina que, de maneira direta ou indireta, contribuíram com seus valiosos conhecimentos;

Ao Sr. Vinicio Fornasari por oportunizar, gentilmente, o desenvolvimento desta pesquisa.

We live on one planet, connected in a delicate, intricate web of ecological, social, economic and cultural relationships that shape our lives. If we are to achieve sustainable development, we will need to display greater responsibility - for the ecosystems on which all life depends, for each other as a single human community, and for the generations that will follow our own, living tomorrow with the consequences of the decisions we make today.

Kofi A. Annan

Secretary-General of the United Nations

IMPRESSO EM PAPEL RECICLADO

RESUMO

CAVALLI, Raquel Bertholdo. **A integração dos requisitos ambientais através de ferramentas para o Design do Ciclo de Vida**: Uma aplicação no design de móveis em Pinus. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

A inclusão de requisitos ambientais no projeto de produtos vem adquirindo importância nas organizações por representar um fator de criação de diferencial competitivo e de adequação às crescentes pressões reguladoras das prestações ambientais dos produtos. Esta abordagem de projeto exige a colaboração dos diversos atores envolvidos no processo, sendo que o designer industrial apresenta um papel importante propondo novos produtos ou serviços que tornem praticável um estilo de vida sustentável, bem como, assegurando que tais requisitos estejam presentes nos produtos finais, em equilíbrio com os demais aspectos econômicos, técnicos e culturais. Embasado na metodologia do Design do Ciclo de Vida, que adota uma visão sistêmica de produto, o projeto com propriedades ambientais deve considerar todas as fases do ciclo de vida dos produtos, analisando o conjunto de entradas e saídas de energia e materiais que ocorre desde a fase de pré-produção, passando pela produção, distribuição e uso do produto, até a fase de descarte, entendendo-se aqui os ciclos de vida adicionais dos materiais e das partes ou embalagens dos produtos. Assim, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas visando fornecer conhecimentos teóricos, ferramentas e procedimentos para análise da carga ambiental representada pelos produtos, bem como, estratégias de projeto para auxílio ao designer na tomada de decisões orientadas para a redução dos danos ambientais. A presente pesquisa identifica as principais ferramentas para o Design do Ciclo de Vida disponíveis para o designer, contextualizando-as no processo de projeto para a sustentabilidade, e propõe um procedimento que utiliza duas ferramentas existentes no sentido de possibilitar o desenvolvimento de uma terceira ferramenta inédita para a integração e verificação dos requisitos ambientais no processo habitual de desenvolvimento de projeto das empresas. O procedimento foi aplicado em ambiente empresarial possibilitando a determinação dos processos de transporte do produto por veículo de passageiro, de utilização da matéria-prima, de descarte e de utilização de energia para a manufatura do produto como sendo os mais significativos em termos de produção de impacto ambiental no Ciclo de Vida do produto analisado. Estes resultados foram confrontados com as Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos e Serviços Sustentáveis, possibilitando o desenvolvimento de uma lista de verificação específica para o projeto ambientalmente orientado de beliches em Pinus.

Palavras-chave: Requisitos Ambientais, Design do Ciclo de Vida, Eco-ferramentas, Móveis em Pinus.

ABSTRACT

CAVALLI, Raquel Bertholdo. **Integrating environmental aspects through tools for the Life Cycle Design**: An application to the design of Pinus furniture. 143 p. Dissertation (Master's in Production Engineering). Post-Graduation Program in Production Engineering, Federal University of Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

The inclusion of environmental aspects in the product development has become important in organizations since it represents a competitive differential creation factor and adaptation to the increasing pressures, which regulate the environmental product's attributes. This new project approach demands the cooperation of the several actors involved in the process. The industrial designer plays an important role proposing new products which make a sustainable lifestyle possible and assuring that such requirements are present in the final products, in conformity with the other economic, technical and cultural aspects. Based on the Life Cycle Design methodology, which takes a systemic view of the product, the project with environmental properties must consider all the phases of the product life cycle, the several inputs and outputs of energy and materials which occur in the pre-production phase, the production, the distribution and the use of the product up to the end-of-life phase, which includes the additional life cycles of materials and parts or packaging of products. Thus, a number of researches have been carried out aiming at providing theoretical knowledge, tools and procedures to assess the environmental load caused by the products, as well as design strategies to support the designer's decisions oriented towards the reduction of environmental harmful effects. The present research identifies the main tools for the Life Cycle Design available to the designer, recognizing them in the process of project for the sustainability, and considers a procedure that uses two existing tools in order to make possible the development of a third exclusive tool for the integration and verification of environmental aspects in the usual product development process of companies. The procedure was applied in enterprise environment making possible the detection of processes like passenger car transport, raw material use, disposal and electricity use, as the most significant in terms of environmental impact production in the analyzed product Life Cycle. These results were faced with the Guidelines for the Development of Sustainable Product and Services, making possible the development of a specific checklist to the environmental oriented Pinus bunk beds design.

Key-words: Environmental Aspects, Life Cycle Design, Eco-tools, Pinus Furniture

SUMÁRIO

Lista de gráficos	10
Lista de quadros	11
Lista de figuras	12
Lista de siglas e abreviaturas	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação do Problema	14
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Justificativa e Relevância do Trabalho	18
1.4 Delimitações do Trabalho	19
1.5 Procedimentos Metodológicos	19
1.6 Estrutura do Trabalho	20
2. REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade Ambiental de Produtos Industriais	22
2.1.1 O Papel do Designer no Processo	26
2.2 Integração dos Requisitos Ambientais no Projeto de Produto	27
2.3 Metodologia do Design do Ciclo de Vida	31
2.4 Instrumentos para o Design do Ciclo de Vida	35
2.4.1 Instrumentos de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto	36
2.4.1.1 Análise do Ciclo de Vida – ACV (<i>Life Cycle Assessment</i>)	37
2.4.1.2 Inventário do Ciclo de Vida – ICV (<i>Life Cycle Inventory</i>)	39
2.4.1.3 Análise do Ciclo de Vida Específica / Setorial	40
2.4.1.4 Análise do Ciclo de Vida Simplificada	41
2.4.2 Instrumentos de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental	42
2.4.2.1 Focalizados	43
2.4.2.2 Estratégicos	44
2.4.2.3 Linhas Guias de Auxílio ao Projeto	45
2.5 Conclusões do Capítulo	46
3. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO E DAS TÉCNICAS UTILIZADAS	49
3.1 Introdução	49
3.2 Caracterização do Procedimento Proposto	50
3.3 Ferramenta de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto	53
3.3.1 Análise do Ciclo de Vida Simplificada	54
3.3.1.1 Programa Eco-it	56
3.3.1.2 Método Eco-Indicator 99 (EI-99)	57
3.3.1.3 Considerações sobre o Uso do Eco-it	61
3.4 Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental	62
3.4.1 Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis	63
3.4.1.1 Minimização dos Recursos	64
3.4.1.2 Escolha de Recursos e Processos de Baixo Impacto Ambiental	66
3.4.1.3 Otimização da Vida dos Produtos	66
3.4.1.4 Extensão da Vida dos Materiais	68

3.4.1.5 Facilitando a Desmontagem	69
3.4.1.6 Oferta de um Mix Integrado de Produtos e Serviços	70
3.5 Lista de Verificação	71
3.6 Descrição de Aplicação das Etapas do Procedimento	72
3.6.1 Etapa 1: Aplicação da Ferramenta de Análise de Impacto	72
3.6.2 Etapa 2: Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental	73
3.6.3 Etapa 3: Formatação da Lista de Verificação	74
3.7 Ambientes para Aplicação do Procedimento	74
4. ESTUDO DE CASO	75
4.1 Caracterização da Organização Selecionada	75
4.1.1 Linha de Produtos	76
4.1.2 Mercado de Atuação	77
4.1.3 Considerações Estratégicas	77
4.2 Caracterização do Produto Objeto de Estudo	77
4.3 Caracterização do Departamento de Desenvolvimento de Projeto	78
4.4 Descrição Preliminar do Procedimento	81
4.4.1 Etapa 1: Aplicação da Ferramenta de Análise de Impacto	82
4.4.1.1 Estabelecer o Objetivo do Cálculo	82
4.4.1.2 Definir o Ciclo de Vida	83
4.4.1.3 Quantificar Materiais e Processos	86
4.4.1.4 Entrada dos Dados	88
4.4.1.5 Interpretação dos Resultados	90
4.4.2 Etapa 2: Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental	96
4.4.2.1 Definição das Estratégias de Projeto para o Produto Específico	97
4.4.3 Etapa 3: Formatação da Lista de Verificação	100
4.5 Considerações sobre as Ferramentas Selecionadas para o Procedimento	111
4.5.1 Etapa 1: Desempenho da Ferramenta de Análise de Impacto – Eco-it	111
4.5.2 Etapa 2: Desempenho da Ferramenta de Auxílio ao Projeto – Linhas Guias	112
4.5.3 Etapa 3: Considerações sobre a Lista de Verificação	113
4.6 Conclusões sobre os Resultados Obtidos	114
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	116
5.1 Conclusões	116
5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros	118
5.3 Considerações	119
REFERÊNCIAS	120
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	123
ANEXOS	125
Anexo 1: Tabelas de Efeitos Ambientais	125
Anexo 2: Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis	129
Anexo 3: Relatórios Integrais da Análise de Impacto realizados pelo programa Eco-it ...	140

Lista de Gráficos

- Gráfico 1: Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73, com previsão de cenário de descarte como sendo o lixo municipal 91
- Gráfico 2: Valores individuais dos processos mais representativos em termos de impacto ambiental do produto referência B-73..... 92
- Gráfico 3: Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73 com cenário de descarte presumindo a incineração das partes em madeira e reciclagem das demais partes. A coluna branca representa valores negativos 94
- Gráfico 4: Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73 com cenário de descarte presumindo o depósito em aterro sanitário de todas as partes do produto 95

Lista de Quadros

Quadro 1: Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida - ACV	39
Quadro 2: Ferramentas para realização de Inventário do Ciclo de Vida – ICV	40
Quadro 3: Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida Específica/Setorial	41
Quadro 4: Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida Simplificadas	42
Quadro 5: Ferramentas Focalizadas de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental	44
Quadro 6: Ferramentas Estratégicas de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental	45
Quadro 7: Linhas Guias de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental	46
Quadro 8: Classificação do programa ECO-it adaptada de Lewis <i>et al.</i>	55
Quadro 9: Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de transporte em veículo de passageiro	102
Quadro 10: Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de uso de matérias-primas	104
Quadro 11: Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de descarte do produto	110
Quadro 12: Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de uso recursos energéticos	110

Lista de Figuras

Figura 1: Estrutura genérica de integração dos aspectos ambientais no processo de design de produtos e desenvolvimento	29
Figura 2: O sistema-produto da perspectiva do ciclo de vida e impactos ambientais associados	33
Figura 3: Caracterização do procedimento por etapas, objetivos e resultados de cada fase	53
Figura 4: Estrutura da ferramenta de análise e avaliação do ciclo de vida selecionada para o procedimento	56
Figura 5: Procedimento geral para cálculo de eco-indicadores. Os retângulos claros referem-se a procedimentos, enquanto os retângulos escuros referem-se a resultados	59
Figura 6: Estrutura atual dos estágios de desenvolvimento de produtos da organização estudada em relação ao modelo genérico de integração dos requisitos ambientais no design de produtos e processo de desenvolvimento	80
Figura 7: Ciclo de vida do produto referência B-73	84
Figura 8: Quantificação de Materiais e Processos do produto referência B-73	88
Figura 9: Ordem de prioridades para atuação do designer de acordo com a pontuação obtida pela análise realizada pelo programa Eco-it	96
Figura 10: Hierarquização das Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis para melhora do desempenho ambiental do produto referência analisado	100

Lista de siglas e abreviaturas

DFD	Design for Disassembly
EI-99	Método Eco-Indicator 99
EPS	Environmental Priority Strategy
FSC	Forest Stewardship Council
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	International Organization for Standardization
ACV	Análise do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Assessment</i>)
ICV	Inventário do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Inventory</i>)
SC	Santa Catarina
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
Kg	Quilogramas
T	Toneladas
Kwh	Quilowatts/hora
Km	Quilômetros

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema

O crescimento do interesse por parte dos consumidores ou usuários sobre os danos ambientais provocados pelos produtos, sejam eles bens ou serviços, se reflete particularmente na economia de vários segmentos de mercado que estão percebendo este movimento e obtendo vantagens competitivas através da utilização de uma abordagem ambiental no desenvolvimento de seus produtos (ISO/PDTR 14062, 2001, p. V).

É nas empresas com produção voltada à exportação, aonde a figura do designer com competências ambientais vem sendo cada vez mais requisitada, que tal aspecto adquire importância ainda maior devida ao perfil do consumidor externo e a pressões cada vez mais controladoras, exercidas por diversos segmentos, no que se refere às prestações ambientais dos produtos.

Assim, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas, nos meios acadêmico, empresarial e governamental, visando fornecer conhecimento teórico, ferramentas e estratégias de projeto que auxiliem o designer na tomada de decisões e forneçam contribuições efetivas na busca pela melhora das prestações ambientais dos produtos e na solução de problemas ambientais antes mesmo que eles ocorram.

Tais pesquisas estão embasadas na metodologia do Design do Ciclo de Vida (*Life Cycle Design*), sendo possível encontrar na literatura nacional ou estrangeira diversos termos que se referem ao design de produtos com foco no meio-ambiente.

Em essência, quer o processo seja referido como Design para o Meio-Ambiente ou como Eco-design, o objetivo fundamental é projetar produtos com o meio-ambiente em mente e assumir algumas responsabilidades pelas conseqüências ambientais dos produtos uma vez que estas estão relacionadas a decisões específicas e ações executadas durante o processo de design.

(LEWIS *et al.*, 2001, p. 16).

Em comum se pode afirmar que, independente da terminologia empregada, o objetivo do Design do Ciclo de Vida é o de “...reduzir a carga ambiental associada a todo o ciclo de vida de um produto” adotando, para tanto, uma visão sistêmica de produto que implica na “...passagem do projeto de um produto ao projeto do sistema-produto inteiro.” (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p.100).

Por ciclo de vida de um produto entende-se o conjunto de fases que se encontram agrupadas da seguinte maneira: pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p.91).

Projetar o ciclo de vida de um produto, portanto, significa analisar o conjunto de entradas e saídas de energia e materiais desde o momento da extração e processamento de matérias-primas, manufatura do produto e das embalagens associadas, uso e operação do produto até a consideração das opções de fim de vida (reutilização, re-manufatura, reciclagem, tratamento e descarte), sendo que “...uma fase crítica de transporte e distribuição geralmente ocorre entre todas estas fases e pode ter um impacto ambiental significativo na vida do produto.” (LEWIS *et al.*, 2001, p.17).

Considerando que “todos os produtos provocam algum tipo de impacto ambiental” (GOEDKOOOP; EFFTING; COLLIGNON, 2000, p. 1), foram identificadas mais de 170 ferramentas para o desenvolvimento de produtos de baixo impacto ambiental que podem ser divididas em quatro categorias, segundo propõe Teatino (2002):

- a. Instrumentos de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto: são os instrumentos que permitem uma análise quantitativa e qualitativa do impacto ambiental provocado pelos produtos em todas as fases do ciclo de vida;
- b. Instrumentos de Apoio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental: são os instrumentos que auxiliam a equipe de projeto na definição de estratégias orientadas para a redução dos danos ambientais;
- c. Instrumentos de Comunicação Ambiental: são aqueles instrumentos utilizados para melhorar a imagem da empresa, ou produto, frente a seu

público externo ou interno;

- d. Instrumentos de Formação: são instrumentos de suporte didático na formação à distância ou autônoma sobre o tema do desenvolvimento sustentável, direcionados a estudantes ou docentes.

Segundo o relatório técnico ISO/PDTR 14062 (2001, p. 15), “o processo de design e desenvolvimento de produtos varia entre produtos e organizações...” dependendo do tipo de produto e das características estruturais e gerenciais da empresa. Da mesma forma, o procedimento para integração de requisitos ambientais no processo de projeto é muito variável, uma vez que “...a experiência tem demonstrado que as melhores soluções são específicas para as características do produto e da organização.” (*ibidem*, p. 13).

Também Teatino (2002, p. 315) vem acrescentar que “...assim como as ações do designer são sempre específicas, também o desenvolvimento do procedimento é, na sua complexidade, uma experiência particular.”

Sendo assim, a presente pesquisa se propõe a esclarecer a seguinte indagação:

Como o designer pode utilizar as ferramentas de Design do Ciclo de Vida para a definição do melhor conjunto de estratégias de projeto no sentido de minimizar os danos ambientais gerados pelos produtos?

Para tanto, o presente trabalho pretende contribuir com a tarefa de design no sentido de desenvolver um procedimento para inclusão e verificação dos requisitos ambientais no processo de projeto através da utilização de ferramentas para o Design do Ciclo de Vida, selecionadas a partir dos seguintes critérios: confiabilidade dos dados obtidos, a simplicidade de utilização e análise dos dados, o custo de obtenção e aplicação das ferramentas e a escassez de tempo disponível, em geral, para a equipe de desenvolvimento na busca de soluções de projeto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um procedimento para verificação e inclusão de requisitos ambientais no desenvolvimento de projetos através do uso de ferramentas para o Design do Ciclo de Vida.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e analisar os impactos ambientais de um produto referência através da aplicação do Instrumento de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida selecionado para o modelo;
- Determinar em quais fases do ciclo de vida, ou em quais processos, ocorrem os impactos ambientais mais significativos apresentados pelo produto referência;
- Relacionar os resultados obtidos na primeira etapa com a ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental selecionada para a segunda etapa do modelo;
- Identificar e avaliar as estratégias de projeto para a criação ou re-design de um produto de menor impacto ambiental;
- Desenvolver uma Lista de Verificação específica para a inclusão e verificação dos requisitos ambientais no processo de projeto de beliches em Pinus.

1.3 Justificativa e Relevância do Trabalho

Um número crescente de empresas em todo o mundo vem tratando da inclusão dos requisitos ambientais no processo de projeto de seus produtos de forma cada vez mais séria. Tais empresas têm, ou pretendem ter, atuação global e visam maximizar seus lucros agregando "...um diferencial competitivo sobre companhias mais conservadoras que tratam a proteção ao meio ambiente de forma superficial ou apática." (LEWIS *et al.*, 2001, p. 29).

Nesse contexto, a justificativa do presente estudo encontra-se no fato de que a geração e documentação de materiais para disseminação ampla na comunidade de designers, através da disponibilização de conhecimentos científicos, métodos, linhas guias baseadas no estudo de caso específico de determinados produtos e experiências comerciais reais, pode reduzir o tempo e o caminho da curva de aprendizagem da abordagem do Design do Ciclo de Vida para designers e aumentar a credibilidade das empresas na abordagem (LEWIS *et al.*, 2001, p. 22).

Assim, o desenvolvimento de um procedimento que combine ferramentas existentes de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida e de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental para o desenvolvimento de uma terceira ferramenta específica para o produto estudado vem atender uma necessidade da própria indústria e do profissional de projeto. Isto irá permitir a superação dos limites das ferramentas antes mencionadas, tradicionalmente utilizadas isoladamente, e fornecer caminhos efetivos para a criação de novos produtos menos agressivos ao meio ambiente ou para o re-design dos produtos já existentes.

Os autores Manzini e Vezzoli (2002, p. 286) também vêm ressaltar a relevância de procedimentos desenvolvidos no sentido de auxiliar o designer no processo de inclusão dos requisitos ambientais no desenvolvimento de produtos, quando afirmam que "...quem projeta tem de possuir informações e métodos de análise, de medida, de avaliação e, até mesmo, instrumentos de suporte para as suas decisões."

1.4 Delimitações do Trabalho

- O estudo visa desenvolver um procedimento a ser utilizado internamente pelas empresas, não servindo, portanto, para obtenção de certificações ou análise comparativa de produtos para fins de marketing ambiental;
- O presente estudo não irá abranger os instrumentos de comunicação e formação, uma vez que estes instrumentos não são considerados específicos da atividade projetual.

1.5 Procedimentos Metodológicos

Trata-se de uma pesquisa exploratória que incluiu, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica acerca do tema que forneceu a base teórica do capítulo de Revisão da Literatura, bem como auxiliou na compreensão do objeto de estudo, dos objetivos da pesquisa e na definição das questões mais significantes do tema (GIL, 1991, p.45).

Tal pesquisa foi realizada através de livros, teses, dissertações, artigos de periódicos e materiais publicados na Internet, conforme sugerem Silva e Menezes (2001, p. 21).

Posteriormente, uma entrevista não-estruturada junto a profissionais responsáveis pela produção e comercialização de produtos na empresa selecionada forneceu os elementos necessários para a realização do Estudo de Caso apresentado no capítulo quatro, onde é apresentada uma aplicação prática do modelo proposto, com a finalidade de verificação do mesmo dentro de uma organização, e a análise dos resultados obtidos.

Conforme esclarece Yin (2001, p. 24), a definição da estratégia de pesquisa a ser utilizada depende de três condições: do tipo de questão de pesquisa proposto, da extensão de controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais e do grau de enfoque em acontecimentos históricos em oposição a acontecimentos contemporâneos.

Também segundo o autor supra citado (YIN, 2001, p. 28), questões do tipo “como” estimulam o uso de estudos de caso, bem como a necessidade de exame de acontecimentos contemporâneos sobre os quais o pesquisador tem pouco ou nenhum controle, justificando, portanto, a proposta de realização de um estudo de caso para a presente pesquisa.

Ao final do capítulo três encontra-se um conjunto de condições para a aplicação do procedimento sugerido pela pesquisa, uma vez que Yin ressalta que a realização de estudos de caso únicos encontra fundamento lógico na medida em que a teoria tenha especificado “...um conjunto claro de proposições, assim como as circunstâncias nas quais se acredita que as proposições sejam verdadeiras.” (YIN, 2001, p. 62).

1.6 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação foi desenvolvida em cinco capítulos e organizada conforme segue.

O capítulo de introdução do estudo identifica o tema, a problemática que o envolve e a contribuição pretendida com procedimento proposto. Também descreve os objetivos, a justificativa para realização do trabalho e sua relevância, bem como as delimitações, os procedimentos metodológicos e a estrutura.

O segundo capítulo discorre sobre o estado da arte através de uma revisão da literatura que analisou a relação entre design, meio ambiente e sustentabilidade ambiental. Da mesma forma, aborda a inclusão de requisitos ambientais no processo de projeto e os tipos de ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de produtos de baixo impacto ambiental.

No capítulo três, descreve-se o modelo proposto a partir da seleção e detalhamento dos procedimentos das ferramentas que serão utilizadas, bem como se definem as três etapas que serão implementadas no estudo de caso desenvolvido no capítulo seguinte.

O capítulo quatro apresenta o estudo de caso. A partir da caracterização da

empresa selecionada, fabricante de móveis em Pinus, do produto referência estudado e da estrutura do departamento de desenvolvimento de projeto, relata-se a aplicação das ferramentas descritas no capítulo anterior, enfatizando e analisando os resultados obtidos em cada etapa da aplicação do modelo.

Finalmente, o capítulo cinco traz conclusões gerais sobre o procedimento, apresenta as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade Ambiental dos Produtos Industriais

O termo Desenvolvimento Sustentável foi introduzido pelo relatório “*Our Common Future*” (ou Nosso Futuro em Comum) publicado pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio-Ambiente das Nações Unidas, mais conhecido como relatório Brundtland, em 1987. Este relatório estabelece que o desenvolvimento só é sustentável se capaz de satisfazer às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades.

Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável prevê a melhora da qualidade de vida da população mundial sem utilizar recursos que vão além da capacidade do planeta em regenerar estes recursos, para que os mesmos estejam disponíveis para futuras gerações, através de diferentes ações que integrem três áreas fundamentais: crescimento econômico e equidade, conservação dos recursos naturais e do meio-ambiente e desenvolvimento social (UNITED NATIONS, 2002, p. 4).

Em 1992, durante a Conferência Mundial da Terra (“*Heart Summit*”) ocorrida no Rio de Janeiro, mais conhecida como Rio-92, diversos governos de Estado comprometeram-se em implementar a Agenda 21, que se trata de um plano de ação que estabelece direitos e obrigações das nações para se atingir a sustentabilidade através de profundas transformações necessárias relativas às práticas de consumo e produção atuais.

Ainda hoje, esta mudança nos padrões de produção e consumo se caracteriza por ser de fundamental relevância para a consolidação das metas determinadas pela Agenda 21, uma vez que entre os principais desafios mundiais enfrentados atualmente se encontram a redução na produção de lixo e o uso sustentável de recursos naturais, tais como matérias-primas, energia e água, conforme afirmação presente em material publicado pelo UN em razão do “*World*

Summit in Sustainable Development” (ou Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável), ocorrido em Joannesburg, África do Sul, no ano de 2002:

Os recursos naturais estão desaparecendo de uma forma sem precedentes, em grande parte devido ao desperdício de padrões de consumo e produção de muitos países industrializados. Práticas não-sustentáveis na maior parte das vezes geram poluição, que ameaça não apenas os ecossistemas locais, mas também o meio-ambiente global. Se a população e a economia continuarem a crescer, nós deveremos melhorar drasticamente a eficiência no uso de recursos e energia.

(UNITED NATIONS, 2002, p. 5).

Jansen, na citação abaixo, esclarece as dimensões reais da mudança necessária:

Podemos considerar sustentáveis somente aqueles sistemas produtivos e de consumo cujo emprego de recursos ambientais por unidade de serviço prestado seja, pelo menos, 90% inferior ao atualmente aplicado nas sociedades industrialmente avançadas.

(*apud* MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 30).

Segundo Hanssen (1999, p. 27), mudanças importantes têm sido feitas em termos de estratégias ambientais no sentido de transformar as atuais práticas de produção e consumo. Partindo da abordagem tradicional de gerenciamento ambiental baseada no controle e prevenção da poluição (soluções *end-of-pipe*) aplicada primeiramente nos processos industriais (*cleaner production*), evoluiu-se, em um segundo momento, para ações orientadas aos produtos (*cleaner products*). Passou-se, também, de uma abordagem do ciclo de vida do berço ao túmulo (*cradle to grave*) para a abordagem do berço ao berço (*cradle to cradle*), ou seja, com ciclos fechados de material e energia .

Manzini e Vezzoli (2002, p. 222) esclarecem que são chamados ciclos fechados na medida em que os materiais e energia adotados por um produto são planejados e projetados em efeito cascata, ou seja, aplicando os materiais “...de maneira seqüencial em produtos de qualidades cada vez mais inferiores até a

exaustão da qualidade do material” e conseqüente incineração para recuperação do conteúdo energético do mesmo.

Ainda no sentido de identificar estratégias ambientais para alteração dos atuais padrões de consumo e produção, Vezzoli (2003, p. 2) esclarece que, para tais intervenções serem realmente catalisadoras na transição para uma sociedade sustentável, é necessária uma mudança não apenas em relação à forma como os produtos e serviços são realizados, mas à maneira como as necessidades e desejos são satisfeitos, propondo assim o tema do consumo sustentável (*sustainable consumption*).

A busca da promoção do consumo e do comportamento limpos exige novos produtos, mas pode, também, direcionar a orientação das escolhas para um novo mix de produtos e serviços que, para serem aceitos, dependem de uma mudança na cultura e no comportamento dos usuários.

(MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 19).

Apesar de serem encontradas afirmações na literatura sobre a conscientização crescente por parte dos consumidores em relação às prestações ambientais dos produtos (McSPIRIT, 1998, p. 40), existem, por outro lado, dados demonstrando que um longo caminho ainda deve ser percorrido na criação de um novo cenário global, principalmente entre os consumidores jovens.

Esta faixa de consumidores, apesar de demonstrar interesse sobre o tema da sustentabilidade, ainda considera aspectos como preço, marca, qualidade e pressão do grupo de convívio como sendo mais importantes enquanto fatores decisórios no momento da compra (MARRAS, 2003, p. 928), demonstrando que “...os obstáculos culturais parecem ser as forças contrárias mais importantes para a sustentabilidade.” (HANSSEN, 1999, p. 39).

Pesquisa encomendada pelo UNEP em cooperação com a agência de propaganda McCann-Eriksson, realizada em 2001, concluiu que o tema do consumo sustentável continua sendo “uma grande ignorância” na população entre 18 e 25 anos de 24 países, já que este crescente grupo de consumidores “parece não compreender a ligação entre seu comportamento pessoal e os problemas de escala global.” (MARRAS, 2003, p. 928).

Marras sugere como forma de encurtar o caminho para o alcance do patamar da sustentabilidade, além de informar os consumidores sobre estilos de vida sustentáveis, educá-los em relação ao poder que exercem sobre as atividades da indústria e criar uma quantidade cada vez maior de produtos sustentáveis de massa. (2003, p. 929). Desta forma seriam fornecidas melhores opções em produtos, permitindo-se o acesso de grande parte da população a produtos ambientalmente corretos.

Jones, Stanton e Harrison (2001, p. 519) salientam o desenvolvimento de produtos sustentáveis como uma parte importante deste movimento global em direção ao desenvolvimento sustentável amplo, originado da compreensão de que a sociedade não pode continuar com os atuais modos de produção e consumo sem provocar um sério dano ecológico.

Também Maxwell e van der Vorst (2003, p. 883) esclarecem que a adoção de uma abordagem sustentável no design de produtos é um dos maiores desafios enfrentados pela indústria do séc. XXI, em concordância com a afirmação salientada a seguir.

O aumento dos custos na descarga de resíduos e controle de emissões, crescentes pressões reguladoras e a crescente demanda pública pela qualidade ambiental estão obrigando as companhias a reduzir ou eliminar os impactos ambientais provenientes de produtos e processos específicos.

(KHAN, SADIQ e VEITCH, 2004, p. 59).

Como consenso geral, a literatura que trata sobre o tema do desenvolvimento de produtos sustentáveis encontra-se de acordo com as três áreas fundamentais de ação estabelecidas pela abordagem do desenvolvimento sustentável, uma vez que enfatiza a necessidade de equilibrar os aspectos ambientais dos produtos industriais com os aspectos econômicos, éticos e sociais no sentido de difundir soluções criativas, economicamente viáveis, tecnicamente possíveis e culturalmente aceitáveis.

Manzini e Vezzoli (2002, p. 22) afirmam que "...até o momento, o encontro entre o design industrial e o tema ambiental tem focalizado e praticado principalmente o re-design ambiental e o projeto de novos produtos em substituição

àqueles existentes” enfatizando que, apesar de ser uma atividade necessária, seu papel isoladamente não é suficiente para atingirmos a sustentabilidade, sendo necessária a consideração de outros dois níveis de intervenção sugerindo novos produtos-serviços intrinsecamente sustentáveis e a proposta de novos cenários que correspondam a estilos de vida sustentáveis.

Desta forma, surge como evidente a necessidade de projetar com vistas à construção destes novos cenários globais, consolidados no respeito aos limites ambientais e alcançado através de ações em diferentes níveis da sociedade e de um longo e complexo período de transição e de aprendizado coletivo, onde cada ator social deverá desempenhar seu papel e assumir novas responsabilidades (VEZZOLI, 2003, p. 2).

2.1.1 O Papel do Designer no Processo

No processo de desenvolvimento de produtos com propriedades ambientais salienta-se a necessidade do envolvimento de diversas áreas do conhecimento, caracterizando uma atividade multidisciplinar que envolve designers, engenheiros, modelistas, gerentes de marketing, etc., no sentido de maximizar o desempenho ambiental e comercial dos produtos (LEWIS *et al.*, 2001, p. 15).

Vários atores participam e controlam os vários processos no decorrer do ciclo de vida de um produto, ou seja, fornecedores de matérias-primas e de materiais semi-elaborados, os produtores, os distribuidores, os usuários, os organismos públicos e ainda as empresas que se ocupam do descarte/eliminação.

(MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 101).

Contudo, o designer apresenta um papel fundamental neste processo de transição para a sustentabilidade propondo oportunidades, leiam-se produtos ou serviços, que tornem praticável um estilo de vida sustentável (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 72) e, em última análise, criando uma interface adequada entre o consumidor e a tecnologia, e assegurando que uma gama ampla, e algumas vezes conflitante, de requisitos seja incorporada ao produto final (LEWIS *et al.* 2001, p. 15).

Como atribuição profissional direta, Lofthouse (2004, p. 226) observa que o papel do designer industrial no desenvolvimento de produtos ecológicos é exatamente o mesmo que desempenha quando projetando produtos sem características ambientais, ou seja, o designer não deve ser confundido com um especialista em meio-ambiente e deve utilizar ferramentas para o Design do Ciclo de Vida que apresentem foco e conteúdo apropriados às suas necessidades.

Já Teatino (2001, p. 192) aponta que o designer com competência ambiental pode desenvolver dois tipos de ações: como designer/pesquisador, ou seja, colaborando com o processo de projeto no fornecimento de instrumentos exclusivos e intervenções pontuais, tais como linhas guias específicas, listas de verificação ambiental do projeto ou cursos de formação ambiental; como designer/projetista atuando diretamente no projeto de produtos ou no desenvolvimento de conceitos com orientação ecológica em uma equipe multidisciplinar.

2.2 Integração dos Requisitos Ambientais no Projeto de Produto

Enquanto Bitencourt (2001, p. 16) ressalta a necessidade de sistematização do processo de re-projeto ambiental de produtos através da adoção de metodologias apropriadas, devido à grande quantidade e multidisciplinaridade das informações envolvidas no processo, Lewis *et al.* (2001, p. 31) afirmam que a integração dos requisitos ambientais deve ser feita dentro do processo habitual de desenvolvimento de produtos de uma empresa, uma vez que o design para o meio ambiente se trata de uma variação na metodologia de projeto existente, não de uma metodologia completamente nova.

Nielsen e Wenzel (2002, p. 256), em artigo que estabelece um método para integração dos requisitos ambientais no processo de projeto, afirmam que depende basicamente da estrutura da equipe envolvida a definição sobre qual procedimento sugerido pertence a cada fase do processo, encorajando a equipe de desenvolvimento a adaptar o modelo à sua realidade local.

Desta forma, conforme introduzido no primeiro capítulo, a integração dos requisitos ambientais no projeto de produtos deve ser feita obedecendo às características e particularidades de cada organização e do produto em desenvolvimento, bem como, da equipe de projeto envolvida, de forma a garantir a identificação das melhores soluções. Assim, qualquer modelo que vise orientar este processo deve ser flexível o bastante para adaptar-se às necessidades específicas que forem apontadas.

O relatório ISO/PDTR 14062 (2001, p. 16), que trata da sistematização para integração dos requisitos ambientais no design de produtos e desenvolvimento, estabelece o seguinte modelo genérico apresentado na Figura 1, com os estágios típicos do processo de design de produtos e desenvolvimento e as possíveis ações relacionadas à integração dos aspectos ambientais do produto em cada uma destas fases, não estabelecendo, contudo, uma abordagem padronizada a ser praticada por todas as organizações uma vez que salienta a flexibilidade e peculiaridade de cada organização com a seguinte afirmação:

Em grandes companhias o processo de design de produtos e desenvolvimento pode possuir uma abordagem formal com etapas rígidas, enquanto em pequenas empresas, uma ou algumas pessoas trabalhando de maneira informal e mais intuitiva podem ser responsáveis pelo desenvolvimento de produtos.

(ISO/PDTR 14062, 2001, p. 15).

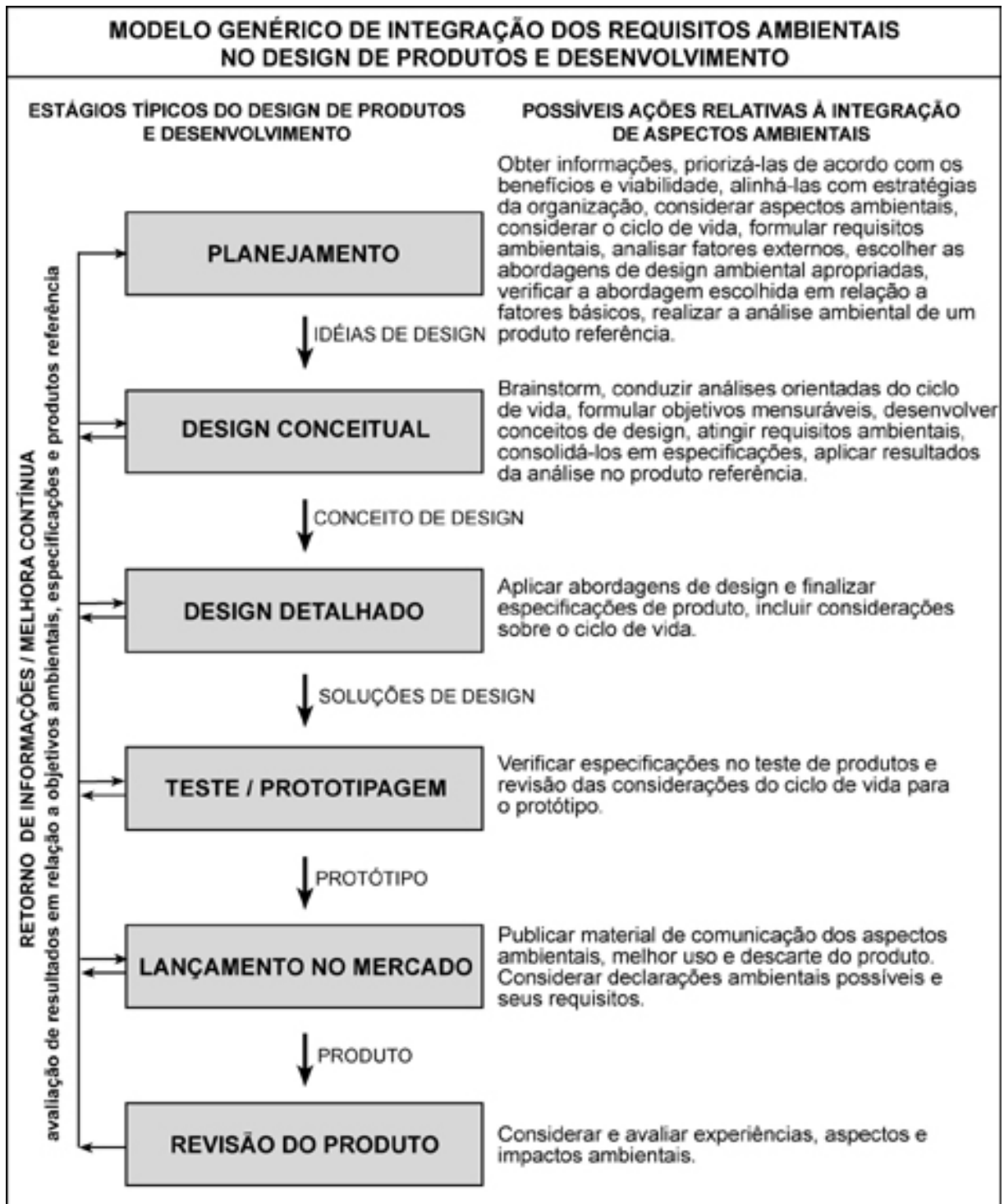


Figura 1 – Estrutura genérica de integração dos aspectos ambientais no processo de design de produtos e desenvolvimento (Fonte: ISO/PDTR 14062, 2001, p. 16).

A figura acima assinala que, independente da estrutura de desenvolvimento mais ou menos rígida apresentada por cada empresa, o processo de introdução dos requisitos ambientais no projeto de produtos é de natureza contínua, exigindo a realimentação das informações e avaliação constante dos resultados, bem como,

exige que alguns princípios genéricos estejam presentes no processo por representarem as condições básicas para a efetividade das soluções.

A literatura é unânime em afirmar que considerações sobre os requisitos ambientais devem estar presentes já nas fases iniciais do processo de desenvolvimento no sentido de aumentar as possibilidades de criação de alternativas viáveis para a diminuição da carga ambiental total provocada pelos produtos industriais. Acrescenta-se, neste sentido, o parágrafo abaixo que esclarece tal afirmação:

O grau de liberdade na escolha de soluções e conseqüentemente o potencial para melhoras ambientais, são grandes no início do desenvolvimento de produtos enquanto as idéias e conceitos estiverem em aberto. Contudo, estes diminuem gradualmente na medida em que as características gerais dos produtos forem estabelecidas e mais detalhes determinados.

(NIELSEN; WENZEL, 2002, p. 248).

O relatório ISO/PDTR 14062 (2001, p. V) é claro quando afirma que "...os requisitos ambientais devem ser pesados juntamente com outros aspectos como a função do produto, desempenho, segurança, custos, potencialidade de vendas, qualidade e requisitos legais e regulamentações". Também Manzini e Vezzoli (2002, p. 105) consideram "a necessidade de satisfazer os requisitos típicos de um projeto de produto, ou seja, os requisitos de prestação de serviço, tecnológicos, econômicos, legislativos, culturais e estéticos" juntamente com os requisitos ambientais para que um produto possa ser considerado eco-eficiente, concordando com a seguinte declaração:

Melhoras ambientais significativas podem ser freqüentemente alcançadas pela integração de propriedades ambientais como um parâmetro de otimização no desenvolvimento de produtos juntamente com parâmetros como funcionalidade, custos de produção, estética, ergonomia, etc.

(NIELSEN; WENZEL, 2002, p. 247).

Outro requisito importante a ser considerado no processo de introdução dos requisitos ambientais no projeto de produtos é a necessidade de considerar todos os

aspectos e impactos ambientais relevantes como forma de garantir que a redução de um impacto não resulte no aumento de outro (ISO/PDTR 14062, 2001, p. 12).

Desta forma, um dos primeiros procedimentos a ser realizado é uma análise dos impactos ambientais provocados pelos produtos para a definição de objetivos de melhora que considerem os impactos mais significativos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, ou seja, através da abordagem do Design do Ciclo de Vida, consentindo ao designer ou equipe de desenvolvimento de produtos "...considerar e projetar sobre a amplitude das implicações ambientais dos produtos." (LEWIS *et al.*, 2001, p. 42).

2.3 Metodologia do Design do Ciclo de Vida

Uma abordagem ambiental no desenvolvimento de produtos pode gerar múltiplos benefícios para as organizações em termos competitivos, relativos à sua imagem frente aos públicos externo e interno, em redução de custos pela otimização dos processos e do uso de materiais e energia, bem como, na identificação de novos produtos e oportunidades de mercado (ISO PDTR 14062, 2001, p. 4), sendo que "...nenhum negócio que se empenha em manter a competitividade, aberto a novos mercados e novas oportunidades, pode permitir-se ignorar a demanda global pela qualidade ambiental." (LEWIS *et al.*, 2001, p. 28).

Conforme visto no capítulo introdutório da presente dissertação, o Design do Ciclo de Vida tem como objetivo básico reduzir os impactos ambientais associados aos produtos através da utilização de uma abordagem sistêmica, ou seja, de uma abordagem mais ampla que considere todo "...o conjunto dos acontecimentos que determinam o produto e o acompanha durante seu ciclo de vida." (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 100).

Assim, o conceito de ciclo de vida do produto está relacionado às trocas de material e energia entre o ambiente e o conjunto de processos que acompanham as fases da vida do produto, sendo que a ISO/PDTR 14062 (2001, p. 8) esclarece que "os impactos ambientais de um produto são em grande parte determinados pelas

entradas de materiais e energia e as saídas geradas em todos os estágios do ciclo de vida...” e “...podem ser fortemente influenciados pelas ações dos indivíduos quando utilizando os produtos.”

Conforme observado na figura a seguir, que representa o sistema-produto da perspectiva do ciclo de vida, são consideradas entradas (*inputs*) no sistema as matérias-primas e os diversos tipos de energia (fóssil, hidráulica, eólica, nuclear, etc.) necessárias nas fases de pré-produção, produção, distribuição e transporte, uso e fim de vida, sendo que na saída do sistema (*outputs*) encontram-se os produtos finais, os resíduos sólidos e as emissões no ar, água ou sob a forma de radiação, barulho, etc., gerando um grande número de impactos ambientais associados.

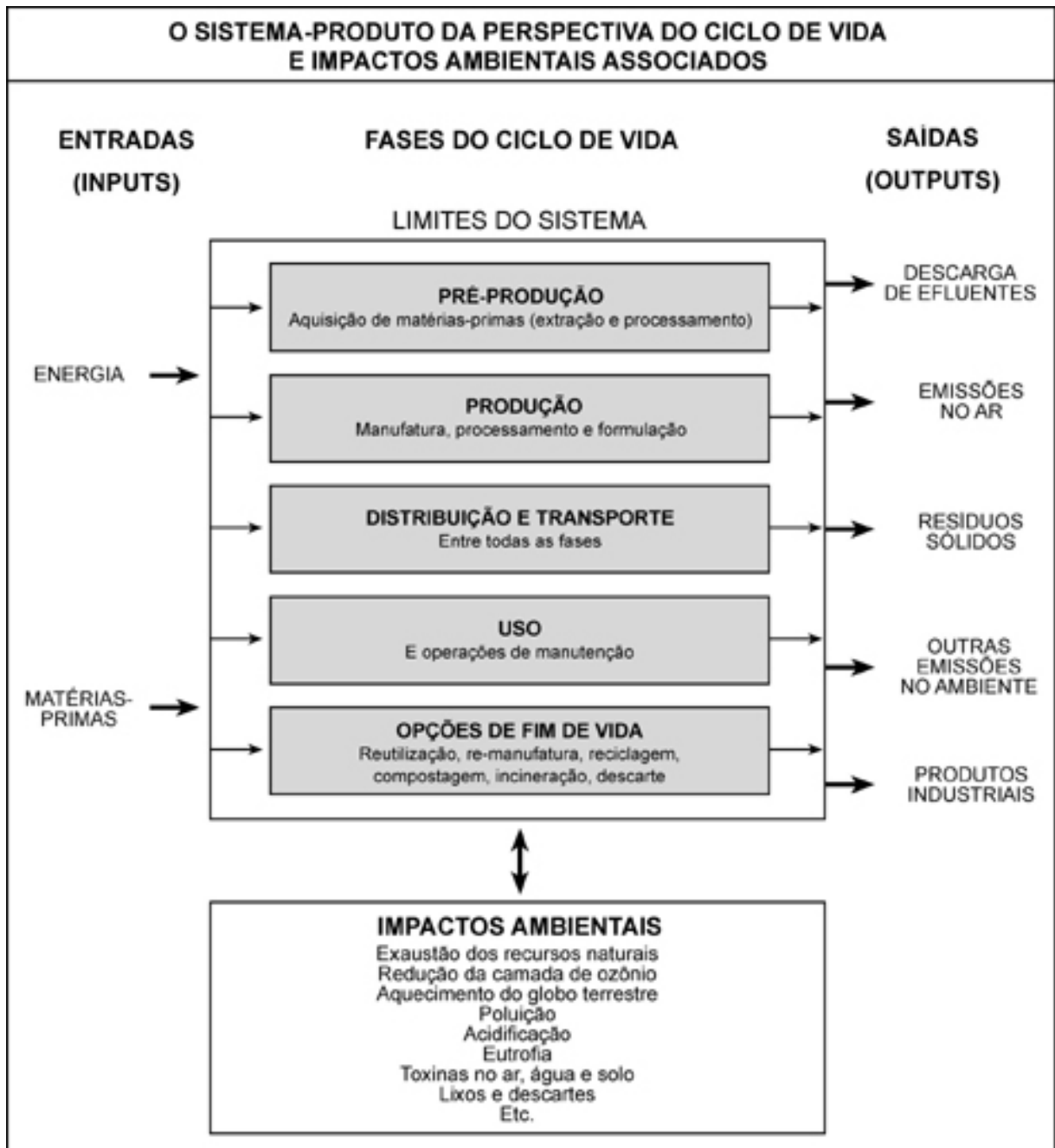


Figura 2 - O sistema-produto da perspectiva do ciclo de vida e impactos ambientais associados (Fonte: adaptado de LEWIS *et al.*, 2001, p. 42).

Assim, projetar o ciclo de vida de um produto significa passar do projeto do produto isolado ao projeto que considera todo o sistema-produto, suas entradas e saídas de energia e matérias-primas durante todas as fases do ciclo de vida e processos relacionados. Pressupõem-se, também, a identificação de possíveis cenários para reutilização das partes do produto, das matérias-primas ou, em último caso, suas opções de recuperação de conteúdo energético.

Esta abordagem holística de projeto é confirmada por Manzini e Vezzoli (2002, p. 147) quando asseguram que “...qualquer consideração de cunho ambiental deve referir-se sempre ao inteiro ciclo de vida e a todos os processos que caracterizam a confecção de um produto.”

Apesar de não ser imperativo atuar em todas as fases do ciclo, é objetivo fundamental reduzir a carga do produto relativa aos processos e impactos ambientais mais significativos, de acordo com a seguinte colocação:

Para ser verdadeiramente reconhecido como tal, o design para a sustentabilidade deve fundamentar as próprias propostas na avaliação comparada das implicações ambientais de diversas soluções tecnicamente, economicamente e socialmente aceitáveis, e deve concretizar-se na realização de produtos e serviços projetados com vistas ao seu inteiro ciclo de vida. Isto é, através da metodologia do Design do Ciclo de Vida.

(MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 23).

Assim, o Design do Ciclo de Vida leva a uma abordagem de produto mais complexa, uma vez que:

...implica na necessidade de construir e respeitar parâmetros ambientais através dos quais controlar o inteiro ciclo de vida do produto, tentando reduzir os recursos consumidos. Controlar significa primeiramente analisar o ciclo de vida do produto para depois projetar o ciclo de vida de um novo produto com baixo impacto ambiental.

(TEATINO, 2002, p. 59).

A importância desta abordagem deve-se à constatação que todos os produtos apresentam algum tipo de impacto ambiental, sendo que este pode apresentar seus efeitos em nível local, regional ou global, e pode variar de leve a significativa, ocorrendo a curto ou longo prazo (ISO/PDTR 1402, 2001, p. V).

...estes impactos não são necessariamente visíveis ou analisáveis no produto em si. Eles podem ocorrer devido à aquisição de matérias-primas no outro lado do planeta, ou como emissões de aterros daqui a 100 anos. A conscientização sobre a “sombra” ambiental provocada pelos produtos está também relacionada a avanços sobre considerações do ciclo de vida, isto é, ponderar as

conseqüências ambientais indiretas dos produtos, atividades e sistemas, e inventar formas para avaliá-las e mitigá-las.

(HEISKANEN, 1999, p. 61)

Desta forma, o conhecimento sobre os efeitos ambientais provocados pelos atuais sistemas de produção e consumo, como o esgotamento dos recursos naturais, a redução da camada de ozônio, o aquecimento do globo, etc., é fundamental para o entendimento da relação entre as escolhas realizadas no momento do projeto e as conseqüências destas decisões, sendo que maiores esclarecimentos sobre tais efeitos encontram-se no Anexo 1.

A seguir serão introduzidas as ferramentas para o Design do Ciclo de Vida disponíveis para auxiliar o designer ou equipe de projeto no desenvolvimento de produtos de baixo impacto ambiental, evitando ou minimizando os efeitos ambientais nocivos provocados durante a vida do produto.

2.4 Instrumentos para o Design do Ciclo de Vida

Conforme afirmado na introdução do presente trabalho, existem mais de 170 ferramentas disponíveis para a concepção de produtos de baixo impacto ambiental, desenvolvidas em vários países por agentes governamentais, empresas e instituições de ensino e pesquisa, públicas ou privadas (TEATINO, 2002).

A quantidade crescente de pesquisas nesta área deve-se, em parte, à constatação de que a maioria dos impactos ambientais provocados pelos produtos industriais é determinada no estágio de design (LEWIS *et al.*, 2001, p. 13) e, conseqüentemente, algumas delas foram desenvolvidas especificamente com a finalidade de "...tornar esta atividade mais meticulosa e confiável, bem como, facilitar algumas tarefas difíceis que, sem o auxílio de tais ferramentas, tornar-se-iam extremamente caras ou impossíveis de serem executadas a cada trabalho." (*ibidem*, p. 41).

Tais ferramentas podem ser vinculadas a quatro grandes grupos de acordo com suas características ou finalidades, quais sejam, realizar a análise e avaliação

do impacto ambiental provocado pelos produtos, auxiliar a equipe de projeto na definição de estratégias orientadas para a redução dos danos ambientais, melhorar a imagem da empresa ou produto frente a seus públicos ou servir de suporte didático da área de design para o meio ambiente na formação de profissionais de projeto ou ensino (TEATINO, 2002).

Desta forma, dois grupos de ferramentas são de particular interesse do designer uma vez que dirigidos especificamente à atividade de projeto, que são o grupo das ferramentas analíticas e das ferramentas criativas, em definição proposta por Lewis *et al.* (2001, p. 41), ou das ferramentas de análise de impacto ambiental e das ferramentas de auxílio ao projeto, em definição proposta por Teatino (2002, p. 62).

Contudo, nem todas estas ferramentas foram idealizadas, ou mesmo são adequadas, para serem aplicadas pela figura do designer no processo projeto, uma vez que elas apresentam características diferenciadas de complexidade, custo e tempo necessário para execução dos procedimentos da ferramenta.

A seguir, serão classificados os tipos ferramentas para análise de impacto ambiental e auxílio ao projeto, com a finalidade de identificar as mais conhecidas e contextualizá-las no processo de Design do Ciclo de Vida dos produtos.

2.4.1 Instrumentos de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto

A primeira categoria de Instrumentos de Design do Ciclo de Vida é a que consente avaliar o impacto ambiental provocado por um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida partindo de análises quantitativas, ou seja, que necessitam de dados sobre fluxos de materiais e energia.

Esta categoria de ferramentas é fundamental para a atividade do designer, uma vez que "...a indisponibilidade dos dados sobre o impacto ambiental é um dos problemas mais relevantes que encontramos no decorrer dos vários processos que envolvem as fases do ciclo de vida de um produto." (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 286).

Deve-se salientar que tais ferramentas, apesar de úteis e amplamente utilizadas, levantam críticas em relação aos custos elevados que representam, dificultando assim sua utilização pelas indústrias, e por serem uma simplificação da situação real, ou seja, não fornecendo elementos definitivos sobre as interações ambientais dos produtos (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 290).

Esta categoria de instrumentos, ou ferramentas, encontra-se subdividida entre as ferramentas para Análise do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*), para Inventário do Ciclo de Vida (*Life Cycle Inventory*), para Análise do Ciclo de Vida Específica / Setorial e para Análise do Ciclo de Vida Simplificada, conforme explanado a seguir.

2.4.1.1 Análise do Ciclo de Vida – ACV (*Life Cycle Assessment*)

A ACV é atualmente a metodologia mais reconhecida e aceita em nível internacional para análise e avaliação do desempenho ambiental representado por um produto (BOVEA; VIDAL, 2004, p. 111), sendo mais especificamente definida como:

...um processo para avaliar a carga ambiental associada a produtos, processos ou atividades através da identificação e quantificação de energia e materiais utilizados, bem como dos resíduos liberados para o ambiente; para avaliar o impacto que o uso destes materiais, energia e emissões provocam no ambiente; e para identificar e avaliar oportunidades de melhora ambiental.

(KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004, p. 60).

Duas organizações internacionais independentes têm desenvolvido pesquisas no sentido de estabelecer a estrutura de condução de uma ACV: a SETAC e a ISO, sendo que a estrutura sugerida pela primeira é amplamente aceita uma vez que as séries ISO 14040 ainda estão sendo formuladas (KHAN; SADIQ; VEITCH, 2004, p. 60).

Contudo, um consenso geral foi atingido em relação à estrutura metodológica, sendo que ambas estabelecem quatro fases de elaboração de uma ACV que, segundo Chehebe (1998, p. 21), podem ser descritas da seguinte forma:

- Definição dos Objetivos: nesta primeira fase são definidos o propósito do estudo, sua abrangência e limites do sistema analisado, bem como a unidade funcional, metodologia e procedimentos;
- Levantamento dos Dados ou Análise do Inventário: é a fase de coleta e quantificação de todas as entradas e saídas envolvidas durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade;
- Avaliação do Impacto: representa um processo qualitativo/quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais baseado nos resultados obtidos na análise do inventário, sendo que uma grande variedade de métodos surgiu para a quantificação dos impactos ambientais;
- Interpretação dos Resultados: consiste na análise dos resultados obtidos de acordo com o objetivo previamente definido, com a finalidade de identificar possibilidades de melhora ambiental do sistema. Pode, portanto, tomar forma de recomendações e conclusões.

Trata-se, portanto, de uma metodologia de grande complexidade e de custo elevado, uma vez que exige a obtenção de um grande número de dados para sua realização e bastante tempo na sua execução, bem como, requer a participação de especialista ambiental para sua realização. Conseqüentemente, esta ferramenta apresenta resultados muito precisos sendo, contudo, uma ferramenta mais indicada para utilização na fase de Planejamento do produto (KEOLEIAN; KAR, 2003, p. 75).

A maior parte das ferramentas que se propõem a realizar ACVs completas é encontrada sob a forma de softwares, sendo que elas se diferenciam consideravelmente em termos de tamanho do banco de dados utilizado, interface e custo (TEATINO, 2002, p. 66).

O quadro a seguir, proposto por Teatino (*idem*), indica as principais ferramentas para realização da ACV, sendo que Manzini e Vezzoli (2002, p. 299)

identificam os métodos BUWAL, CML, Eco-Indicator 99 e EPS como os mais utilizados para realização da fase de avaliação da ACV completa.

FERRAMENTAS PARA ACV
Edip LCV tool (Institute for Product Development (IPT) University of Denmark DTU, Dinamarca); EIME (Ecobilance, França); GaBi LCA (University of Stuttgart, Alemanha); LCAdvantage (Battelle Columbus Operations, Estado Unidos da América); PEMS (PIRA, Inglaterra); SimaPro (Pré consultants, Holanda); TEAM (Ecobilance, Reino Unido); Umbeto (IFEU Institut für Energie Umweltforschung - Heidelberg GmbH, Alemanha); Wisard (Ecobilance, Reino Unido).
Métodos para a fase de Avaliação: BUWAL, CML, Eco-indicator 99 e EPS

Quadro 1 – Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida – ACV (Fonte: TEATINO, 2002, p. 66).

2.4.1.2 Inventário do Ciclo de Vida – ICV (*Life Cycle Inventory*)

Conforme visto anteriormente, a realização de um Inventário do Ciclo de Vida é a segunda fase na realização de uma ACV completa, e refere-se especificamente ao processo de identificação e quantificação das entradas no sistema e dos impactos ambientais (saídas).

Assim, tais ferramentas, listadas no quadro 2, são complementares e incorporadas às ferramentas de ACV, gerando um inventário com as emissões e consumos durante o ciclo de vida e possibilitando, assim, a identificação das maiores emissões. Contudo, não auxiliam na determinação de qual emissão é a mais importante entre todas, sendo necessário seu uso conjunto com ferramentas de análise qualitativa dos dados (TEATINO, 2002, p. 64).

FERRAMENTAS PARA ICV
<p>ILCA (ANPA-CIRIS, Itália); Boustead model (Boustead Consulting, Reino Unido); Euklid (Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung Giggenhauser, Alemanha); Jem-LCA (Japan Environment Management Association for Industry JEMAI, Japão); LCAit (Chalmers Industriteknik - Gotegorg, Suécia); ECOINVENT (Institute for Energy Technology - Zurich, Suíça); BUWAL 250 (Swiss Packaging Institute - Berna, Suíça); Eco-profiles of the European Plastics Industry (AMPE - Association of Plastics Manufacturers in Europe); IISI Worldwide Life Cycle Inventory (LCI) Study for Steel Products (CLA MAnager-technology Department International Iron and Steel Institute - Bruxelas, Bélgica); IVAM (IVAM Environmental Reseach - Amsterdam, Holanda); FEFCO (FEFCO - Paris, França); STFI (STFI - Stocolmo, Bélgica); VITO (Flemish Institute for Technological Research - Boeretang, Bélgica); KCL ECODATA (the Finnish Pulp and Papel Research Institute, Finlândia); GaBi (IKP, Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung, University os Stuttgart, Alemanha); PEMS - Pira Environmental Management System (Packaging Industry Research Association - Surrey, Reino Unido); Umberto (IFE Institute für Umweltinformatik - Hamburg GmbH, Alemanha); SimaPro (Pré consultants, Holanda); REPAQ (Resource and Environmental Profile Analisis Query, Franklin Associates); TEAM/DEAM (Ecobilan); LCAD (Battelle Memorial Institute); IDEMAT (Delft University of Technology - Delft, Holanda) Comprehensive Least Emissions Analysis - CLEAN (Science Applications International Corporation).</p>

Quadro 2 – Ferramentas para realização de Inventário do Ciclo de Vida - ICV (Fonte: TEATINO, 2002, p. 65).

2.4.1.3 Análise do Ciclo de Vida Específica / Setorial

Segundo Teatino (2002, p. 66), os instrumentos para realização da ACV Específica/Setorial são fundamentalmente os mesmos da ACV completa, sendo que seus bancos de dados são orientados a um particular tipo de produto ou processo e, em geral, são voltados ao setor de embalagens.

No quadro a seguir a autora identifica tais ferramentas:

FERRAMENTAS PARA ACV ESPECIFICA / SETORIAL
<p>EcoPack 2001 (Max Bolliger Consultor, Suíça); KCL Eco (The Finish Pulp and Research Institute KCL, Finlândia); Repaq (Franklin Associates, Estado Unidos da América); Greenpack (Istituto Italiano per l'Imballaggio, Itália); Plastic LCA (Association of Plastics Manufacturers Europe AMPE - Bruxelas, Bélgica); EIME (Ecobalance, França)</p>

Quadro 3 – Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida Específica/Setorial (Fonte: TEATINO, 2002, p. 67).

2.4.1.4 Análise do Ciclo de Vida Simplificada

A esta categoria pertencem aquelas ferramentas que foram criadas para resolver os problemas de complexidade, custos relativamente altos, necessidade de conhecimentos específicos sobre meio-ambiente e dificuldade em reencontrar os dados para avaliação apresentados pelas ferramentas de ACV completa. Para tanto, são ferramentas mais simplificadas que apresentam resultados facilmente compreensíveis uma vez que estes aparecem sob a forma de avaliação (TEATINO, 2002, p. 67).

Estas características permitem que as ferramentas de ACV simplificada possam ser utilizadas em qualquer estágio do processo de design, devido à rapidez na obtenção dos resultados, bem como, pela figura do designer, já que não exigem conhecimentos específicos anteriores.

Contudo, estas avaliações devem idealmente sofrer verificações posteriores, uma vez que a redução do número de indicadores ou a avaliação mais qualitativa realizada por determinadas ferramentas pode reduzir a confiabilidade dos dados obtidos (LEWIS *et al.*, 2001, p. 48).

No contexto do Design do Ciclo de Vida, estas ferramentas podem ser aplicadas para identificação dos maiores impactos ambientais produzidos pelos produtos ao longo do seu ciclo de vida e para determinação das prioridades às quais

o designer deverá dedicar maior atenção na busca por soluções para minimizar ou evitar tais impactos (LEWIS *et al.*, 2001, p. 47).

O quadro 4, abaixo, lista as ferramentas para a ACV simplificada mais conhecidas, conforme propõe Teatino (2002, p. 68).

FERRAMENTAS PARA ACV SIMPLIFICADA
NOH Ecoindicator (Pré consultants, Holanda); MET (Brezet, H. & van Hemel, Holanda); Ecoscan (Martin Wielemaker - Turtle Bay, Holanda); Ecoit (Pré consultants, Holanda); Ecodesign (Martin Wielemaker - Turtle Bay, Holanda); DFE (Boothroy - Dewurst, EUA e TNO Institute of Industrial Technology, Holanda); EDIP (TU, Dinamarca); Ecodesign Tools (MMU, Inglaterra); Verdee (ENEA, Itália).

Quadro 4 – Ferramentas para realização de Análise do Ciclo de Vida Simplificada (Fonte: TEATINO, 2002, p. 68).

2.4.2 Instrumentos de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental

A segunda categoria de Instrumentos de Design do Ciclo de Vida analisadas no presente trabalho é a que fornece estratégias de design ambiental, critérios para gestão das informações e suporte para as decisões do designer ou equipe de desenvolvimento no projeto de produtos ou serviços de baixo impacto ambiental.

Lewis *et al.* (2001, p. 61) esclarecem que estratégias de Eco-design são “...ações que podem ser realizadas para redução do impacto ambiental”, identificando as seguintes: selecionar materiais de baixo impacto ambiental, evitar materiais tóxicos ou perigosos, escolher processos de produção mais limpos,

maximizar a eficiência no uso da água e energia e projetar para a minimização dos resíduos.

Manzini e Vezzoli (2002, p. 105-106), contudo, identificam as estratégias de minimização dos recursos, escolha dos materiais e processos de baixo impacto ambiental, otimização da vida dos produtos, extensão da vida dos materiais e facilidade de desmontagem, sugerindo ainda uma sexta estratégia que prevê a oferta de um mix integrado de produtos e serviços na busca pela melhora das qualidades ambientais dos produtos.

Os instrumentos de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental podem sugerir estratégias que enfoquem o incremento de determinadas prestações dos produtos, ou seja, abranger apenas uma ou algumas fases do ciclo de vida, ou podem ser mais compreensivos, sugerindo estratégias transversais que irão abordar todas as fases do ciclo de vida, podendo ser encontrados sob a forma de manuais ou linhas guias, impressos ou informatizados.

Tais instrumentos podem, também, ser classificados como Focalizados, Estratégicos ou Linhas Guias de Auxílio ao Projeto.

2.4.2.1 Focalizados

Estes instrumentos enfocam apenas um setor industrial específico, como o eletro-eletrônico, ou uma fase do ciclo de vida, especialmente aquela de fim de vida do produto.

Através deste tipo de ferramentas, divididas nas categorias de re-design amplo, de seleção de materiais e de desmontagem e reciclagem, são definidas estratégias ambientais de projeto que podem produzir efeitos consideráveis em termos de diminuição da carga ambiental dos produtos.

O quadro 5 ilustra as principais ferramentas selecionadas por Teatino (2002, p. 69-71) para auxílio ao designer ou equipe de desenvolvimento na operação este tipo de abordagem no projeto de produtos.

INSTRUMENTOS FOCALIZADOS
<p>REDESIGN AMPLO</p> <p>DFE Ecobalance (Holanda); Edip (Dinamarca); DEEDS (Design for Environment Decision Support - Manchester, Reino Unido); Ecodesign Tool (MMU, Inglaterra).</p>
<p>SELEÇÃO DE MATERIAIS</p> <p>CAGE (Research Triangle Institute Research Triangle Park - North Carolina, EUA); SAGE (Research Triangle Institute Research Triangle Park - North Carolina, EUA); Ecotox (EPA-EUA); Idemat (Delft, Holanda); Mips (Wppertal, Alemanha); MAIA (Wppertal, Alemanha); Materials checklist (Graedel & Allenby, Alemanha); Umberto (IFEU, Institut fur Energie und Urnweltforschung - Heidelberg GmbH, Alemanha).</p>
<p>DESMONTAGEM E RECICLAGEM</p> <p>Ametide (Research Triangle Institute Research Triangle Park - North Carolina, EUA); BDirange (The Design IV Partnership, Inglaterra); Diana (POGO International, EUA); Restar (Green Engineering Corporation, EUA); Icarve; EDP (EUA); LASER (EORM, Quantum Corporation, Texas Instruments e Lucent Technology, EUA); FURNITURE (CLAC, Itália); Eco-cathedra (ANPA-CIRIS, Itália).</p>

Quadro 5 – Ferramentas Focalizadas de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental (Fonte: TEATINO, 2002, p. 69-71).

2.4.2.2 Estratégicos

Este grupo de ferramentas foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a interação entre os diversos atores envolvidos no processo de projeto, como designers, especialistas em meio ambiente, gerentes de produto, etc. Segundo Teatino (2002, p. 71), podem demandar um certo tempo para sua implementação, mas produzem efeitos significativos em termos de consolidação do conhecimento

ambiental e do posicionamento ambiental da empresa quando utilizadas no início do processo de projeto.

O quadro 6 ilustra as ferramentas estratégicas mais conhecidas para o desenvolvimento de produtos ou serviços de baixo impacto ambiental selecionadas por Teatino (*idem*).

INSTRUMENTOS ESTRATÉGICOS
Eco Compass (Fussler C.; James D.); ECODESIGN Strategy Wheel - A promising approach to sustainable production and consumption (UNEP); Environmental Champions (Estudos de caso derivados da implementação da ISO 14000); Sushouse Dos (Projeto CE); ICS (ANPA - CIRIS, Itália).

Quadro 6 – Ferramentas Estratégicas de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental (Fonte: TEATINO, 2002, p. 71).

2.4.2.3 Linhas Guias de Auxílio ao Projeto

As Linhas Guias são ferramentas transversais às outras duas vistas precedentemente, ou seja, incorporam elementos das ferramentas Focalizadas e das ferramentas Estratégicas no sentido de proporcionar a melhor visualização das oportunidades de minimização ou eliminação do impacto ambiental provocado pelos produtos, sendo que as mais conhecidas encontram-se listadas no quadro 7.

LINHAS GUIAS
<p>Environmental Performance Indicators (em Azzone, G., Defining Environmental Performance Indicator: an integrated framework, in Business Strategy and Environment, 1996, p. 69-80). Metrics and Target Ecodesign Navigator (desenvolvido por Electrolux metrix system); Design for Environment (Canadian Standards Association); ECODESIGN, a promising approach to sustainable production and consumption (UNEP); EcoReDesign kit; IVF handbook for environmentally compatible electronic products (IVF, Suécia); Linee guida per lo sviluppo di prodotti sostenibili-requisiti ambientali dei prodotti industriali (Manzini, E.; Vezzoli, C.); Life Cycle Design Guidelines (MMU Design for Environment Research Group); Philips Green Pages (Philips); EcoDesign Tools & Systems (Manchester Metropolitan University, Reino Unido); EcoDesign Navigator (Manchester Metropolitan University, Reino Unido); Ecodesign pilot (Institute for Engineering Design, Vienna University Technology).</p>

Quadro 7 – Linhas Guias de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental (Fonte: TEATINO, 2002, p. 72).

2.5 Conclusões do Capítulo

O tema do desenvolvimento sustentável está estreitamente ligado ao desenvolvimento de produtos ou serviços sustentáveis e à adoção de novos estilos de vida, uma vez que a mudança nos padrões atuais de consumo e produção é fator determinante para a humanidade continuar seu processo de evolução sem que as futuras gerações tenham a satisfação de suas necessidades comprometida.

Neste processo, o designer desempenha ações fundamentais no sentido propor oportunidades que tornem praticável este novo estilo de vida, mas também na difusão de soluções ambientalmente criativas e eficazes, assim como, economicamente viáveis, tecnicamente possíveis e culturalmente aceitáveis.

Desta forma, a integração de requisitos ambientais no projeto de produtos deve ser afrontado como um parâmetro de otimização dentro do processo habitual de desenvolvimento das empresas, ou seja, como uma variação da metodologia de projeto existente no sentido de facilitar a adoção desta abordagem pelas empresas, sendo que alguns princípios genéricos devem ser observados pelo designer ou

equipe de desenvolvimento de produtos preservando, também, sua natureza de reavaliação contínua de resultados:

- Considerar os aspectos ambientais já nas fases iniciais do processo de design e desenvolvimento para aumentar o potencial de melhoras ambientais;
- Considerar os requisitos ambientais juntamente com os aspectos tradicionais de projeto, tais como requisitos de prestação de serviço, tecnológicos, econômicos, culturais, estéticos, etc;
- Considerar todos os aspectos e impactos ambientais relevantes como forma de garantir que a redução de um impacto não resulte no aumento de outro;
- Buscar as melhores soluções em relação a objetivos pré-estabelecidos;
- Utilizar a metodologia do Design do Ciclo de Vida como forma de assegurar que toda a amplitude das implicações ambientais dos produtos seja considerada.

No sentido de tornar mais confiável e meticulosa esta atividade, bem como, de facilitar algumas tarefas difíceis e dispendiosas que devem ser realizadas no processo de integração dos requisitos ambientais no projeto de produtos, uma série de ferramentas de Design do Ciclo de Vida têm sido desenvolvidas por entidades empresariais, governamentais e de ensino em vários continentes.

Dentre estas ferramentas, são de especial interesse para a atividade do designer aquelas de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto, por fornecerem informações sobre a carga ambiental dos produtos em relação ao ciclo de vida e processos relacionados; e as ferramentas de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental, por fornecerem as estratégias de design ambiental possíveis, critérios para gestão das informações e suporte para as decisões que devem ser tomadas durante o processo de design e desenvolvimento.

Cada uma das ferramentas pertencentes a estas categorias apresenta características diferenciadas em relação aos objetivos, à complexidade da ferramenta, aos custos de obtenção e aplicação e ao tempo necessário para a

aplicação, sendo que a escolha da ferramenta adequada deve ser feita considerando-se as características da empresa, da equipe de projeto envolvida, do produto a ser analisado, da fase do ciclo de vida em que se pretende atuar e em relação aos objetivos de melhora ambiental pretendidos.

3. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO E DAS TÉCNICAS UTILIZADAS

3.1 Introdução

Este procedimento foi desenvolvido a partir de duas ferramentas para o Design do Ciclo de Vida já existentes, de forma a garantir sua praticidade e aplicabilidade, resultando no desenvolvimento de uma terceira ferramenta inédita sob a forma de uma Lista de Verificação que irá atender às especificidades de um produto referência selecionado para análise, assegurando a efetividade dos resultados obtidos com a aplicação do mesmo.

Conforme visto anteriormente, existem quatro tipos de Instrumentos para o desenvolvimento de produtos ou serviços de baixo impacto ambiental, ou instrumentos para o Design do Ciclo de Vida, sendo que a combinação de apenas dois destes servirá aos propósitos da presente pesquisa, por se tratarem de ferramentas dirigidas para a atividade projetual, que são os instrumentos de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida e os instrumentos de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental.

Deve-se salientar que o mérito do estudo encontra-se no desenvolvimento de um procedimento flexível e adaptável às mais diversas estruturas de desenvolvimento de produtos a ser implementado pela figura do designer, ou seja, prescindindo da atuação de especialistas em meio-ambiente.

Tais características são buscadas através da combinação e seleção apropriada das duas ferramentas existentes citadas acima que, quando utilizadas isoladamente, irão solucionar apenas parte do problema encontrado para a integração dos requisitos ambientais no projeto de produtos, devido a seu caráter complementar.

Da mesma forma, no desenvolvimento de uma terceira ferramenta inédita e específica que forneça informações precisas para a equipe de projeto na melhora do desempenho ambiental do produto referência analisado e no desenvolvimento de

produtos similares que a empresa venha a produzir.

3.2 Caracterização do Procedimento Proposto

O presente estudo procura desenvolver um procedimento para integração dos requisitos ambientais no processo de projeto a ser implementado pela figura do designer industrial, através do uso de ferramentas para o Design do Ciclo de Vida, quando não existirem informações disponíveis sobre os danos ambientais provocados pelos produtos da organização no início do processo de projeto.

Mesmo não existindo dados estatísticos sobre o número de empresas que desenvolvam produtos a partir de uma abordagem ambiental de projeto, presume-se que este número seja bastante reduzido considerando que apenas 350 empresas brasileiras tenham implementado um sistema de Gestão Ambiental ISO 14001 (INMETRO, 2004). Conclui-se, portanto, que esta seja a realidade predominante na indústria nacional, inclusive nos setores voltados à exportação.

Procurou-se desta forma, e neste contexto específico, selecionar uma ferramenta para a Análise e Avaliação do Ciclo de Vida de um produto referência que irá apontar a carga ambiental provocada por este em cada uma das fases do seu ciclo de vida e processos associados.

Esta primeira etapa do procedimento é fundamental uma vez que somente a partir da obtenção e análise destes dados é que o designer poderá assumir qualquer comprometimento em relação à criação ou re-design de um produto que provoque menos impacto ambiental.

Conhecer o impacto de materiais e processos tipicamente usados em um específico setor industrial é um fator chave para permitir que empresas melhorem seus produtos de uma perspectiva ambiental e desta forma, procedam à entrada no mercado de produtos ecológicos ou verdes.

(BOVEA; VIDAL, 2004, p. 111).

Segundo Nielsen e Wenzel (2002, p. 248), um produto existente pode ser representativo para uma análise na medida em que o novo produto for uma

modificação do existente, ao passo que produtos totalmente novos, que não possuam semelhanças com os existentes, deverão utilizar para análise um produto fictício.

Assim, este produto referência deve ser selecionado a partir de considerações estratégicas da empresa como, por exemplo, o número de vendas de determinado produto ou linha de produtos, as atividades da concorrência, necessidades expressas pelos usuários ou clientes, atividades dos fornecedores, surgimento de legislações, etc.

Como resultado da análise dos dados obtidos nesta primeira etapa, serão determinadas prioridades para atuação do designer no sentido de evitar ou minimizar os impactos ambientais mais significativos provocados pelo produto em relação a cada uma das fases do seu ciclo de vida, materiais e processos mais danosos.

Porém, a simples identificação do nível de impacto ambiental provocado pelo produto referência e das fases ou processos onde este ocorre apenas nos apontam os problemas a serem solucionados no momento do desenvolvimento, não os caminhos para se chegar à solução destes problemas, constatando-se, assim, a limitação da primeira ferramenta quando utilizada isoladamente.

Desta forma, a segunda etapa do procedimento prevê a utilização de um instrumento de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental com o objetivo de identificar estratégias ambientais de projeto que minimizem ou evitem os danos ambientais detectados pela aplicação da ferramenta anterior.

O confronto entre esta segunda ferramenta com as prioridades para atuação do designer determinadas na primeira fase, ou seja, com os objetivos de melhora pretendidos pelo projeto, irá resultar na definição do melhor conjunto de alternativas ambientais de projeto no sentido de proporcionar as melhoras necessárias no desempenho ambiental do produto estudado.

As limitações das ferramentas de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental encontram-se, principalmente, no fato de poderem provocar a transferência dos impactos ambientais de uma fase do ciclo de vida do produto para outra quando utilizadas isoladamente, ou seja, elas só produzem

resultados satisfatórios em termos de diminuição da carga ambiental total dos produtos quando utilizadas pontualmente em relação a objetivos pré-estabelecidos por uma ferramenta da Análise e Avaliação do Ciclo de Vida.

Na terceira etapa do procedimento, a análise do resultado obtido com a segunda ferramenta, ou seja, do melhor conjunto de alternativas de projeto, irá possibilitar o desenvolvimento de uma Lista de Verificação específica para a melhora das prestações ambientais do produto estudado ou para auxílio ao designer no processo decisório quando desenvolvendo outros produtos similares para a organização.

Assim, como resultado desta terceira etapa, o procedimento proposto pretende desenvolver uma ferramenta para verificação e inclusão dos requisitos ambientais no processo de projeto que disponibilize informações precisas para a equipe de desenvolvimento no decorrer das várias fases do processo, servindo como agente difusor de competência ambiental aos demais atores envolvidos, bem como para difusão dos objetivos de melhora ambiental a serem perseguidos pela organização como um todo.

Conforme observado nos capítulos anteriores, o desenvolvimento de ferramentas *ad hoc* que satisfaçam às necessidades específicas das organizações, além de ser uma das principais atribuições do designer industrial com aptidões ambientais, é fundamental para assegurar a efetividade dos resultados alcançados no processo de integração dos requisitos ambientais no projeto de produtos.

A figura 3, a seguir, apresenta a caracterização do procedimento, especificando as etapas a serem seguidas com seus respectivos objetivos e resultados pretendidos com a aplicação das ferramentas que serão exploradas a seguir.

CARACTERIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO E SUAS FERRAMENTAS			
	ETAPAS	OBJETIVOS	RESULTADOS
FERRAMENTAS EXISTENTES	Ferramenta de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto	Identificação das fases e/ou processos do ciclo de vida onde ocorrem os danos ambientais mais significativos provocados pelo produto referência	Determinar prioridades para atuação do designer
	Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos ou Serviços de Baixo Impacto Ambiental	Identificar estratégias ambientais de projeto para minimizar ou evitar os danos ambientais detectados pela ferramenta anterior	Definição do melhor conjunto de estratégias ambientais de projeto para o produto específico
NOVA FERRAMENTA	Lista de Verificação	Servir de apoio para a melhoria do desempenho ambiental do produto referência ou no desenvolvimento de outros produtos similares	Verificar e incluir os requisitos ambientais no desenvolvimento de projetos

Figura 3: Caracterização do procedimento por etapas, objetivos e resultados de cada fase.

3.3 Ferramenta de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto

Lewis *et al.* (2001, p. 32) afirmam que as ferramentas de Análise e Avaliação do Ciclo de Vida de produtos devem ser selecionadas de acordo com as metas, os objetivos e o orçamento de cada projeto. Assim sendo, será detalhado o processo de seleção da ferramenta utilizada nesta primeira etapa do presente procedimento, bem como descritas suas principais características e limitações, para melhor entendimento da mesma.

3.3.1 Análise do Ciclo de Vida Simplificada

Segundo os autores Manzini e Vezzoli (2002, p. 317), a realização de uma ACV simplificada é indicada para identificação de impactos quando se tornar inviável a realização de uma ACV completa, seja por motivo de custo ou tempo disponível para sua realização, seja quando da impossibilidade em contar com especialistas ambientais para tanto.

Também Lewis *et al.* (2001, p. 47) esclarecem que a ACV simplificada é indicada quando os objetivos da análise forem: a identificação das fases do ciclo de vida do produto onde ocorrem os maiores impactos ambientais, bem como a determinação de prioridades às quais o processo de design deverá dedicar maiores esforços no sentido de minimizar os danos provocados ao meio-ambiente.

Conforme afirmado no capítulo anterior de revisão da literatura, existem diversas ferramentas disponíveis para a realização de ACVs simplificadas que podem ser utilizadas pela figura do designer com as mais diversas finalidades, que vão desde a identificação das fases e dos processos de maior impacto em produtos existentes, até a comparação do desempenho ambiental de possíveis alternativas de projeto ou comparações internas realizadas com produtos de concorrentes.

Considerando os critérios estabelecidos no capítulo introdutório para a seleção de ferramentas, e segundo classificação de desempenho de ferramentas para a realização de ACVs simplificadas apresentada por Lewis *et al.* (2001, p. 53), apresentada a seguir no Quadro 8, foi escolhido o programa computacional ECO-it 1.3 como sendo a ferramenta mais adequada para a finalidade deste trabalho, uma vez que ele apresenta a melhor relação entre os aspectos de confiabilidade e clareza dos dados obtidos, simplicidade de utilização, custo de obtenção e aplicação do programa e tempo necessário para a realização da análise.

Lewis *et al.* apresentam a seguinte classificação, apresentada no quadro 8, da ferramenta com suporte computacional ECO-it 1.3, sendo que uma estrela representa uma classificação muito ruim e cinco estrelas representam uma classificação excelente, segundo critérios de custo, simplicidade e eficácia da ferramenta:

PONTUAÇÃO TOTAL	
Custo	★ ★ ★ ●
Simplicidade	★ ★ ★
Eficácia	★ ★ ★ ★

● Custo inicial do programa pode ser alto; contudo, o custo de utilização é baixo.

Quadro 8: Classificação do programa ECO-it adaptada de Lewis *et al.* (2001, p. 53).

Cabe esclarecer que esta é uma ferramenta simples de Design do Ciclo de Vida que trabalha apoiada em eco-indicadores que, segundo Goedkoop (2001, p. 2), “...são valores simples que expressam a seriedade da carga ambiental de um processo ou material. Quanto mais alta a pontuação, mais sério o impacto.” Estes eco-indicadores indicam o impacto ambiental total de um material ou processo baseado em dados de uma ACV completa e foram previamente calculados através do método Eco-Indicator 99 formando um banco de dados com 100 materiais e processos comuns para designers (LEWIS *et al.* 2001, p. 56).

Desta forma, pode-se estabelecer a seguinte estrutura para a Ferramenta de Análise e Avaliação do ciclo de vida, ilustrada pela figura 4, selecionada para identificação e análise do impacto ambiental provocado pelo produto referência:

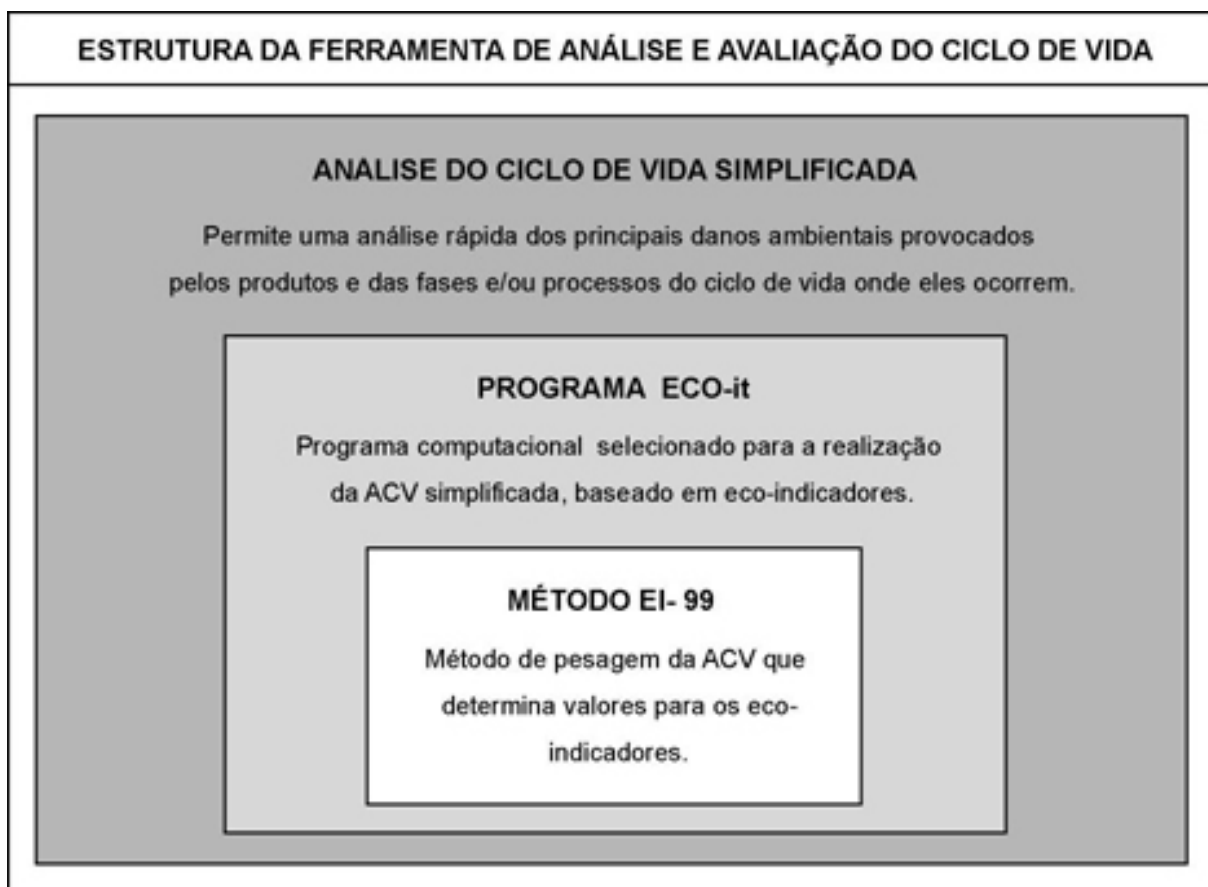


Figura 4: Estrutura da ferramenta de Análise e Avaliação do ciclo de vida selecionada para o procedimento.

As duas subdivisões seguintes do presente capítulo vêm caracterizar, respectivamente, a ferramenta computacional selecionada para esta primeira fase de identificação das fases e/ou processos do ciclo de vida do produto referência onde acontecem os danos ambientais mais significativos, bem como, o método utilizado para cálculo dos valores dos indicadores que considera os seguintes aspectos: produção de materiais, processos de produção, processos de transporte, processos de geração de energia e cenários de descarte.

3.3.1.1 Programa Eco-it

Produzido pela empresa holandesa Pré Consultants, o programa ECO-it é, basicamente, a versão computadorizada do método Eco-Indicator 99 (TEATINO,

2002, p. 407), que é atualmente o método mais utilizado na Europa para a fase de avaliação da ACV, e que foi desenvolvido em colaboração com o governo holandês, a Universidade de Leiden (Holanda) e outras empresas privadas (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 299).

Esta ferramenta é focada especificamente no design de produtos, não requer conhecimentos anteriores sobre a ACV e permite uma análise bastante realista sobre os impactos ambientais provocados pelos produtos, apesar de possuir algumas limitações, como um banco de dados reduzido e dificuldade de especificação de novos inventários para expansão deste banco de dados (LEWIS *et al.*, 2001).

Sua estrutura básica compõe-se de quatro páginas onde se descreve o ciclo de vida do produto e onde os resultados vão sendo apresentados sob a forma de simples pontos indicadores da carga ambiental, simultaneamente à entrada dos tipos e quantidades de materiais empregados, processos de produção, processos de transporte, processos de geração de energia e cenários de descarte do produto estudado, referentes aos cinco indicadores utilizados.

Segundo o Manual do Usuário do programa, a pontuação obtida com a entrada dos dados sobre o produto referência irá permitir a definição de qual fase do ciclo de vida do produto é mais importante em termos de geração de danos ambientais, bem como a identificação de qual parte do produto, material ou processo deverá ser alvo da atenção e criatividade do designer na busca de soluções que visem a minimização de impactos ambientais (GOEDKOOOP, 2001, p. 10).

3.3.1.2 Método Eco-Indicator 99 (EI-99)

A EI-99 é uma metodologia de cálculo de valores para eco-indicadores, especialmente desenvolvida para produtos, que originou um banco de dados incorporado por diversos programas computacionais como banco de dados padrão, uma vez que permite "...agregar os resultados de uma ACV em números ou unidades facilmente compreensíveis e amigáveis" facilitando, conseqüentemente, a

compreensão e utilização dos resultados totais das análises no projeto. (GOEDKOOOP; EFFTING; COLLIGNON, 2000, prefácio).

Segundo Goedkoop, Effting e Collignon (2000, prefácio) o método Eco-indicator 99 está baseado na “abordagem função-dano que apresenta a relação entre o impacto e o dano à saúde humana ou ecossistema”, agrupando, assim, os danos às três categorias que seguem:

- a. Danos à saúde humana: esta categoria de danos considera as doenças provocadas aos seres humanos e as perdas em anos de vida provocadas por causas ambientais através dos efeitos das mudanças climáticas, da redução da camada de ozônio, por efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios e efeitos da radiação;
- b. Danos à qualidade do ecossistema: aqui são consideradas as perdas na diversidade das espécies, devidas aos efeitos das toxinas, da acidificação, da eutrofia e do uso da terra;
- c. Dano aos recursos: esta categoria de danos inclui a quantidade a mais de energia que será necessária para a futura obtenção de minerais e combustíveis fósseis. A exaustão do solo e de recursos, como areia e cascalho, é considerada como efeitos do uso da terra.

Uma análise mais atenta poderia sugerir a inclusão de outras categorias de danos, bem como, de outros efeitos ambientais, hoje não considerados, como os efeitos provocados pela poluição sonora, pela contaminação por metais pesados, pelo efeito estufa e pelo uso de fosfatos. Porém, este aspecto não poderia ser considerado uma limitação deste método de cálculo, uma vez que este é considerado o de maior eficiência desenvolvido até o presente momento, sendo amplamente utilizado pela comunidade científica internacional.

Quando Lewis *et al.* (2001, p. 56) abordam a metodologia EI-99, afirmam tratar-se de uma metodologia que realiza a avaliação do dano de trás para frente, já que calcula o valor do indicador em relação ao destino final do dano, ou seja, em relação onde, provavelmente, as emissões irão provocar impactos dentre as três categorias apresentadas acima. Outras metodologias de cálculo, tradicionalmente, expressam os danos em relação aos efeitos provocados pelas emissões e extrações

de recursos, ou seja, efeitos como a acidificação, destruição da camada de ozônio, etc., tornando difícil a atribuição de pesos lógicos relativos à seriedade de impactos tão numerosos e abstratos.

O modelo EI-99, então, analisa o caminho percorrido pelo dano da seguinte maneira: partindo da realização de um inventário com o fluxo de todas as emissões relevantes, extrações de recursos e processos de uso da terra, passando pelo cálculo dos danos que estes fluxos irão causar em relação à sensibilidade do ambiente de seu destino final, realizado através de um modelo de danos, até a sua chegada nas três categorias de danos previstas. Os danos são finalmente pesados, resultando no valor do indicador.

Este procedimento geral de cálculo de eco-indicadores está representado esquematicamente na figura 5.

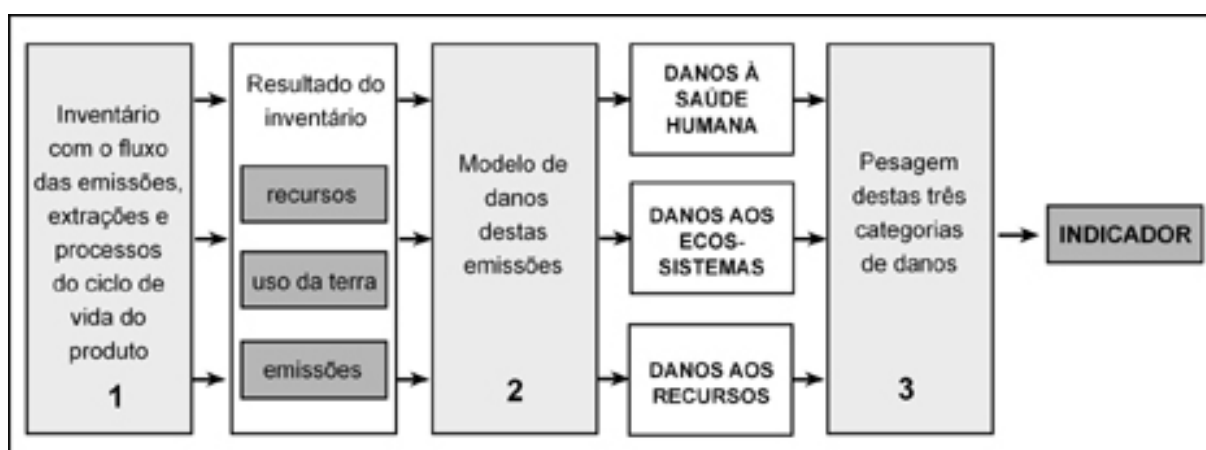


Figura 5: Procedimento geral para cálculo de eco-indicadores. Os retângulos claros referem-se a procedimentos, enquanto os retângulos escuros referem-se a resultados (adaptado de Goedkoop; Effting; Collignon, 2000).

Sendo o passo da atribuição de pesos aos danos o mais crítico e controverso do processo, os autores do método assumiram a posição de que os danos provocados à saúde humana e à qualidade do ecossistema são considerados de igual importância, enquanto os danos aos recursos possuem a metade da importância dos anteriores (GOEDKOOP; EFFTING; COLLIGNON, 2000, p. 16).

Outro esclarecimento relativo ao método EI-99 fundamental para a correta entrada dos danos nas planilhas do programa ECO-it diz respeito aos indicadores

utilizados pelo método, que estão disponíveis para os seguintes aspectos:

- a. Produção de Materiais: nos indicadores de produção de material todos os processos estão incluídos, desde a extração da matéria-prima até o último estágio de produção, resultando no produto a granel, incluindo o transporte até o final da cadeia produtiva. Não estão incluídos bens de capital para a transformação da matéria-prima como máquinas e equipamentos;
- b. Processos de Produção: calcula as emissões do processo em si e as emissões do processo de geração de energia necessária;
- c. Processos de Transporte: inclui os aspectos de emissão causada pela extração e produção de combustível e a geração de energia do combustível durante o transporte. É assumida uma eficiência de carga para as condições médias europeias e estão incluídos bens de capital como estradas, caminhões e manutenção de aviões de carga;
- d. Processos de Geração de Energia: o indicador de energia refere-se à extração e produção de combustíveis e à conversão de energia e geração de eletricidade. Foram presumidos uma eficiência média e o uso de alta voltagem para processos industriais, sendo que as diferenças entre valores apresentadas para diferentes países são relativas às diferenças entre as tecnologias usadas para a produção de energia de baixa voltagem;
- e. Cenários de Descarte: são utilizados padrões médios europeus relativos às práticas de coleta de lixo e descarte de produtos, sendo que deve ser efetuada uma avaliação cuidadosa da situação que pareça mais realista para o produto que está sendo analisado. Contudo, deve-se também considerar que os cenários previstos para o descarte dos produtos foram construídos sobre plantas de grande eficiência, possibilitando, por exemplo, a recuperação de conteúdo energético de materiais incinerados e a filtragem das emissões no ar decorrentes do processo. O programa define da seguinte maneira os 5 diferentes cenários de descarte disponíveis:

1. Lixo doméstico: este tipo de cenário de descarte

considera que parte do lixo residencial, como papéis, vidros e materiais orgânicos, seja separado e depositado em lixeiras especiais destinadas à reciclagem ou compostagem dos materiais. Também considera que uma quantidade de materiais não-separados seja recolhida pelo sistema municipal de coleta de lixo.

2. Lixo municipal: considera-se que uma parte do material recolhido pelo sistema municipal de coleta seja depositada em aterros sanitários e outra parte seja incinerada. Está incluída no cálculo uma fase de transporte em caminhões de lixo.
3. Incineração: considera-se que exista uma recuperação do conteúdo energético de materiais através da geração de eletricidade e que as substâncias tóxicas produzidas na queima seja controladas.
4. Aterros sanitários: considera-se uma planta de alta eficiência, onde existam poucas contaminações externas.
5. Reciclagem: uma vez que os processos de reciclagem podem causar impactos ambientais como qualquer outro processo, esta carga é calculada em conjunto com os ganhos ambientais ocasionados pela geração de materiais reutilizáveis. Estes valores são considerados de grande incerteza, conseqüentemente.

3.3.1.3 Considerações sobre o Uso do Eco-it

A utilização do programa Eco-it, baseado em eco-indicadores, para a realização de uma Análise de Impacto Ambiental traz a vantagem, segundo Strobel (inédito), de oferecer um resultado quantitativo padronizado, uma vez que a fase subjetiva da análise foi previamente calculada através do método EI-99, conforme visto anteriormente. Assim, qualquer pessoa que realize a mesma análise, utilizando-se dos mesmos critérios e estimativas, chegará exatamente aos mesmos resultados.

Contudo, os indicadores apresentados no banco de dados padrão do programa foram desenvolvidos a partir da realidade europeia, ou seja, a partir de dados provenientes de diferentes matrizes energéticas e diferentes cenários de extração e descarte de materiais, dentre outros.

Apesar do valor absoluto dos pontos não ser determinante, uma vez que o propósito principal da análise é a identificação das fases e processos de maior impacto ambiental para posterior atuação do designer no sentido de minimizar estes impactos, ou mesmo, a realização de uma comparação relativa entre produtos e componentes, o ideal seria o desenvolvimento e disponibilização ampla de um banco de dados nacional, calculado com base na realidade brasileira a partir da matriz energética e eficiência média locais.

3.4 Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental

Para uma eficaz introdução de requisitos ambientais no processo de projeto de produtos, as Ferramentas de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental “...devem ser selecionadas com base em uma análise do impacto ambiental e uma ampla análise do produto e de seu mercado.” (LEWIS *et al.*, 2001, p. 61).

Com base nesta afirmação, foi determinado que a segunda ferramenta utilizada no presente procedimento deveria possuir flexibilidade e adaptabilidade bastantes para permitir a contemplação de todos os requisitos de projeto do produto

avaliado, sendo que outros requisitos típicos de um projeto de produto, como funcionalidade, desempenho, segurança, custos, expectativas do mercado, qualidade, requisitos culturais e estéticos, requisitos legais, etc, além dos aspectos ambientais, também devem ser considerados pelo designer no momento do projeto.

Além disso, a ferramenta só irá cumprir sua finalidade se apresentar alternativas de design que solucionem ou amenizem os problemas ambientais provocados pelo produto referência analisado onde quer que estes problemas sejam detectados, ou seja, em qualquer uma das fases do seu ciclo de vida. É do confronto entre as prioridades de melhora ambientais, indicadas pela primeira ferramenta, e as opções estratégicas apresentadas pela segunda ferramenta, que poderá ser definido o melhor conjunto de estratégias ambientais de projeto para o produto estudado, bem como, poderá ser formatada a terceira ferramenta utilizada no procedimento.

3.4.1 Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis

Devido às características holísticas necessárias à segunda ferramenta, as Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis propostas por Manzini e Vezzoli (2002) foram selecionadas por serem as mais adequadas para a segunda fase do procedimento, já que incorporam uma série de instrumentos de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental fundamentais para a total visualização das melhores oportunidades de desenvolvimento.

As Linhas Guias, conforme esclarece o capítulo dois do presente trabalho, foram concebidas sobre seis estratégias ambientais de projeto que deverão ser avaliadas e combinadas, considerando-se os objetivos de melhora ambiental identificados na primeira etapa do procedimento, com a finalidade de sugerir soluções efetivas na criação ou re-design de um produto menos agressivo para o meio-ambiente, uma vez que Manzini e Vezzoli (2002, p. 109) afirmam ser “...improvável que uma única estratégia seja a melhor para satisfazer a todos os requisitos ambientais...”, e que “...por esta razão, devemos adotar um *set* de estratégias ambientais e de opções de projeto.”

Contudo, deve ser cautelosamente analisado o fato de que, apesar da possibilidade de surgir um conjunto de estratégias sinérgicas, neste processo poderá surgir, também, um conjunto de estratégias ambientais conflitantes, sendo necessário estabelecer prioridades em relação aos objetivos para a escolha do melhor conjunto de estratégias (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 109).

Por exemplo, a utilização de polímeros reciclados (de menor impacto) entra em conflito com a estratégia de redução da quantidade e peso dos materiais, uma vez que um componente em material reciclado não apresenta as mesmas características de resistência de um material virgem e necessitaria de maior espessura para oferecer as mesmas prestações, aumentando assim seu peso e quantidade de material utilizados.

A seguir, serão introduzidas as Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, desenvolvidas de acordo com as estratégias de minimização dos recursos, escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental, otimização da vida dos produtos, extensão da vida dos materiais, facilitação da desmontagem e oferta de um mix de produtos e serviços, propostas por Manzini e Vezzoli, sendo que os quadros com as indicações para execução de tais linhas guias encontram-se no Anexo 2.

3.4.1.1 Minimização dos Recursos

As Linhas Guias relativas à estratégia de minimização dos recursos são diferenciadas dependendo da fase do ciclo de vida considerada, e estão divididas entre as fases de produção, distribuição e uso.

Na fase de Produção, encontram-se as seguintes considerações:

- a. Minimizar o conteúdo material de um produto: para minimizar o conteúdo material de um produto devem ser consideradas suas funções em relação ao contexto social, cultural e econômico;

- b. Minimizar perdas e refugos: uma visão sistêmica de produto deve considerar, também, os materiais que são consumidos nas várias operações de transformação dos materiais em componentes;
- c. Minimizar o consumo de energia para produção: são intervenções que visam à otimização do consumo em todas as operações ligadas à produção, sendo que o designer pode intervir através da escolha de processos produtivos de baixo consumo energético;
- d. Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento dos produtos: deve haver uma busca permanente pela economia de energia e materiais, sendo que as tecnologias da informação e telecomunicação devem ser exploradas ao máximo, uma vez que permitem reduzir não só materiais como papéis, tintas, etc, mas também o deslocamento físico de pessoas e mercadorias.

Na fase de Distribuição, encontram-se as seguintes considerações:

- a. Minimizar as embalagens: as embalagens devem ser consideradas como tendo seu próprio ciclo de vida, e apesar de reduzidas em seu conteúdo material, devem continuar garantindo a integridade dos produtos nas várias fases de transporte e armazenagem;
- b. Minimizar os consumos no transporte: no projeto, deve-se considerar a capacidade máxima dos veículos utilizados para transporte e dos locais de armazenagem, minimizando os consumos por unidade transportada.

Finalmente para a fase do Uso do Produto, a consideração geral é a seguinte:

Minimizar os recursos utilizados por um produto, durante sua fase de uso, diz respeito a encontrar sistemas mais eficientes de consumo de materiais e de energia, principalmente em direção ao uso coletivo de bens e serviços.

3.4.1.2 Escolha de Recursos e Processos de Baixo Impacto Ambiental

As Linhas Guias para escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental referem-se à escolha de materiais, processos e recursos energéticos no projeto de produtos, e devem considerar os seguintes aspectos:

- a. Escolha dos materiais e processos de baixo impacto: as escolhas para minimizar a periculosidade das emissões ambientais devem avaliar os processos de produção e de transformação dos materiais, os sistemas de distribuição e uso, os tratamentos de eliminação final dos produtos, sendo que materiais só podem ser comparados em termos de nível de impacto ambiental que provocam se considerarmos o tipo de função que os produtos, não só os materiais, irão desempenhar;
- b. Escolha de recursos energéticos de baixo impacto: apesar da matriz energética ser estabelecida de acordo com uma política nacional, escolhas podem ser feitas no momento de projeto visando as melhores alternativas para todo o ciclo de vida do produto, uma vez que sustentabilidade quer dizer disponibilidade de recursos energéticos para as gerações futuras.

3.4.1.3 Otimização da Vida dos Produtos

Os autores definem vida útil como sendo o período de tempo no qual um produto ou seus materiais pode conservar as próprias capacidades em um nível padrão preestabelecido, em condições normais de uso, sendo que este período pode ser estendido através da utilização de duas estratégias: de aumento da durabilidade dos produtos ou intensificação do uso dos produtos (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Tais estratégias originaram as seguintes Linhas Guias:

- a. Projetar a durabilidade adequada: uma vez estabelecida a vida útil do produto, ela deveria ser igual à vida útil das suas partes;

- b. Projetar a segurança ou confiabilidade: este é um dos critérios mais significativos na avaliação da qualidade de um produto, sendo que características como o número de componentes, a sua confiabilidade e a garantia quanto à configuração do conjunto são características importantes ligadas a este conceito;
- c. Facilitar a atualização e a adaptabilidade: esta estratégia reduz o uso de recursos e a produção de lixos em setores caracterizados pela brevidade da vida de alguns produtos;
- d. Facilitar a manutenção: por manutenção entende-se o conjunto de atividades de prevenção e de ajustamentos, sendo que estes procedimentos são responsáveis por evitar os custos ambientais e econômicos de um conserto, bem como o impacto ambiental provocado tanto pela eliminação de um componente, quanto pela produção de um substitutivo;
- e. Facilitar o reparo: determinado, basicamente, pelo custo da mão de obra e das peças de reposição;
- f. Facilitar a reutilização: por reutilização entende-se o segundo uso de um produto ou de suas partes, sendo que as alterações necessárias na configuração original do produto devem resumir-se à limpeza, desmontagem e recondução de alguns componentes para os novos produtos;
- g. Facilitar a re-fabricação: a re-fabricação é um processo industrial de renovação de produtos estragados durante o seu uso, por meio do qual os produtos são postos em condições iguais às anteriores;
- h. Intensificar a utilização: implica em orientar o projeto para produtos multifuncionais que tenham componentes substituíveis em comum, ou ainda, para produtos de funções integradas, ou produtos de uso compartilhado ou coletivo.

3.4.1.4 Extensão da Vida dos Materiais

Estender a vida dos materiais quer dizer fazê-los viver mais do que os produtos que estes compõem, e pode ser realizado através de dois processos fundamentais que são o re-processamento e a reciclagem ou incineração. Estes processos evitam o impacto ambiental uma vez que evitam o despejo destes materiais no ambiente e o impacto da produção de novos materiais para abastecer o ciclo produtivo, de materiais e energia, uma vez que a energia pode ser recuperada no processo de incineração.

Esta estratégia ambiental de projeto é orientada pelas seguintes Linhas Guias:

- a. Adotar a reciclagem em efeito cascata: adotar uma abordagem com efeito cascata quer dizer projetar e planejar o uso dos materiais reciclados de forma que estes sejam aplicados de maneira seqüencial em produtos de qualidades cada vez mais inferiores até à exaustão da qualidade do material;
- b. Escolher materiais com tecnologias de reciclagem eficientes: escolher materiais facilmente recicláveis não quer dizer particularizar, somente, os materiais que são mais adequados a serem reciclados sob o perfil tecnológico, mas também os que apresentam características de, uma vez reciclados, apresentarem valor comercial;
- c. Facilitar a recolha e o transporte após o uso: avaliar todas as possibilidades tecnológicas e econômicas para projetar corretamente o fim da vida de um material, planejando os percursos da reciclagem e o uso dos materiais secundários;
- d. Identificar os materiais: para facilitar a seleção de materiais no processo de reciclagem, é ideal identificar os materiais existentes nos produtos mais complexos e os materiais com processos de reciclagem que não sejam perfeitamente estandardizados;
- e. Minimizar o número de materiais incompatíveis entre si: o processo de separação de materiais para reciclagem consome tempo e recursos, desta

forma, inclusive os elementos de junção devem ser pensados no sentido de facilitar este processo;

- f. Facilitar a limpeza: facilitar ou evitar as operações de limpeza para eliminação de contaminações adquiridas pelo contato com outros componentes ou derivadas de várias operações de tratamento de superfícies;
- g. Facilitar a combustão: a combustão deve ser praticada considerando o efeito cascata, e deve ser considerado o problema da toxicidade das fumaças durante a combustão de materiais nocivos e dos aditivos, sendo que os plásticos, a madeira, o papel e o cartão são materiais que facilitam a realização deste processo por necessitarem de pouca energia para efetuar a incineração;
- h. Facilitar a compostagem: os tipos de produto que mais se adaptam a este tipo de tratamento são aqueles caracterizados por serem muito suscetíveis à deterioração, sendo que materiais inorgânicos e os não biodegradáveis prejudicam a formação do composto.

3.4.1.5 Facilitando a Desmontagem

Esta estratégia tem estreita ligação com o tema do DFD, que visa conceber e projetar produtos facilitando sua desmontagem. Através da desmontagem econômica e ágil dos componentes de um produto, que propiciarão uma fácil manutenção, reparação, atualização e re-fabricação do produto, podemos detectar benefícios ambientais tanto entre as estratégias de extensão da vida dos produtos, quanto na extensão da vida dos materiais, até a possibilidade de tornar inertes os materiais tóxicos e danosos.

As seguintes Linhas Guias são observadas dentro desta estratégia:

- a. Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação: as indicações que devemos seguir dizem respeito à estrutura geral do produto, à forma de seus componentes e à forma e acessibilidade dos

elementos de junção. Também é importante fornecer informações sobre as formas de desmontagem quando esta não for praticada pelo fabricante do produto;

- b. Usar sistemas de junção removíveis: são aqueles que podem ser removidos e re-introduzidos sem que os componentes, ou a própria junção, sejam comprometidos ou estragados. Entre os tipos de junções removíveis podemos identificar as juntas de garras (*snap-fit*), os parafusos e cavilhas, e os insertos, sendo que para estes últimos devem ser previstas zonas de quebra para sua remoção;
- c. Quando usar sistemas de junção permanente, que estes sejam de fácil extração: devem ser usados apenas quando as opções removíveis forem impraticáveis;
- d. Prever tecnologias e equipamentos específicos para a desmontagem destrutiva: pode ser um método eficiente quando se deseja uma separação veloz de alguns materiais ou no caso de insertos incompatíveis com o material utilizado;
- e. Uso de materiais que possam ser facilmente separados após sua trituração: para o uso desta estratégia é fundamental conhecer as tecnologias necessárias para a separação dos materiais triturados;
- f. Uso de insertos metálicos que possam ser facilmente separados antes da trituração dos materiais: através do uso de tecnologias eficientes;

3.4.1.6 Oferta de um Mix Integrado de Produtos e Serviços

Apesar de fatores como a economia de recursos e a minimização das emissões na fase de uso, bem como a redução do lixo e dos tratamentos durante a eliminação dos produtos, não entrarem necessariamente nos objetivos da empresa, estes fatores devem ser considerados pelo designer no momento do projeto para a sustentabilidade ambiental.

Neste sentido surge um novo cenário caracterizado pela passagem de um sistema centralizado na oferta e consumo de produtos de forma individual, para outro cenário onde esta oferta se configure através de um mix de produtos/serviços geridos por terceiros e destinados ao uso coletivo.

Estes novos cenários podem ser seguidos através das Linhas Guias abaixo:

- a. Oferta de resultados: prevê a passagem da oferta de produtos à oferta de resultados, onde o produtor vende um serviço e continua sendo o proprietário do produto, como por exemplo, o comodato de aparelhos celulares por empresas fornecedoras de serviços telefônicos;
- b. Oferta de plataformas: neste cenário a empresa oferece um produto, instrumento ou ainda oportunidades (plataformas) que dão a possibilidade aos clientes de obterem os seus serviços, como por exemplo, o leasing, a divisão ou aluguel.

3.5 Lista de Verificação

Teatino (2002, p. 320) ilustra que, a partir de Linhas Guias desenvolvidas *ad hoc* para projetos específicos, podem ser construídas Listas de Verificação simplesmente transformando-as em perguntas, que se tornariam, desta forma, instrumentos de verificação da severidade ambiental, instrumentos de apoio ao projeto integrável nas demais fases do processo projetual, instrumentos operacionais que visam transmitir competência ambiental aos outros atores envolvidos no processo de projeto ou plataforma compartilhada em rede por outras empresas do mesmo setor.

Lewis *et al.* (2001, p. 16) esclarecem que, apesar da existência de metodologias complexas, "...a realidade é que muitas melhoras ambientais significativas podem ser realizadas através do uso de listas de verificação básicas", uma vez que o designer não deve ser confundido com um especialista em meio-ambiente.

Desta forma, com base no melhor conjunto de estratégias ambientais de

projeto, determinado através da segunda ferramenta do procedimento proposto, será desenvolvida uma Lista de Verificação específica para atender às características do produto referência estudado e seus respectivos objetivos de melhora ambiental estabelecidos na primeira etapa do modelo.

Cumprido esclarecer que a terceira ferramenta é fundamental para se atingir o Objetivo Geral do presente estudo, uma vez que irá possibilitar a verificação e inclusão de requisitos ambientais no desenvolvimento de novos produtos ambientalmente mais eficientes, fornecendo informações precisas para o designer industrial com atribuições ambientais.

3.6 Descrição de Aplicação das Etapas do Procedimento

Como o objetivo de verificar a aplicabilidade do procedimento proposto, o capítulo quatro irá descrever um estudo de caso em ambiente empresarial, que deverá seguir as etapas de implementação descritas a seguir.

3.6.1 Etapa 1: Aplicação da Ferramenta de Análise de Impacto

Com o objetivo de assegurar melhores resultados com a utilização da primeira ferramenta, as seguintes etapas que se encontram no Manual do Usuário (GOEDKOOOP, 2004) do programa ECO-it, devem ser obedecidas conforme explanado a seguir:

- a. Estabelecer o Objetivo do Cálculo: nesta etapa descreve-se o produto ou componente a ser analisado, define-se quando a análise será de apenas um produto ou uma comparação entre vários produtos e determinaremos o nível de precisão requerido pela análise. Como primeira análise, é suficiente estabelecer uma análise global do desempenho do produto, sendo que uma análise mais detalhada poderá ser feita em um segundo

momento, para a comparação detalhada das alternativas de projeto sugeridas durante o processo;

- b. Definir o ciclo de vida: esquematiza-se o ciclo de vida do produto, ou produtos, com igual atenção às fases de produção, uso e descarte, sendo que deve ser realizada uma análise detalhada do desempenho do produto e dos possíveis cenários de descarte, envolvendo estimativas quando necessário;
- c. Quantificar Materiais e Processos: nesta fase determina-se uma unidade funcional, quantificam-se todos os processos relevantes do gráfico anterior e fazem-se estimativas sobre dados faltantes. Como unidade funcional entende-se uma descrição do produto, do seu ciclo de vida e do desempenho esperado;
- d. Entrada dos Dados: definem-se os componentes, os processos utilizados e as quantidades de matérias-primas e energia utilizadas, incluindo as fases de transporte e os ciclos de vida adicionais, se necessário (embalagens ou componentes que entram na análise);
- e. Interpretação dos Resultados: neste ponto realiza-se a associação das conclusões provisórias com os resultados, a verificação do efeito das estimativas e incertezas, a revisão das conclusões, se apropriado, e a verificação se o propósito do cálculo foi atingido.

3.6.2 Etapa 2: Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental

Esta etapa prevê o confronto do resultado obtido com a análise da carga ambiental realizada pela primeira ferramenta, com estratégias ambientais de projeto da segunda ferramenta, a fim de determinar o melhor conjunto de estratégias para a melhora do desempenho ambiental do produto referência, ou unidade funcional, selecionado. Os resultados encontrados nesta fase do procedimento irão servir para o desenvolvimento da Lista de Verificação da terceira etapa.

3.6.3 Etapa 3: Formatação da Lista de Verificação

Nesta etapa será formatada a terceira ferramenta a partir das estratégias selecionadas na fase anterior, transformando-se tais estratégias em perguntas que deverão guiar o designer no momento de projeto.

Conforme afirmado na Introdução do presente capítulo, esta ferramenta fornecerá, além de um guia para a inclusão e verificação dos requisitos ambientais no processo de projeto, também uma ferramenta para a difusão dos objetivos de melhora ambiental, que deverão ser seguidos pela empresa como um todo, uma vez que o sucesso em termos de diminuição da carga ambiental dos produtos depende do comprometimento de vários atores envolvidos, tais como fornecedores, funcionários, gerência da empresa, etc.

3.7 Ambientes para Aplicação do Procedimento

O presente procedimento pode ser aplicado ao projeto de qualquer produto ou serviço existente, mas idealmente no estágio de conceito, antes que qualquer decisão tenha sido tomada, uma vez que este fator amplia as possibilidades de sucesso nos resultados.

O processo de desenvolvimento de produtos varia muito de acordo com as características estruturais da empresa, desta forma, este procedimento visa integrar os requisitos ambientais no processo habitual de projeto de um designer, esteja ele exercendo suas funções como membro de uma equipe multidisciplinar, nas fases de planejamento e design conceitual, seja como agente responsável pela inovação ambiental, que propõe a abordagem ambiental no interior de uma empresa onde a fase de planejamento, design conceitual e detalhado não possuam distinções claras e tarefas específicas.

4. ESTUDO DE CASO

O presente capítulo tem por objetivo descrever e analisar a prática do procedimento proposto, realizada no sentido de verificar sua aplicabilidade na integração dos requisitos ambientais no processo de projeto de produtos através do uso de ferramentas para o Design do Ciclo de Vida, bem como, indicar e interpretar os resultados obtidos no contexto da indústria de móveis em Pinus selecionada, salientando os aspectos positivos de cada ferramenta e os pontos menos favoráveis identificados na aplicação das mesmas.

Para tanto, inicialmente serão caracterizados a organização objeto de estudo, o produto referência selecionado para realização da análise de impacto ambiental e o departamento de desenvolvimento de projeto da mesma.

4.1 Caracterização da Organização Selecionada

Fundada em 1984, a organização selecionada para a realização do presente estudo de caso é uma das maiores fabricantes de camas e beliches em Pinus do país, apresentando uma capacidade produtiva de 2.300 m³/mês, duas unidades fabris e uma área própria de reflorestamento.

A unidade fabril localizada na serra catarinense, com 130 funcionários, é responsável pela transformação das tábuas de madeira maciça em componentes, de acordo com tamanhos e especificações próprios para a entrada em linha de produção na unidade matriz. Para tanto, realiza a secagem, corte, colagem e demais tratamentos necessários à madeira bruta.

A matriz, que se localiza em município da grande Florianópolis (SC), possui 250 funcionários responsáveis pelas linhas de produção, embalagem e expedição, sendo que nesta unidade também se encontra o departamento de projeto de produtos e demais setores administrativos da empresa.

Esta organização foi selecionada por destinar 100% de sua produção para a

exportação e por apresentar grande preocupação com os aspectos ambientais de seus produtos, matérias-primas e processos produtivos, apesar de não possuir um sistema de Gestão Ambiental certificado segundo as normas ISO.

Contudo, no sentido de expandir sua atuação global e atender aos requisitos impostos pelos mercados pretendidos, a empresa obteve diversas certificações, entre elas a FSC, certificação ambiental internacional cujo selo atesta o seguinte:

...a madeira (ou outro insumo florestal) utilizada num produto é oriunda de uma floresta manejada de forma ecologicamente adequada, socialmente justa e economicamente viável, e no cumprimento de todas as leis vigentes.

(CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL, 2004).

Também no sentido de viabilizar sua entrada em mercados internacionais, a empresa obteve certificações que atestam que os seus produtos estão de acordo com os relatórios das normas técnicas de países onde atua, tais como ASTM-1427, EN-747 e EN-1725, referentes à produção de camas e beliches.

4.1.1 Linha de Produtos

A linha de produtos da organização compreende desde camas e beliches, até inteiros dormitórios produzidos sempre com madeira de Pinus, nos estilos tradicional, contemporâneo ou a partir de desenho exclusivo sugerido pelo cliente.

Todos os produtos podem ser produzidos de acordo com especificações de tamanho americanas ou européias e em diversas cores, obtidas a partir de vernizes livres de formaldeídos, ou seja, que não apresentam emissões tóxicas durante a fase de uso do produto.

Na maior parte dos produtos, o processo de embalagem utiliza caixas de papelão ondulado reciclado, salvo especificação contrária do cliente, e todos os produtos são parcialmente desmontáveis, buscando utilizar o menor espaço possível na fase de transporte.

Todos os fornecedores das ferragens utilizadas nos produtos da empresa, bem como das peças em madeira que devem ser terceirizadas, se encontram em estados vizinhos.

4.1.2 Mercado de Atuação

Desde 1993, esta organização oferece seus produtos exclusivamente para o mercado externo, possuindo atuação comercial em diversos países da Comunidade Européia, das Américas, bem como, na Austrália e China.

4.1.3 Considerações Estratégicas

Outro fator determinante para a escolha da organização apresentada neste capítulo foi o interesse demonstrado pela mesma no sentido de incrementar o desenvolvimento de produtos pela equipe interna com design próprio e exclusivo, sendo que o diferencial ambiental, já perseguido pela empresa, representaria uma oportunidade em direção à penetração em novos mercados.

Desta forma, o procedimento proposto vem suprir uma carência expressa pela organização uma vez que permite localizar os danos ambientais provocados por seus produtos e sugerindo, através das ferramentas utilizadas pelo procedimento, as melhores oportunidades para o desenvolvimento de produtos com elevadas prestações ambientais.

4.2 Caracterização do Produto Objeto de Estudo

O produto referência foi selecionado por representar um produto típico da

organização devido à suas características produtivas e comerciais, ao seu processo de desenvolvimento e emprego de matérias-primas e recursos.

O beliche denominado B-73, para efeitos deste trabalho, foi desenvolvido para uma grande rede de lojas americana de acordo com especificações de projeto fornecidas pelo próprio cliente, apresentando uma previsão de comercialização de 6 a 8 meses, sendo substituído por outro modelo após este período.

A partir das especificações fornecidas pelo comprador, o produto foi adaptado pela equipe de projeto da empresa para obedecer a critérios locais de produção e viabilizar custos estimados do produto.

No caso do produto referência B-73, a embalagem utilizada é uma caixa única que irá acompanhar o produto desde seu acondicionamento na saída da linha de produção, transporte terrestre e marítimo até o país de destino, passando pela exposição do produto no ponto-de-venda, até a sua proteção no transporte final, ou seja, para a residência do consumidor, quando será finalmente descartada. Porém, a caixa em questão não contempla o uso de papelão reciclado.

Assim, depois de acondicionados em embalagens individuais e etiquetados, os produtos são transferidos para *containers* com capacidade para 20.000 kg e seguem em caminhões para o porto de Itajaí, que se encontra a cerca de 200 km da fábrica, de onde serão expedidos para o destino final, neste caso, para os Estados Unidos da América.

4.3 Caracterização do Departamento do Desenvolvimento de Projeto

Atualmente, o departamento de desenvolvimento de projetos da empresa é formado por quatro profissionais responsáveis pela conformação dos produtos e pelo projeto das embalagens e das etiquetas segundo especificações e requisitos estabelecidos pelos clientes.

Este processo de desenvolvimento, bem como a confecção de manuais para montagem dos produtos fornecidos para orientação ao consumidor, utilizam suporte informático de grande eficiência que permite agilizar o processo de aprovação pelos

clientes e minimizar o deslocamento de bens físicos ou pessoas durante o processo.

Analisando o modelo genérico de integração dos requisitos ambientais no design de produtos e processo de desenvolvimento apresentado no capítulo 2 (fig. 1) em relação aos atuais estágios de desenvolvimento de produtos da organização estudada, pode-se afirmar que as fases de planejamento, design conceitual, lançamento no mercado e revisão do produto são, atualmente, desenvolvidas pelos clientes e não pela empresa fabricante, conforme aponta a figura 6 a seguir.

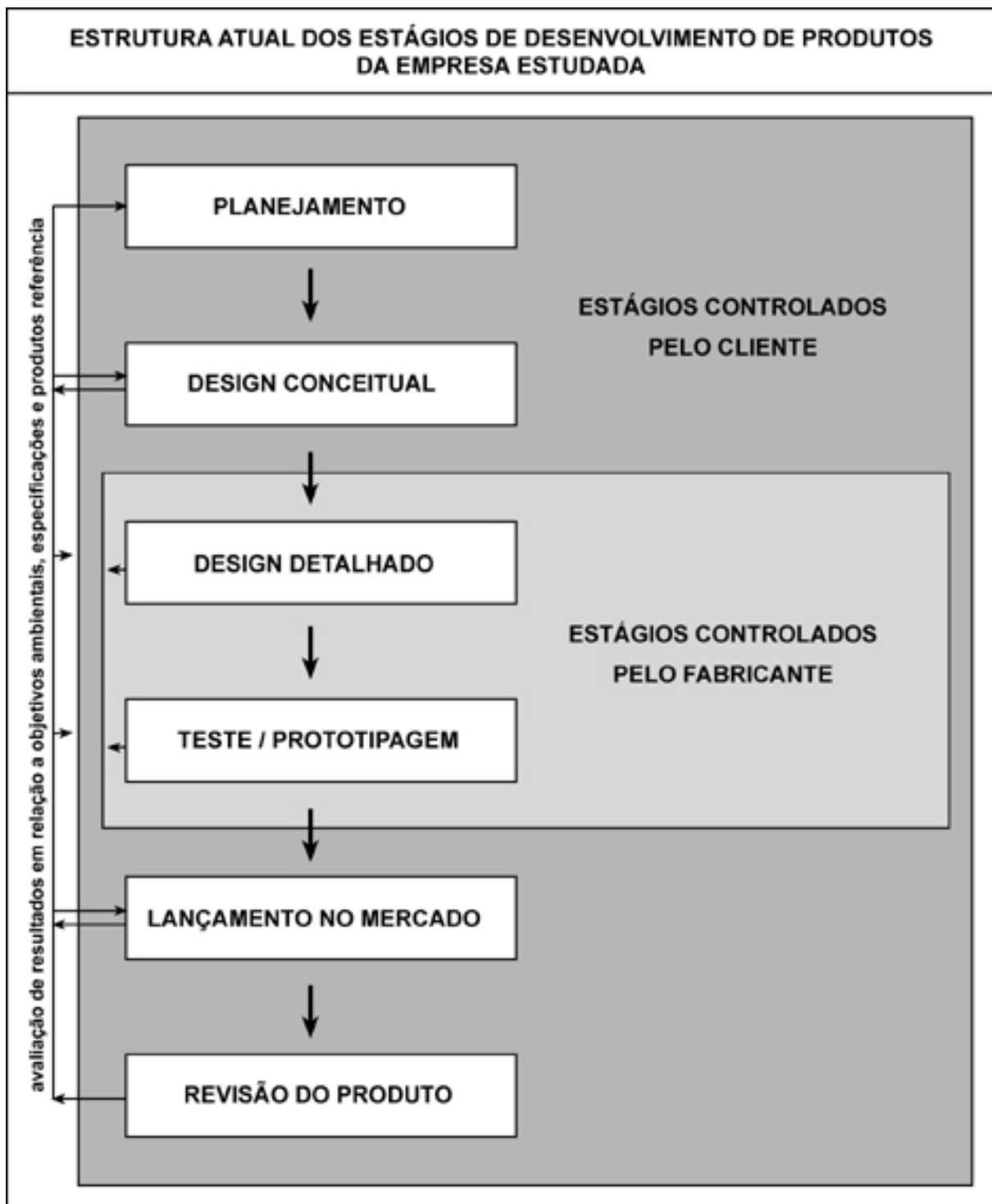


Figura 6 – Estrutura atual dos estágios de desenvolvimento de produtos da organização estudada em relação ao modelo genérico de integração dos requisitos ambientais no design de produtos e processo de desenvolvimento.

Atuando apenas nas fases de design detalhado e teste/prototipagem, a empresa compromete oportunidades de melhora contínua do produto através de revisões e avaliações ambientais a partir de dados obtidos em todas as fases de

desenvolvimento. Este fator também afeta a eficácia da obtenção de resultados na melhora ambiental dos produtos, uma vez que tais requisitos podem ser incluídos no processo de projeto apenas quando um grande número de decisões já tiver sido tomado.

Neste contexto, os resultados obtidos com a aplicação do procedimento sugerido irão servir, idealmente, para o desenvolvimento de novos produtos, seja pela equipe de design e desenvolvimento da empresa, seja por estúdio de design prestador de serviços externo à empresa.

A posse das informações sobre o desempenho ambiental do produto referência, e demais etapas sucessivas do modelo, permitirão a introdução dos requisitos ambientais no processo de projeto de novos produtos já nas fases iniciais, ou seja, a partir da fase de planejamento de novos produtos destinados à expansão dos mercados pretendidos pela empresa.

4.4 Descrição Preliminar do Procedimento

Após contato inicial com a direção da empresa selecionada, foi realizada uma reunião na matriz com a presença de funcionários encarregados pela gerência e produção, ocasião na qual foi selecionado o produto referência para análise de acordo com considerações estratégicas apresentadas, definida a estrutura de desenvolvimento de projetos utilizada pela empresa, bem como, os objetivos futuros de ampliação das atribuições do setor, sendo que as seguintes informações foram coletadas para o início da aplicação do procedimento proposto pela presente dissertação:

- Descrição dos processos de manufatura;
- Fluxo de materiais em cada estágio do processo: quantidade de materiais, origem destes materiais, meios de transporte utilizados, etc.
- Consumo de recursos durante a manufatura (eletricidade, água);
- Quantidade de produtos finais e resíduos produzidos;

- Informações sobre as saídas do sistema (emissões atmosféricas, emissões de efluentes, classificação e destinação final de resíduos sólidos).

4.4.1 Etapa 1: Aplicação da Ferramenta de Análise de Impacto

A obtenção dos dados sobre o produto viabilizou o processo de implementação do procedimento sugerido, iniciado através da aplicação da ferramenta de Análise e Avaliação do Impacto Ambiental Eco-it, detalhada a seguir. Cabe salientar que esta etapa do procedimento tem o escopo de determinar objetivos e prioridades para atuação do designer no desenvolvimento de novos produtos, similares ao produto referência, orientados ao meio-ambiente.

4.4.1.1 Estabelecer o Objetivo do Cálculo

Como objetivo do cálculo, determinou-se que este deverá identificar quais as fases do ciclo de vida e/ou processos associados à produção de uma unidade do beliche em Pinus B-73 representam a carga ambiental mais significativa, como forma de se estabelecer uma primeira análise do produto referência, para responder aos seguintes questionamentos: é realmente a fase de produção a fase dominante em termos de produção de impactos ambientais pelo produto referência, e é justificado dirigirmos todos os esforços de design para otimização desta fase? Também as opções de fim de vida parecem ter uma grande importância para o ciclo de vida do produto, ou seriam seus efeitos negligenciáveis?

Conforme visto no Capítulo 3, para responder a tais questionamentos inicialmente é suficiente estabelecer uma análise global do desempenho do produto, sendo que uma nova análise mais detalhada poderá ser feita, posteriormente, para a comparação das alternativas de projeto sugeridas durante o processo criativo.

4.4.1.2 Definir o Ciclo de Vida

A figura 7, apresentada a seguir, esquematiza o ciclo de vida do beliche em Pinus B-73 analisado, sendo que os retângulos escuros se referem às fases de pré-produção, produção, uso e descarte, e os retângulos claros evidenciam as fases de transporte que ocorrem entre estas fases. Uma estimativa sobre o desempenho do produto e os possíveis cenários de descarte foi realizada em conjunto com a gerência da empresa.

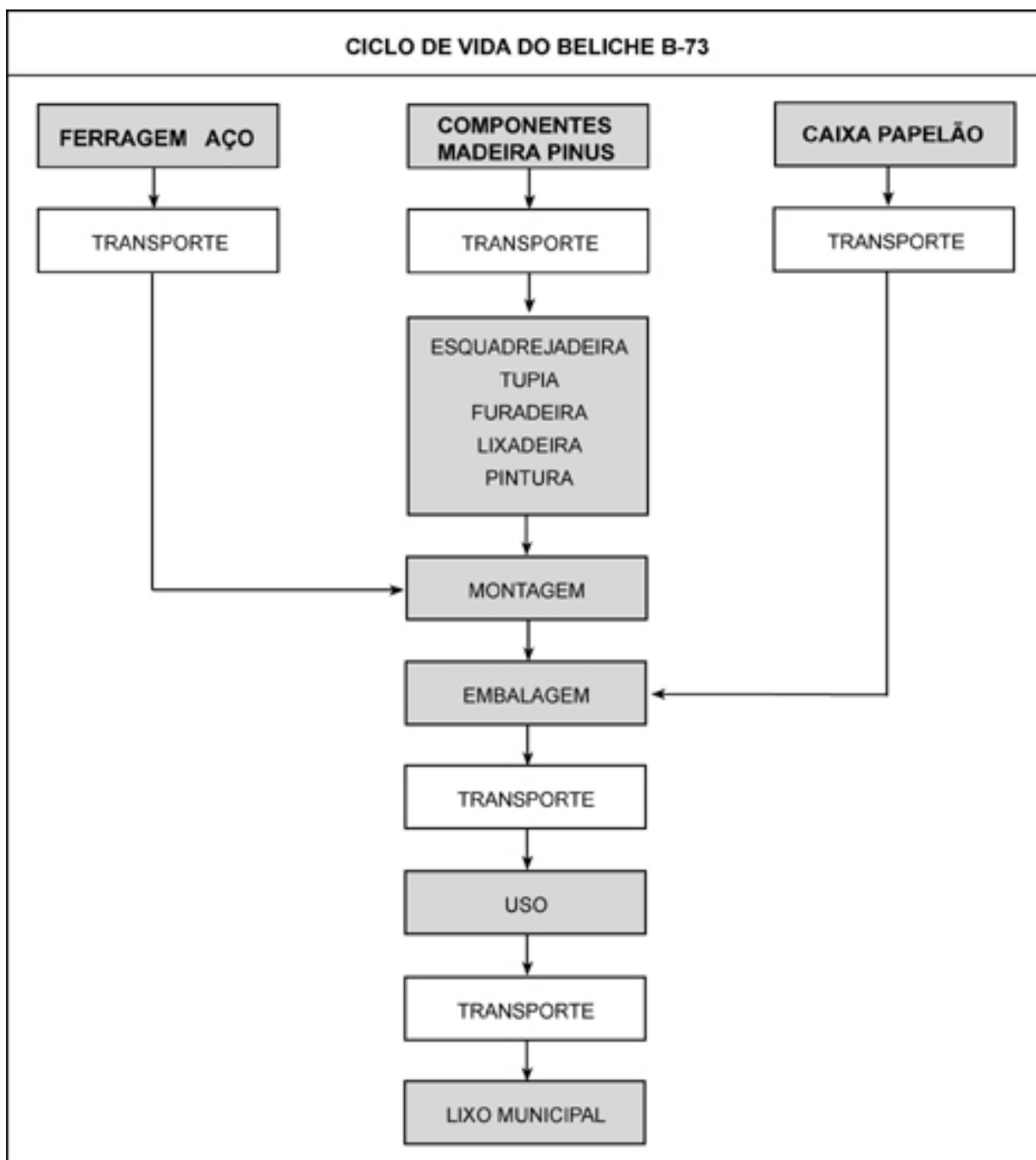


Figura 7 – Ciclo de Vida do produto referência B-73.

Uma vez que o desempenho deste tipo de produto depende muito das condições de uso e manutenção, o fabricante não soube determinar qual seria o tempo de uso previsto antes que houvesse necessidade de substituição deste produto por um novo. Também os hábitos de consumo americanos, mercado ao qual se destina este produto, são diferentes dos hábitos brasileiros, sendo que o mercado

americano tende a efetuar substituições de produtos com uma frequência muito maior que no mercado local, tornando ainda mais difícil determinar a vida útil do produto.

Contudo, como o produto em análise não utiliza matérias-primas e energia para seu funcionamento, fator que poderia agregar uma carga ambiental significativa ao seu ciclo de vida, para fins da presente análise assumiu-se que este período seja de 5 anos.

Em relação ao cenário de descarte, como este não pode ser determinado pelo designer, nem previsto com total segurança a menos que existam razões suficientemente seguras para se estabelecer um comportamento padrão dos usuários finais, neste ponto da análise novas estimativas foram feitas sobre qual o cenário de descarte seria o mais provável. Nestes casos, é aconselhável considerar os lixos municipais como destino final do produto.

Neste tipo de cenário, o valor dos indicadores é calculado considerando que uma parte do lixo seja incinerada, proporcionando ganhos ambientais em termos de recuperação de energia, e outra parte do lixo acabe em aterros sanitários, sendo considerado também o impacto ambiental provocado pelo transporte do produto descartado em caminhões de lixo até o lixo municipal. Tais cenários estão descritos de forma mais esclarecedora na seção 3.3.1.1 do Capítulo 3, que trata dos indicadores utilizados pelo programa Eco-it.

Como pode ser observado na figura 7, apresentada anteriormente, foram estabelecidos como limites do sistema os estágios e processos controlados pela empresa fabricante do produto B-73. Desta forma, os impactos ambientais provocados pelos processos de fabricação dos componentes fabricados por outras empresas, quais sejam os componentes em madeira, embalagens e ferragens, foram desconsiderados na primeira análise, uma vez que não é objetivo do estudo sugerir a substituição de fornecedores ou matérias-primas num primeiro momento.

Contudo, incluiu-se na análise o impacto ambiental provocado pelo transporte destes componentes na quantidade necessária para a fabricação de uma unidade do beliche B-73, uma vez que esta quantidade é determinada pelas especificações de projeto e pode ser alvo de melhoras.

4.4.1.3 Quantificar Materiais e Processos

Como a empresa estudada não possui dados sobre a quantidade de energia utilizada por processo na produção de uma unidade funcional, ou seja, uma unidade do beliche modelo B-73, foram utilizadas as quantidades de energia e matérias-primas totais consumidas como forma de diminuir-se as estimativas e incertezas do cálculo.

O índice de perda de matéria-prima na fase de produção, ou seja, de perda ocasionada pelos processos de manufatura da madeira, é informado pela empresa como sendo de aproximadamente 5%, uma vez que os componentes são recebidos do fornecedor com as dimensões pré-estabelecidas pelo fabricante. Cabe esclarecer que este índice de perda apresenta variação entre 43% e 44% quando analisados os processos de transformação da madeira bruta em componentes realizados pela empresa fornecedora de componentes.

Para a fabricação de uma unidade do produto B-73, a empresa em questão recebe 55,5 kg de componentes de madeira de Pinus por transporte rodoviário, em Truck de 28 T que irão resultar em um produto com peso líquido de 52,7 Kg, considerando-se as perdas ocasionadas pelos processos de manufatura. Estes 55,5 kg de madeira de Pinus deverão passar por processos de corte, furação, lixamento, pintura e montagem, até a chegada ao produto final, utilizando para tanto 8,67 Kwh de energia hidroelétrica de alta voltagem.

Na fase de montagem são utilizados 1,3 Kg de parafusos de aço baixo carbono que chegam à fábrica por meio de transporte rodoviário, em Truck 16 T.

A fase seguinte, de embalagem, utiliza uma caixa de papelão com peso de 1,97 Kg, também transportada até a fábrica por rodovias, em Truck 16 T, onde serão acondicionados as partes do beliche, manuais e os parafusos extras que servirão para montagem no local de uso de produto.

Os produtos finais embalados, pesando 56 Kg, são transferidos para containeres de 20 T que seguem até o porto de Itajaí, onde são embarcados em navios cargueiros para os Estados Unidos. Chegando no porto de destino, mais uma

fase de transporte rodoviário, em Truck 28 T, irá levar o produto para o depósito da loja e exposição, de onde ele seguirá por transporte em carro de passageiro até a residência do usuário ou local de uso do produto, que se encontra em um raio médio de 50 km de distância.

Após um período estimado de 5 anos, o produto será descartado pelo usuário, sendo que, presumidamente, parte deste será incinerada e parte será depositada em aterros sanitários, conforme explanado anteriormente.

Assim, a quantificação de materiais e processos do Beliche B-73 é representada na figura 8, da seguinte maneira:

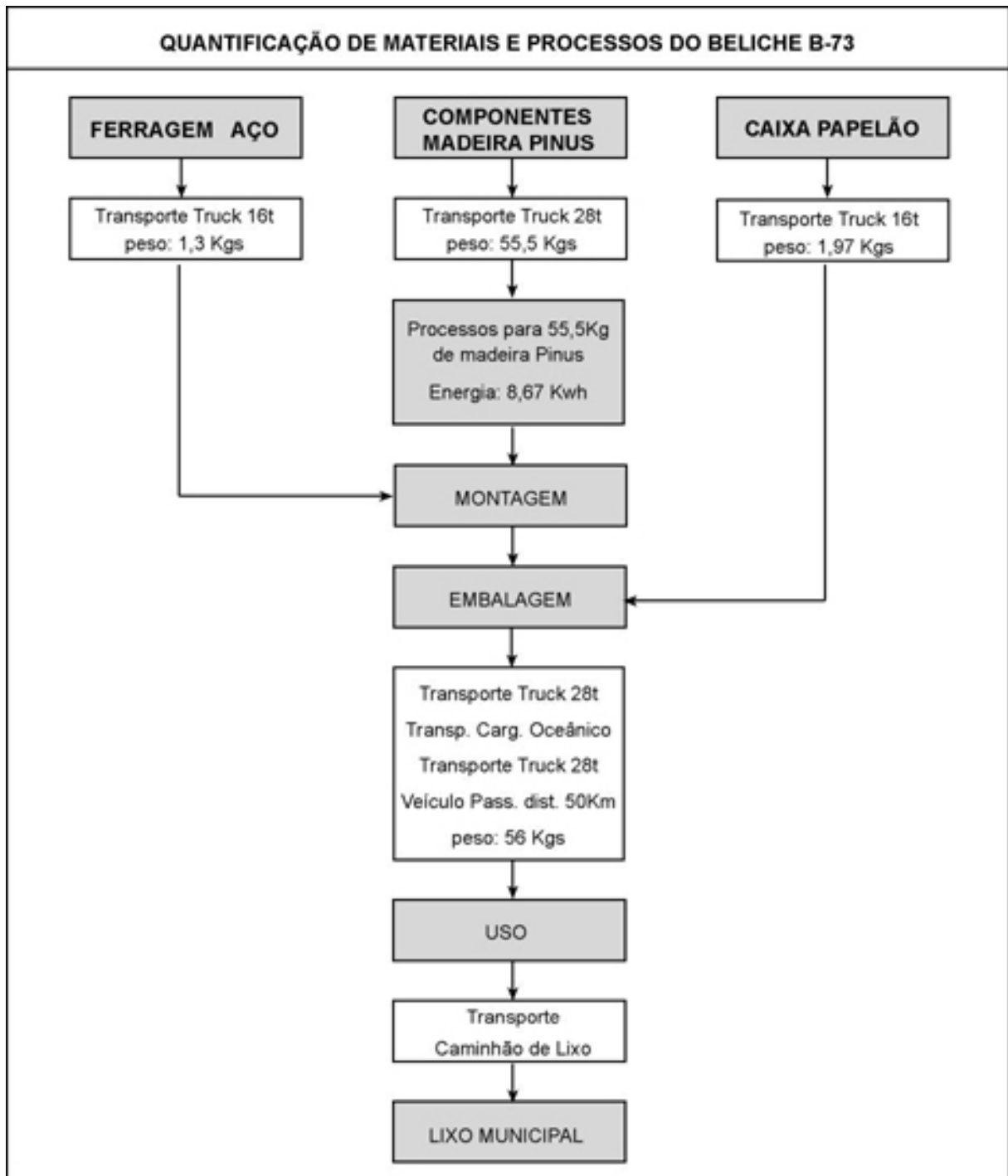


Figura 8 – Quantificação de Materiais e Processos do produto referência B-73.

4.4.1.4 Entrada dos Dados

Após a quantificação de materiais e processos do ciclo de vida do produto B-

73, deu-se prosseguimento à aplicação do modelo com a entrada dos dados no programa Eco-it, selecionado para a primeira etapa de análise do impacto ambiental representado pelo produto referência, sendo que no Anexo 3 encontram-se os relatórios integrais realizados pelo programa.

Como o programa não faz uma relação direta entre materiais e processos, por exemplo, não associa 1m³ de madeira aos processos de corte e furação necessários para manufatura deste mesmo 1m³, no momento da entrada dos dados devem ser especificados, além da quantidade de matéria-prima utilizada, os tipos de processos que serão utilizados na manufatura desta determinada quantidade de material.

Contudo, o programa Eco-it, apesar de apresentar indicadores para a produção de madeira maciça, não apresenta indicadores para os processos de manufatura correspondentes a este material. Nestes casos, um julgamento do usuário sobre a relevância do indicador faltante, no sentido de determinar ou não um aumento significativo da carga ambiental na análise, irá definir qual procedimento a ser realizado.

Idealmente, sugere-se que o indicador faltante seja calculado por especialista, através do método EI-99, para ser acrescentado ao banco de dados padrão; como segunda alternativa, outro banco de dados que apresente valores para tais processos pode ser acrescentado ao programa, devendo, neste caso, ser utilizado para calcular todos os demais aspectos do ciclo de vida do produto.

Na impossibilidade de se proceder a estas duas alternativas, pode-se substituir o indicador faltante por outro conhecido como forma de se estabelecer uma estimativa. Por exemplo, se forem necessários dados sobre processos de um tipo de metal e o banco de dados fornecer os dados referentes a outro tipo de metal, estes podem ser utilizados como forma de obter impressões sobre a importância do processo no cálculo do impacto total.

Em relação ao tipo de material analisado, deve ser realizada uma série de considerações que irão determinar a relevância da ausência deste indicador. Considerando-se que a madeira utilizada pelo beliche B-73 é proveniente de fonte certificada, que garante sua procedência e condição de extração renovável; que o índice de perda de material ou geração de resíduos sólidos durante a fabricação do móvel é de apenas 5%, sendo que a madeira possibilita, ainda, a posterior queima

de resíduos para recuperação de conteúdo energético; e considerando, finalmente, que a quantidade de energia utilizada pelos processos é conhecida e foi adicionada ao cálculo, presumiu-se que os processos relacionados não acrescentariam cargas ambientais relevantes para efeitos de uma primeira análise.

A omissão dos processos de manufatura da madeira para efeitos desta primeira análise do produto referência é posição fundamentada, também, pela seguinte afirmação:

Melhoras ambientais em processos (relativos à madeira) apenas podem ser documentadas quando os mesmos métodos de avaliação e dados sobre as entradas são utilizados para avaliar uma modificação e não como extensão de dados de um inventário.

(EUROPEAN FOREST INSTITUTE AND THE FEDERAL RESEARCH CENTRE FOR FORESTRY AND FOREST PRODUCTS, 1995).

Desta forma, também os processos de pintura devem ser analisados em relação a modificações efetuadas, não como simples dados do inventário, sendo que a possibilidade de efetuar avaliações comparativas embasadas nas propriedades das tintas e vernizes pode ser de grande importância na determinação do impacto ambiental provocado por este processo específico.

Deve-se assinalar que, apesar das atuais tintas e vernizes utilizadas pela empresa serem livres de emissões tóxicas durante a fase de uso, não estão disponíveis relatórios que apontem as emissões ocorridas durante a fase de produção, justificando, assim, a ausência deste processo no cálculo realizado.

Cabe acrescentar que tais estimativas e presunções, quais sejam o tempo de vida útil estimado, a omissão dos processos produtivos da madeira e o provável cenário de descarte, serão posteriormente avaliadas no procedimento seguinte de interpretação dos resultados.

4.4.1.5 Interpretação dos Resultados

A entrada dos dados discriminados anteriormente no programa de Análise e Avaliação de Impacto Ambiental Eco-it, com as respectivas estimativas necessárias, resultou no gráfico, apresentado a seguir, que aponta a carga ambiental total do ciclo de vida do produto em 2 pontos.

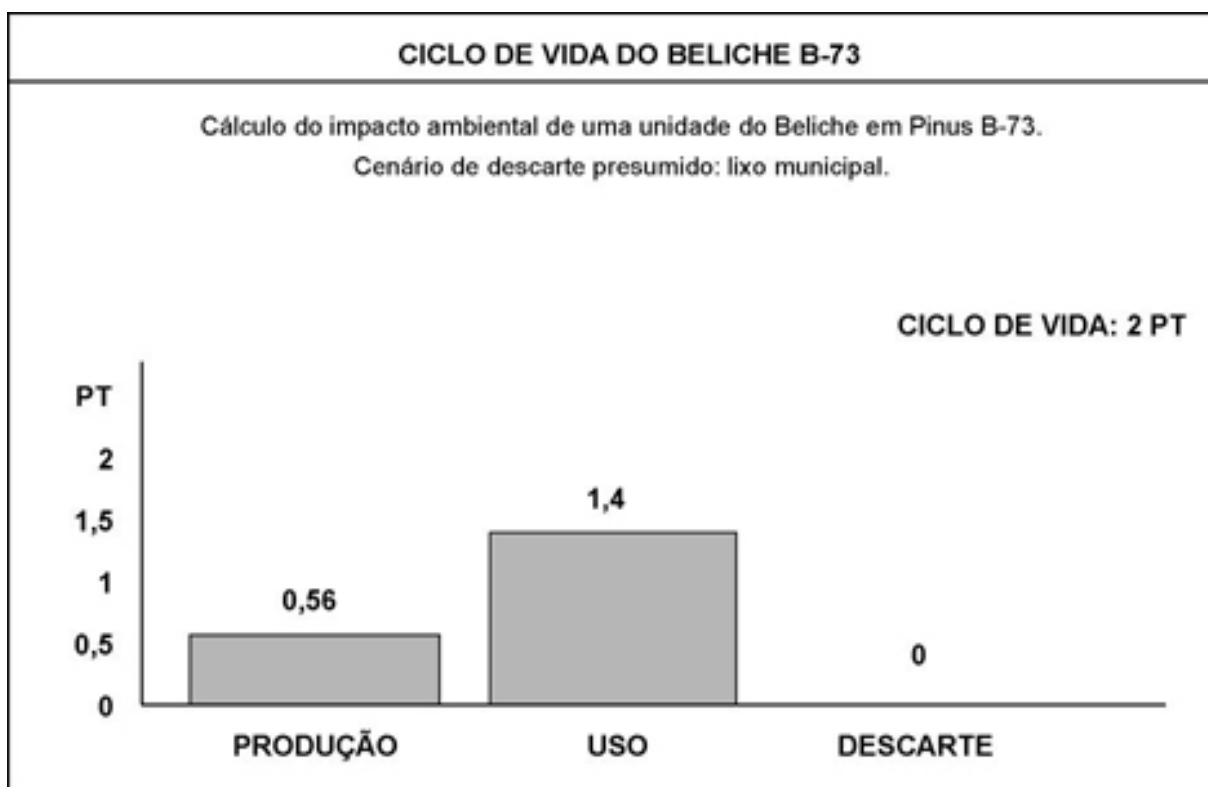


Gráfico 1 – Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73, com previsão de cenário de descarte como sendo o lixo municipal.

Conforme se observa no gráfico 1, os primeiros dados obtidos com a aplicação do programa apontam a fase de uso como sendo a fase do ciclo de vida responsável pela maior parte da carga ambiental provocada pelo produto referência B-73, uma vez que as fases de produção e descarte obtiveram pontuação igual a 0,56 e zero, respectivamente.

Analisando os relatórios completos emitidos pelo programa, que se encontram no Anexo 3, pode-se, também, identificar os processos mais relevantes na produção de impactos ambientais. Esta análise é necessária no sentido de trazer informações precisas para a equipe de design na busca das opções de projeto mais adequadas

para a melhora do desempenho ambiental do produto referência.

Tais relatórios informam que o processo de transporte por automóvel de passageiro, a partir da loja até a residência do usuário ou local de uso do produto, demonstrou ser crucial para os resultados, evidenciando a importância do pensamento sistêmico e da análise de todas as fases do ciclo de vida do produto para o projeto ambientalmente orientado.

A pontuação deste indicador é determinada, basicamente, pela distância percorrida pelo consumidor desde a loja até o local de uso do produto, sendo presumida em 50 km, bem como pelo peso do produto transportado (56 Kg), somando 1,4 ponto ao impacto ambiental total provocado durante o ciclo de vida do produto. Este número representa o valor individual por processo mais alto da análise, conforme demonstra o gráfico 2 abaixo:

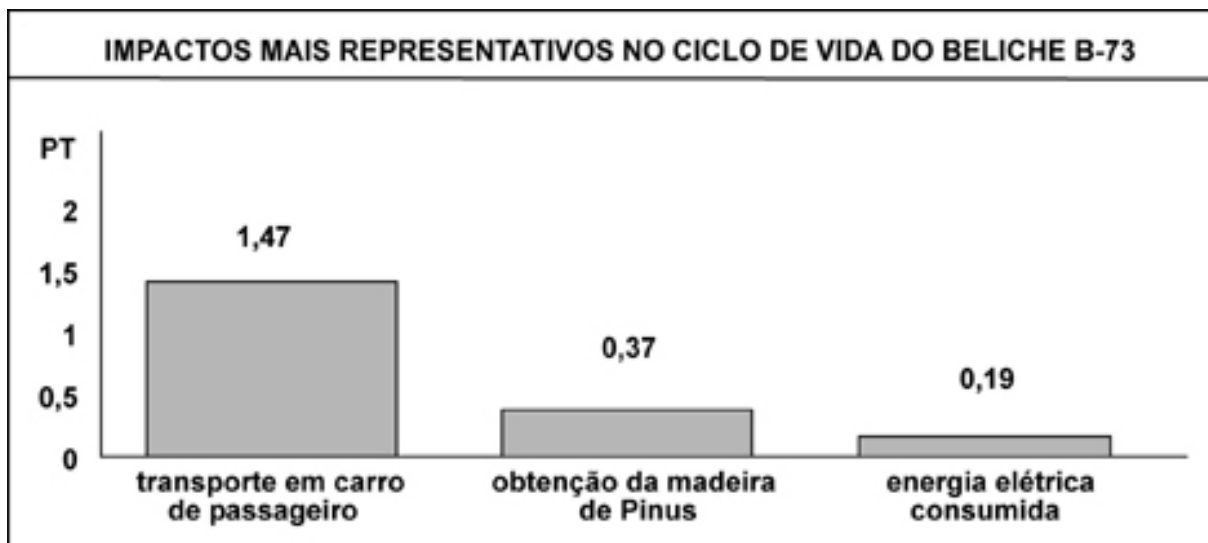


Gráfico 2 – Valores individuais dos processos mais representativos em termos de impacto ambiental do produto referência B-73.

Tal pontuação tende a subir consideravelmente caso a estimativa sobre a distância percorrida pelo consumidor seja acrescida.

Em relação às demais fases de transporte analisadas, pode-se afirmar que estas apresentam uma pontuação relativa irrelevante na análise global do produto,

assim como os processos de transporte da caixa de papelão utilizada para embalagem e das ferragens que compõem o produto final.

Contudo, um processo da análise que merece grande atenção é o de utilização de 55,5 Kg de madeira de Pinus, representando 0,37 ponto no valor total da análise, enquanto a energia necessária para transformação da matéria-prima em produto acabado é de 0,19 ponto, conforme demonstrado no gráfico 2. Estes valores confirmam a correção da presunção inicial sobre a quantidade de matéria-prima utilizada ser mais relevante em termos de produção de carga ambiental que os processos relacionados à manufatura.

Conforme questão levantada na etapa de estabelecimento dos objetivos do cálculo, presumidamente os efeitos ambientais determinados pelos cenários de descarte teriam grande importância para o ciclo de vida do produto. Se realizada somente uma análise superficial dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a fase de descarte do produto é irrelevante no caso do beliche B-73, por apresentar pontuação igual a zero.

Análises mais aprofundadas, que verifiquem as conseqüências das estimativas sobre os possíveis cenários de descarte, irão apontar que as opções de fim de vida do produto apresentam importância decisiva para o cálculo do impacto ambiental total do ciclo de vida em análise.

Como tais cenários de descarte não podem ser previstos com segurança, num primeiro momento presumiu-se que tal cenário seria o lixo municipal, conforme orientação dos autores do programa Eco-it, sendo parte do produto incinerado e outra parte depositada em aterros, obtendo a pontuação zero para a fase de fim de vida do produto.

Contudo, se esta fase de descarte for analisada assumindo-se o cenário ideal para o fim de vida dos materiais, ou seja, que as partes de madeira seriam incineradas para recuperação do conteúdo energético e que as demais partes seriam recicladas, obtêm-se os valores apresentados no gráfico 3, apresentado a seguir.

Este gráfico aponta a carga ambiental total do produto em 1,3 ponto uma vez que tal cenário de descarte representaria um valor negativo de 0,67 ponto, diminuindo o valor total da carga ambiental representada pelo produto em 35% em

relação à primeira análise.

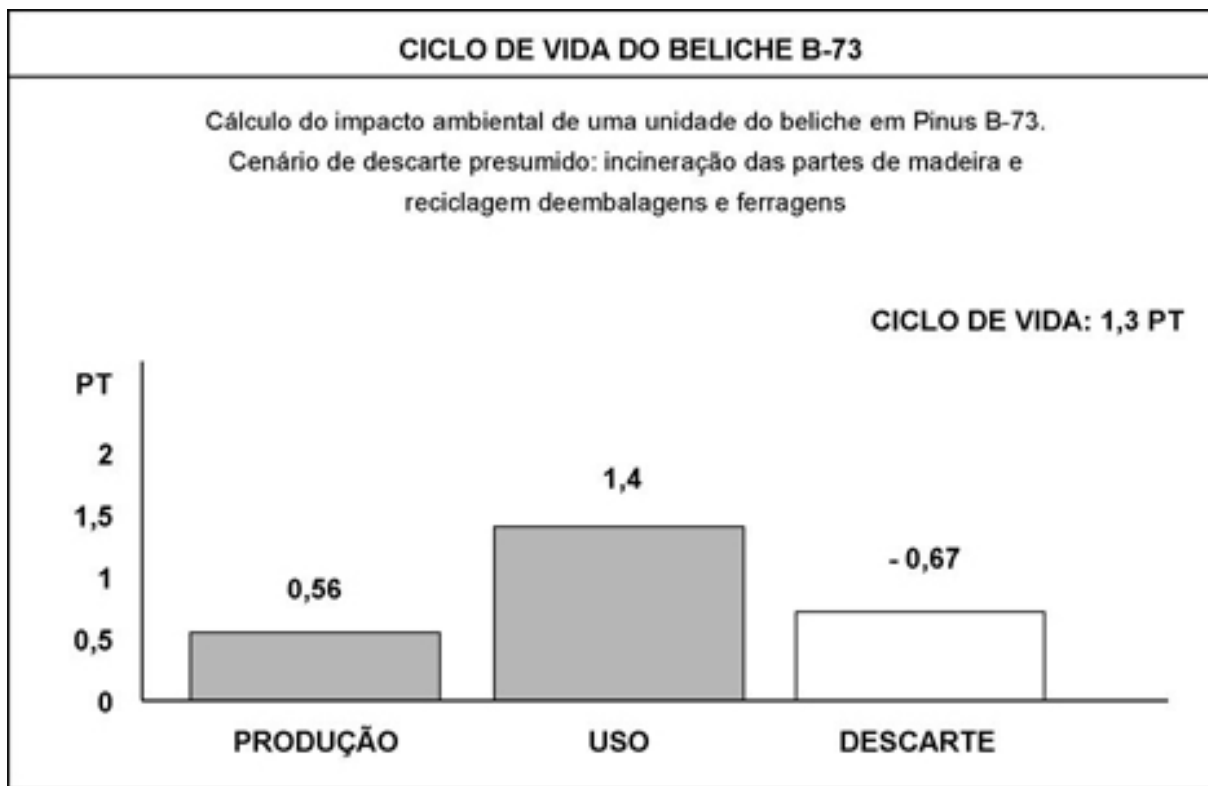


Gráfico 3 – Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73 com cenário de descarte presumindo a incineração das partes em madeira e reciclagem das demais partes. A coluna branca representa valores negativos.

Se, ao contrário, imaginar-se o pior cenário de descarte possível para o produto, ou seja, que todos os materiais serão depositados diretamente em aterros sanitários, sem qualquer recuperação de conteúdo energético e sem qualquer processo de reciclagem ou re-aproveitamento das partes, este valor total de impacto representaria 0,23 ponto, elevando o valor total do ciclo de vida do produto analisado para 2,2 pontos, conforme demonstra o gráfico 4, ou seja, em 10%.

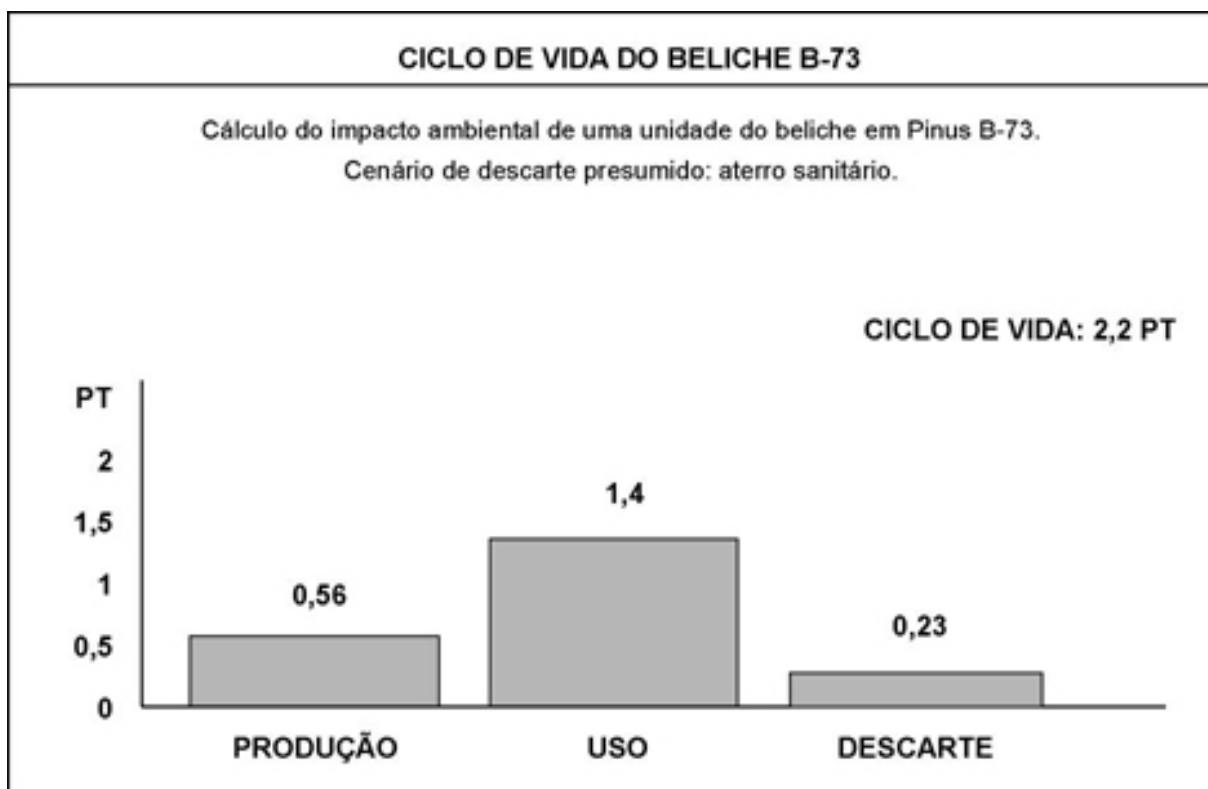


Gráfico 4 – Análise da carga ambiental do Ciclo de Vida do Produto referência B-73 com cenário de descarte presumindo o depósito em aterro sanitário de todas as partes do produto.

Assim, a análise dos diferentes cenários possíveis para a eliminação do produto demonstra que o comportamento do usuário final, políticas de final de vida implementadas ou favorecidas pelo fabricante, bem como, a estrutura municipal de tratamento de resíduos, podem determinar uma variação significativa na carga ambiental total do ciclo de vida do produto, para mais ou para menos.

A estimativa realizada sobre o tempo de vida útil do produto não representa fator de incerteza na análise, uma vez que o produto não consome recursos representativos durante sua fase de uso. Contudo, fica claro que enquanto um bem durável, como é o caso do beliche B-73, estiver em perfeitas condições de uso, as matérias-primas e demais recursos necessários para a produção de peças de reposição ou de um produto substitutivo, não necessitarão ser extraídas e processadas, representando um ganho ambiental significativo.

Portanto, como resposta às questões colocadas na etapa de estabelecimento dos objetivos, obtém-se que, apesar da fase de uso ser de extrema relevância em

termos de produção de impactos ambientais pelo produto referência, e ser o ponto de partida para a otimização das prestações ambientais do produto analisado, os esforços de design não podem ser focalizados exclusivamente nesta fase do ciclo de vida, uma vez que a pontuação obtida pelas fases de produção e descarte mostrou-se de grande seriedade na análise.

Desta forma, por ordem de pontuação, leia-se de gravidade do impacto ambiental produzido pelo produto referência analisado, apresenta-se a seguinte ordem de prioridades para atuação do designer no sentido de otimizar as prestações ambientais do produto B-73, apresentada na figura 9:

FASES DO CICLO DE VIDA E PROCESSOS PRIORITÁRIOS PARA ATUAÇÃO DO DESIGNER		
FASE DO CICLO	PROCESSO	PONTUAÇÃO
USO	Transporte em veículo de passageiro	1,47 Pt
PRODUÇÃO	Utilização da madeira de Pinus	0,37 Pt
DESCARTE	Cenários de fim de vida do produto	0,23 Pt a - 0,67 Pt
PRODUÇÃO	Energia elétrica consumida	0,19 Pt

Figura 9: Ordem de prioridades para atuação do designer de acordo com a pontuação obtida pela análise realizada pelo programa Eco-it.

4.4.2 Etapa 2: Ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental

A partir da definição de objetivos e prioridades para atuação do designer, apresentada na etapa de análise dos resultados da primeira ferramenta, foi dado

prosseguimento na aplicação do procedimento através do confronto destas informações com as Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, selecionadas como segunda ferramenta do procedimento.

Conforme visto no Capítulo 3, nesta etapa do procedimento poderiam surgir conflitos entre diferentes estratégias ambientais de projeto, ou seja, o processo de análise das Linhas Guias em relação às possíveis melhoras ambientais do produto referência poderia apontar soluções de projeto que provocariam a transferência do impacto ambiental de uma fase do ciclo de vida do produto para outra.

Como forma de evitar incertezas na definição do melhor conjunto de estratégias de projeto para a melhora do desempenho ambiental do produto analisado, este confronto de dados foi realizado de maneira a priorizar os impactos ambientais mais significativos apontados pela análise de impacto, resultando na hierarquização das estratégias assinaladas pelas Linhas Guias como sendo as mais indicadas para o produto específico, conforme explanado a seguir.

4.4.2.1 Definição das Estratégias de Projeto para o Produto Específico

Os resultados da primeira ferramenta apontam que o aspecto prioritário ao qual o designer deverá dedicar maior atenção no momento do projeto, no sentido de reduzir a carga ambiental associada ao ciclo de vida do beliche B-73, é a minimização dos consumos durante o processo de transporte em veículo de passageiro, no percurso entre a loja e o local de uso de produto, uma vez que este processo atingiu a pontuação mais alta na análise.

As Linhas Guias para Minimização dos Recursos durante a fase de distribuição, implementadas através de ações de projeto que minimizem as embalagens e os consumos no transporte, vêm contemplar este aspecto que deverá ser o ponto de partida para a introdução da abordagem ambiental no projeto de novos produtos pela empresa estudada.

Também em relação a este processo, salienta-se que as Linhas Guias para Oferta de um Novo Mix de Produtos e Serviços podem representar a construção de

novos cenários no relacionamento empresa-cliente voltados para a sustentabilidade ambiental. Tais Linhas Guias possibilitariam ganhos ambientais significativos conseguidos através, por exemplo, da substituição deste processo de transporte por outro de menor impacto ambiental oferecido pela empresa.

Estas estratégias podem favorecer, inclusive, o aparecimento da oferta de resultados em substituição aos produtos físicos isolados, sugerindo novos serviços de montagem, manutenção ou recuperação das partes do produto para reutilização ou para reciclagem em planta de maior eficiência que a oferecida ao consumidor pelo contexto atual de descarte disponível.

Esta possibilidade de cenário incentivaria, conseqüentemente, a prática de descarte correta do produto, maximizando o desempenho ambiental do produto na sua fase de fim de vida, também de grande relevância no processo conforme visto na figura 9.

O processo seguinte em ordem de importância relativa ao nível de impacto ambiental detectado pela análise é o de utilização da madeira de Pinus, representado pela quantidade de matéria-prima empregada na manufatura do produto referência.

Para atuar neste processo, pertencente à fase de produção, o designer deverá observar as Linhas Guias para Minimização dos Recursos na produção, através de ações de projeto que minimizem o conteúdo material do produto, as perdas e refugos, o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos e o consumo de energia para a produção. Desta forma o designer estará atuando também no aspecto referente à quantidade de energia elétrica consumida pelos processos de manufatura.

As Linhas Guias para Escolha de Materiais e Processos de Baixo Impacto Ambiental também fornecem estratégias valiosas de projeto no sentido de minimizar o impacto ambiental provocado pelo produto referência neste processo específico.

O terceiro aspecto a ser considerado pelo designer no momento de projeto é relativo à fase de descarte do produto, sendo que este deverá buscar estratégias ambientais de projeto que contemplem o fim de vida do produto analisado como forma de evitar danos ambientais ou facilitar procedimentos benéficos efetuados pelos usuários finais dos produtos.

Assim, além das Linhas Guias para Oferta de um Mix Integrado de Produtos e Serviços, já citadas acima, acrescenta-se que, de maneira geral, estratégias para a Otimização da Vida do Produto, principalmente quando se tratar de produtos sujeitos à obsolescência cultural como é o caso do produto referência, podem acrescentar ganhos ambientais importantes, uma vez que podem minimizar tanto o impacto de descarte/eliminação do produto, quanto os impactos gerados na produção de um produto novo ou peças em substituição àquelas danificadas.

As Linhas Guias para Facilitar a Desmontagem também fornecem estratégias viáveis no sentido de facilitar e incentivar práticas corretas de descarte e devem, portanto, ser observadas criteriosamente.

Da mesma forma, as Linhas Guias para Extensão da Vida dos Materiais podem fornecer estratégias oportunas, desde que estas não entrem em conflito com as estratégias precedentes.

Finalmente, em relação aos consumos energéticos realizados na produção, as Linhas Guias para Escolha de Recursos Energéticos de Baixo Impacto Ambiental, juntamente com as estratégias de projeto para a Minimização dos Recursos na produção, salientadas também para a diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de obtenção da madeira, fornecem alternativas apropriadas para a solução dos problemas provocados por este processo.

Assim, dentro de uma escala de prioridades, pode-se afirmar que as Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis devem ser priorizadas da seguinte maneira para atingirmos ganhos ambientais significativos no re-projeto do beliche B-73 ou para o desenvolvimento de novos produtos similares:

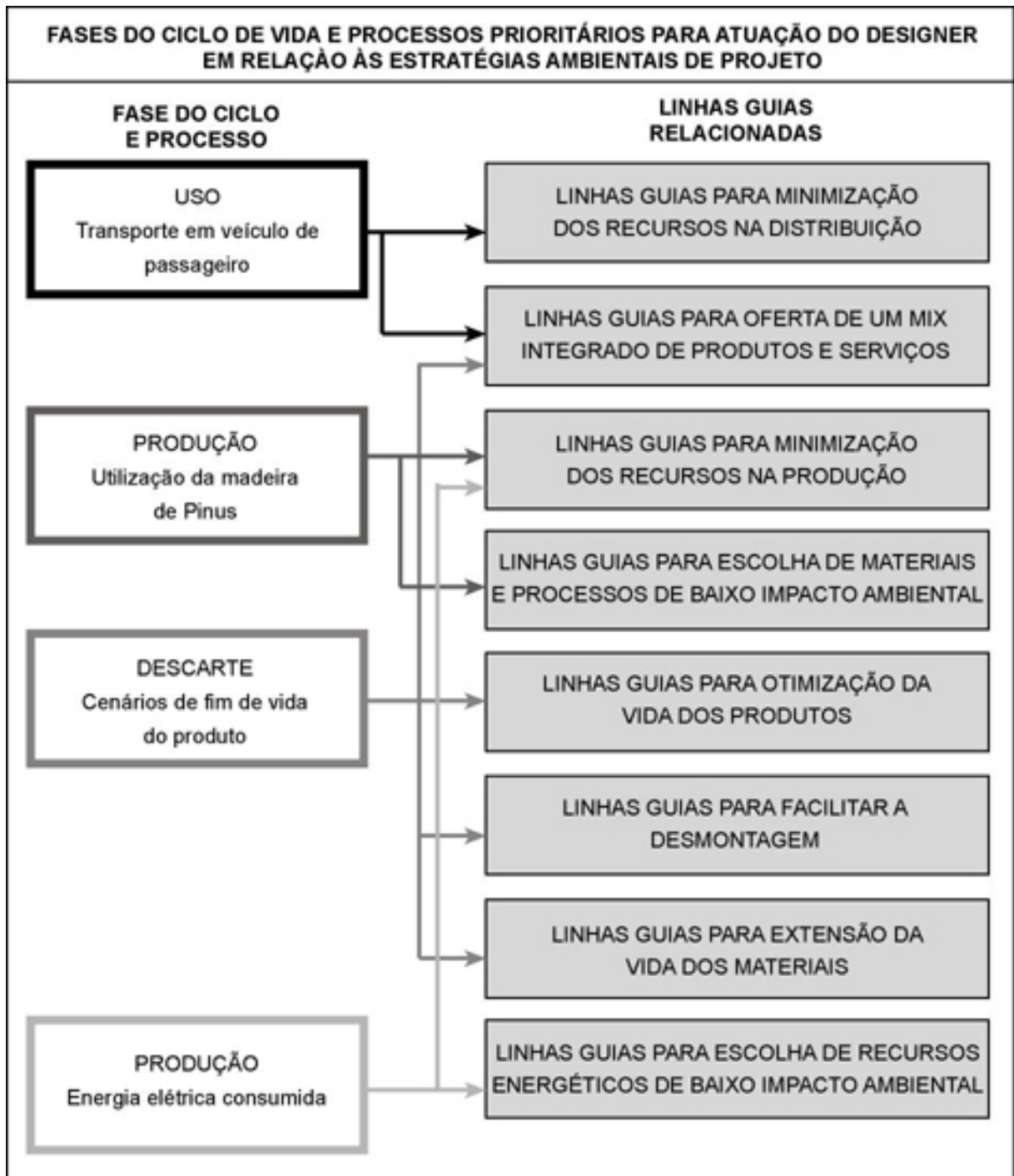


Figura 10: Hierarquização das Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis para a melhora do desempenho ambiental do produto referência analisado.

4.4.3 Etapa 3: Formatação da Lista de Verificação

A definição do melhor conjunto de estratégias ambientais de projeto para o

produto B-73, conseguida através do confronto dos resultados obtidos com a primeira ferramenta e os princípios estratégicos fornecidos pelas Linhas Guias da segunda ferramenta, possibilitou o desenvolvimento de uma terceira ferramenta inédita e específica para o desenvolvimento de beliches em Pinus, que assumiu a forma de uma Lista de Verificação.

O quadro 9, a seguir, apresenta a Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliches em Pinus formatada a partir das Linhas Guias para Minimização dos Recursos na Distribuição e das Linhas Guias para Ofertas de um Mix Integrado de Produtos e Serviços, destinadas a minimizar o impacto ambiental provocado pelo processo de maior relevância salientado pela análise de Impacto ambiental, qual seja o transporte em veículo de passageiro realizado pelo consumidor final do produto desde a loja até o local de uso.

Com relação ao uso de matérias-primas, as Linhas Guias para Minimização dos Recursos na Produção e para Escolha de Materiais e Processos de Baixo Impacto Ambiental originaram a Lista de Verificação apresentada no quadro 10.

Em seguida são apresentados os quadros 11 e 12, que apresentam as Linhas Guias para Otimização da Vida dos Produtos, para Facilitar a Desmontagem, para Extensão da Vida dos Produtos e para Escolha de Recursos Energéticos de Baixo Impacto Ambiental, referentes aos impactos provocados pelos cenários de fim de vida do produto e da energia elétrica consumida durante a produção, respectivamente.

Todos os quadros citados acima estão dispostos seqüencialmente para melhor entendimento na ferramenta originada pela aplicação do procedimento, devendo esta ser analisada integralmente durante o processo de desenvolvimento de novos produtos pela empresa produtora do beliche B-73, desde que priorizados os impactos ambientais mais relevantes.

LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS

1 - MINIMIZAR A CARGA AMBIENTAL NO TRANSPORTE DO PRODUTO (Linhas Guias para Minimização dos Recursos na Distribuição e para Oferta de um Mix Integrado de Produtos e Serviços)

a. Minimizar as embalagens

- A opção de projeto evita excessos de embalagens?
- A opção de projeto utiliza material somente onde é realmente útil?
- A embalagem foi projetada como parte integrada do produto?

b. Minimizar os consumos no transporte

- A opção de projeto visa à compactação do produto para o transporte e armazenagem com alta densidade?
- O produto foi projetado para ser montado no local de uso?
- A opção de projeto torna o produto mais leve?
- Foram projetadas soluções que visem otimizar a logística?

c. Oferta de resultados

- Foram consideradas opções de oferta de resultados ou serviços agregados ao produto?

d. Oferta de plataformas

- Foram consideradas opções de oferta de plataformas agregadas ao produto?

Quadro 9 - Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de transporte em veículo de passageiro.

LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS

2 - MINIMIZAR A CARGA AMBIENTAL ASSOCIADA AO CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA (Linhas Guias para Minimização dos Recursos na Produção e para Escolha de Materiais e Processos de Baixo Impacto Ambiental)

a. Minimizar o conteúdo material do produto

- A opção de projeto possibilita a desmaterialização de alguma das partes do produto?
- Foram evitados dimensionamentos excessivos?
- A opção de projeto minimizou os valores das espessuras dos componentes sem afetar a durabilidade do produto?
- A opção de projeto evitou o uso de componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais?

b. Minimizar perdas e refugos

- A opção de projeto utiliza processos produtivos que minimizam o consumo de materiais?
- Foram adotados sistemas de simulação para a otimização dos parâmetros dos processos de transformação?

c. Minimizar o consumo de energia para produção

- A opção de projeto contempla processos produtivos com menor consumo energético?
- Serão utilizados instrumentos e aparelhagens produtivas eficientes?
- É possível utilizar o calor disperso por algum processo produtivo para o pré-aquecimento de alguns fluxos de determinados processos?
- É possível utilizar sistemas de regulação flexível da velocidade dos elementos de funcionamento de bombas ou outros motores?
- É possível utilizar sistemas de interruptores inteligentes das aparelhagens?
- Os motores foram dimensionados de maneira otimizada?
- Foi facilitada a manutenção dos motores?
- Foram definidos cuidadosamente os limites de tolerâncias?
- O projeto possibilita otimizar os volumes de compra dos lotes (estoques)?
- Os sistemas de controle de estoques (inventário) podem ser otimizados?
- Podem ser otimizados os sistemas e minimizados os pesos em todas as formas de transferência dos materiais e componentes semi-elaborados?
- Os sistemas de aquecimento, aeração e iluminação das edificações são eficientes?

**LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS
(continuação)**

d. Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento dos produtos

- O projeto permite minimizar o consumo de materiais como papéis e embalagens?
- Foram utilizados instrumentos informáticos para o projeto, modelagem e prototipia?
- Foram utilizados instrumentos informáticos para arquivamento, comunicação escrita e apresentações?
- Os sistemas de aquecimento, ventilação e iluminação no local de trabalho são eficientes?
- Foram utilizados instrumentos de telecomunicações para atividades à distância?

e. Escolha dos materiais e processos de baixo impacto

- A opção de projeto evita o uso de materiais tóxicos e danosos no produto?
- O risco dos materiais tóxicos e danosos foi minimizado?
- A opção de projeto evita aditivos que causam emissões tóxicas e danosas?
- A opção de projeto evitar acabamentos tóxicos e danosos?
- A opção de projeto especifica os materiais com menor conteúdo tóxico de emissões na pré-produção?
- A opção de projeto visa minimizar a dispersão dos resíduos tóxicos e nocivos durante o uso?
- Foram especificados materiais renováveis?
- Foram evitados materiais que estão para se exaurir?
- Foram especificados materiais que provenham de refugos de processos produtivos?
- Foram usados componentes que provenham de produtos já eliminados?
- É possível usar materiais reciclados, em separado ou junto com outros materiais virgens?
- A opção de projeto prevê o uso de tecnologias de transformação dos materiais de baixo impacto?
- A opção de projeto prevê o uso de materiais biodegradáveis?

Quadro 10 - Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de uso de matérias-primas.

LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS

3 - MINIMIZAR A CARGA AMBIENTAL ASSOCIADA AO DESCARTE DO PRODUTO (Linhas Guias para Otimização da Vida dos Produtos, para Facilitar a Desmontagem e para Extensão da Vida dos Materiais)

a. Projetar a durabilidade adequada

- A opção de projeto estabelece vidas iguais para os vários componentes?
- A opção de projeto estabelece uma vida útil dos componentes correspondente à duração prevista para substituí-los durante o seu uso?
- A escolha dos materiais duráveis foi realizada considerando as serventias e a vida útil do produto?
- A opção de projeto evita materiais permanentes para funções temporárias?

b. Projetar a segurança ou confiabilidade

- A opção de projeto minimizou o número de partes e componentes?
- A opção de projeto simplificou o produto?
- Foram evitadas junções frágeis?

c. Facilitar a atualização e a adaptabilidade

- A opção de projeto é modular e reconfigurável para a adaptação em relação a diversos ambientes?
- A opção de projeto é reconfigurável e/ou multifuncional, para a adaptação em relação à evolução física e cultural dos indivíduos?
- A opção de projeto facilita a atualização no próprio lugar de uso?
- A opção de projeto busca fornecer ao produto instrumentos e referências para a sua atualização e adaptabilidade?

d. Facilitar a manutenção

- A opção de projeto prevê soluções que facilitem a substituição das partes que necessitem de manutenção periódica, simplificando o acesso e remoção?
- A opção de projeto permite fácil acesso às partes que devem ser limpas, evitando espaços e orifícios estreitos?
- Existem soluções de provisão e facilitação da substituição dos componentes de forma mais veloz?
- A opção de projeto permite fácil alcance dos instrumentos a serem usados?
- A opção de projeto facilita a manutenção no local de uso?
- A opção de projeto prevê o fornecimento, junto com o produto, de instrumentos e instruções para a sua manutenção?
- A opção de projeto procura reduzir as operações de manutenção?

e. Facilitar o reparo

- Foram projetadas soluções para predispor e facilitar a remoção e retorno das partes do produto que estão sujeitas a danos?
- A opção de projeto utiliza partes e componentes standardizados?
- A opção de projeto facilita o reparo no local de uso?
- A opção de projeto prevê o fornecimento, junto com o produto, de instrumentos, materiais e informações para seu reparo?

**LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS
(continuação)**

f. Facilitar a reutilização

- A opção de projeto prevê o incremento da resistência das partes mais sujeitas a avarias e rupturas?
- A opção de projeto predispõe o acesso para facilitar a remoção das partes e componentes que podem ser reutilizados?
- A opção de projeto utiliza partes e componentes intercambiáveis e modulares?
- A opção de projeto utiliza partes e componentes standardizados?
- A opção de projeto prevê a reutilização de partes auxiliares?
- Foi projetada a reutilização das embalagens?
- A opção de projeto permite um segundo uso do produto?

g. Facilitar a re-fabricação

- A opção de projeto procurou facilitar a remoção e a substituição das partes mais facilmente avariadas?
- As partes estruturais foram projetadas para serem separáveis das de acabamento?
- A opção de projeto facilita o acesso às partes que devem ser refeitas?
- Foram previstas tolerâncias adequadas nos pontos mais sujeitos às avarias?
- A opção de projeto prevê partes e acabamentos reforçados para algumas superfícies que se deterioram?

h. Intensificar a utilização

- A opção de projeto possibilita a oferta de produtos-serviços voltados para o uso compartilhado?
- A opção de projeto possibilita a oferta de produtos-serviços voltados para o uso coletivo?
- A opção de projeto apresenta características multifuncionais com componentes comuns e substituíveis?
- A opção de projeto prevê funções integradas?

i. Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação

- A opção de projeto prevê a desmontagem dos componentes e dos materiais tóxicos e nocivos?
- A opção de projeto prevê a desmontagem das partes ou dos materiais de maior valor econômico?
- A opção de projeto prevê a desmontagem das partes mais sujeitas a desgaste e/ou quebras?
- A opção de projeto adota estruturas modulares?
- A opção de projeto prevê a subdivisão do produto em subconjuntos que possam ser facilmente separados e manipulados como partes individuais?
- A opção de projeto minimiza as dimensões do produto e de seus componentes?
- A opção de projeto minimiza as conexões de dependência hierárquica entre os componentes?
- A opção de projeto facilita a extração dos componentes e dos subconjuntos?
- A opção de projeto procura a máxima linearidade no direcionamento de desmontagem?
- A opção de projeto adota estruturas de desmontagem em forma de sanduíche, posicionadas na direção vertical e que contenham elementos de fixação de fácil acesso?

**LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS
(continuação)**

Forma dos componentes e das partes

- A opção de projeto evita partes e componentes difíceis de movimentar?
- A opção de projeto evitar partes assimétricas desnecessárias?
- A opção de projeto prevê superfícies de apoio e componentes de alcance fácil e estandardizado?
- A opção de projeto dispõe os componentes pesados na base e próximos ao centro de gravidade?
- A opção de projeto considera a fácil centralização dos componentes na base do produto?

Forma e acessibilidade das junções

- A opção de projeto evita sistemas de fixação que, para a abertura do produto, exijam intervenções concomitantes em mais de um ponto?
- A opção de projeto minimiza o número de fixações?
- A opção de projeto minimiza os tipos de fixação que necessitam instrumentos diferenciados para remoção?
- A opção de projeto evita fixações de difícil movimentação?
- Foram projetadas vias acessíveis e identificáveis para as operações de desmontagem?
- A opção de projeto busca um fácil acesso e inspeção dos pontos de separação dos componentes?

j. Usar sistemas de junção removíveis

- A opção de projeto usa juntas de garras de duas vias?
- A opção de projeto usar juntas de garras que se abram com instrumentos que se encontrem facilmente?
- A opção de projeto usa juntas de garras que se abram somente com instrumentos especiais quando existir risco de abertura involuntária de uma das partes?
- A opção de projeto utiliza junções com materiais que se tornem reversíveis apenas em condições especiais?
- A opção de projeto usa parafusos de cabeças hexagonais?
- A opção de projeto prevê o atravessamento do parafuso para travá-lo com um pino ou clipe, para que se possa removê-lo novamente?
- A opção de projeto usa parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem do material?

k. Quando usar sistemas de junção permanente, que estes sejam de fácil extração

- Foram evitados rebites em materiais incompatíveis entre si?
- Foram evitados sistemas de pressão em materiais incompatíveis entre si?
- A opção de projeto evita a colagem com adesivos?
- A opção de projeto usa adesivos, quando necessário, de fácil remoção?

**LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS
(continuação)**

l. Prever tecnologias e equipamentos específicos para a desmontagem destrutiva

- A opção de projeto predispõe áreas de quebra em locais pré-estabelecidos para a eliminação dos insertos incompatíveis com os materiais utilizados?
- Foram predeterminadas áreas de corte ou fratura para a separação de materiais incompatíveis, por meio de tecnologias apropriadas de separação?
- No produto, o projeto prevê a inclusão de elementos ou dispositivos de separação dos materiais incompatíveis entre si?
- Foram usados elementos de junção que possam ser destruídos física ou quimicamente?
- A opção de projeto torna as áreas de ruptura facilmente acessíveis e identificáveis?
- Foram descritas as possíveis modalidades de quebra, indicando-as no próprio produto?

m. Adotar a reciclagem em efeito cascata

- A opção de projeto predispõe e facilita a reciclagem dos materiais com componentes de qualidades mecânicas inferiores?
- A opção de projeto predispõe e facilita a reciclagem dos materiais com componentes de qualidades estéticas inferiores?
- A opção de projeto predispõe e facilita a recuperação por combustão do conteúdo energético dos materiais?

n. Escolher materiais com tecnologias de reciclagem eficientes

- Foram escolhidos aqueles materiais que facilmente recuperam as características das suas serventias iniciais?
- Foram evitados os materiais compostos e, caso necessário, escolhidos aqueles compatíveis e com uma tecnologia de reciclagem mais eficiente?
- A opção de projeto considera a relação entre o produto e o material a ser utilizado?

o. Facilitar a recolha e o transporte após o uso

- A opção de projeto contempla o sistema de recuperação dos produtos eliminados (não mais usados)?
- A opção de projeto minimiza o peso do produto?
- A opção de projeto minimiza o volume e tornar facilmente empilháveis os produtos eliminados?
- A opção de projeto considera a facilidade de compactação dos produtos eliminados?
- Foram fornecidas ao usuário informações sobre como se desfazer do produto?

**LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS
(continuação)**

p. Identificar os materiais

- Os vários materiais foram codificados para definir o seu tipo?
- São fornecidas informações complementares sobre a idade do material, o número de reciclagens já efetuadas e os aditivos utilizados?
- Foi indicada a presença de componentes contaminantes ou materiais tóxicos e danosos?
- Foram usados sistemas standard de identificação?
- Os códigos foram posicionados em lugares bem visíveis?
- Foram evitadas operações de codificação posteriores à produção dos componentes?

q. Minimizar o número de materiais incompatíveis entre si

- A opção de projeto prevê a integração das funções, minimizando o número de componentes e de materiais empregados?
- Quando possível, foi previsto o uso somente de um tipo de material em um produto ou em um subconjunto do produto, isto é, foi aplicada a estratégia do monomaterial?
- Em estruturas modulares, foram usados materiais homogêneos, com diferentes processos de transformação?
- Em um mesmo produto ou subconjunto, foram usados materiais compatíveis entre si?
- Foram usados sistemas e elementos de união iguais aos materiais dos componentes que devam ser unidos, ou compatíveis com eles?

r. Facilitar a limpeza

- Foram evitados tratamentos desnecessários de superfícies?
- Foram evitados acabamentos de difícil remoção?
- A remoção dos acabamentos de superfícies foi facilitada?
- Foram usados tratamentos de superfície compatíveis com os materiais subordinados?
- Foram evitar adesivos?; caso eles sejam indispensáveis, foram escolhidos os que sejam compatíveis com o material que deve ser reciclado?
- Foi evitado o acréscimo de materiais para assinalar e codificar?

s. Facilitar a combustão

- Foram usados materiais com alto poder de combustão nos produtos que devem ser incinerados?
- Foram evitados materiais que produzam substâncias nocivas durante a combustão?
- Foram evitados aditivos que produzam substâncias perigosas durante a combustão?
- A separação dos materiais que tornam ineficiente ou dificultam o processo de combustão foi facilitada?

LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS (continuação)	
t. Facilitar a compostagem	<ul style="list-style-type: none"> - Foram usados materiais degradáveis em relação ao ambiente de despejo? - Foi evitada a inserção de materiais não biodegradáveis nos produtos destinados à compostagem? - A separação dos materiais não biodegradáveis foi facilitada?

Quadro 11 - Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de descarte do produto.

LISTA DE VERIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA O PROJETO DE BELICHES EM PINUS	
4 - MINIMIZAR A CARGA AMBIENTAL ASSOCIADA AO USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS (Linhas Guias para a Escolha de Recursos Energéticos de Baixo Impacto Ambiental)	
a. Escolha de recursos energéticos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> - A opção de projeto evita o uso de materiais tóxicos e danosos no produto? - Foram escolhidas fontes energéticas renováveis? - Foram escolhidas fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas durante as fases de pré-produção e produção? - Foi estabelecido o uso de fontes energéticas locais? - Foram escolhidas fontes energéticas que minimizam as missões nocivas durante a fase de distribuição? - Foram escolhidas fontes energéticas que minimizam os lixos e as escórias tóxicas nocivas? - Foi prevista a adoção de uma relação em efeito cascata? - Foram escolhidas fontes energéticas com alto rendimento de segunda ordem?

Quadro 12 - Lista de Verificação ambiental para o projeto de beliche em Pinus para diminuição do impacto ambiental provocado pelo processo de uso recursos energéticos.

Esta Lista de Verificação foi realizada transformando-se em perguntas apenas as Linhas Guias aplicáveis a este tipo de produto, e poderá ser utilizada no processo de projeto de novos produtos similares com orientação ecológica pela equipe de desenvolvimento da empresa ou por equipe externa prestadora de serviços, já nas

fases iniciais de projeto, com a finalidade de verificar e incluir os requisitos ambientais juntamente com os requisitos tradicionais de projeto.

Salienta-se como finalidade desta Lista de Verificação específica para o produto analisado, conforme visto no Capítulo 3, a difusão dos objetivos de melhora ambiental entre os demais atores envolvidos no ciclo de vida do produto, quais sejam fornecedores, revendedores e usuários dos produtos produzidos pela organização, uma vez que a participação destes mostrou-se fundamental para a empresa alcançar os objetivos de melhora ambiental determinados pela aplicação do procedimento.

4.5 Considerações sobre as Ferramentas Selecionadas para o Procedimento

A seguir, será realizada uma análise sobre o desempenho das ferramentas para o Design do Ciclo de Vida selecionadas para o procedimento, assinalando-se os aspectos positivos e limitações percebidas na aplicação conjunta de tais ferramentas no ambiente empresarial selecionado para o presente estudo de caso.

4.5.1 Etapa 1: Desempenho da Ferramenta de Análise de Impacto – Eco-it

Por se tratar de uma ferramenta voltada especificamente para o design de produtos, o programa computacional Eco-it, utilizado na primeira etapa do modelo proposto, proporcionou a obtenção de resultados fáceis de serem interpretados pela figura do designer ou pela equipe de desenvolvimento de produtos, uma vez que apresentados sob a forma de eco-pontos, ou seja, quanto mais alta a pontuação obtida por uma entrada no sistema, maior o impacto ambiental produzido.

A facilidade de obtenção das informações necessárias para a realização da análise e a simplicidade de operação do programa computacional Eco-it possibilitam que análises do gênero entrem no processo habitual de projeto da empresa

estudada, sem que seja necessária a contratação de profissionais externos aos quadros atuais da empresa.

Devido ao fato da ferramenta não ocasionar o aumento relevante dos custos de projeto, representados apenas pela obtenção do programa, nem o acréscimo do tempo necessário para a obtenção dos resultados, acrescido apenas do tempo necessário à coleta de informações pelo fabricante, esta ferramenta analítica mostrou-se perfeitamente adaptável à atual estrutura de desenvolvimento da empresa, proporcionando a geração de soluções com qualidades ambientais superiores impossíveis de serem obtidas sem sua utilização.

Cumprido esclarecer que os custos atuais de obtenção do programa são de 60 Euros, sendo que, uma vez obtido o programa, este pode ser utilizado por tempo indefinido, para um número ilimitado de projetos, diluindo conseqüentemente os custos iniciais de obtenção do programa.

Conforme afirmado no Capítulo 3, a realização de ACVs completas, é recomendável para a posterior confirmação da exatidão de análises realizada por ferramentas para ACVs simplificadas, como é o caso da ferramenta computacional Eco-it selecionada pelo modelo.

Contudo, por se tratar de uma ferramenta utilizada para uma primeira análise abrangente, ou seja, como procedimento a ser realizado dentro do processo habitual de projeto e desenvolvimento de produtos, obedecendo a todas as limitações impostas pela estrutura da empresa estudada, a ferramenta computacional Eco-it apresentou resultados satisfatórios.

A possibilidade de expansão do banco de dados, apesar de exigir conhecimentos específicos sobre o método de cálculo EI-99, pode ampliar consideravelmente o número de processos e materiais padrão, mitigando qualquer limitação que, ocasionalmente, venha a ser detectada no banco de dados da ferramenta.

4.5.2 Etapa 2: Desempenho da Ferramenta de Auxílio ao Projeto – Linhas Guias

As Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, utilizadas na segunda fase do modelo, mostraram-se bastante abrangentes e esclarecedoras quando confrontadas com os resultados de análise do impacto ambiental, obtidos com a aplicação da primeira ferramenta do modelo.

Por se tratarem de estratégias ambientais de projeto que abrangem todas as fases do ciclo de vida, permitem a total visualização das opções de melhora ambiental do produto, que podem ser selecionadas sem que possibilidades sejam descartadas antes de uma análise prévia pela equipe de projeto.

Sua aplicação conjunta com a primeira ferramenta permitiu superar as limitações de ambas ferramentas quando utilizadas isoladamente, ou seja, direcionando a atuação do designer em relação a objetivos de melhora pré-estabelecidos, evitando a transferência do impacto ambiental de uma fase do ciclo de vida para outra, e possibilitando, também, uma priorização das estratégias mais adequadas para o produto analisado.

A possibilidade de hierarquizar as Linhas Guias como forma de atender às necessidades de melhora ambiental mais latentes no produto B-73 permitiu a definição do melhor conjunto de estratégias ambientais de projeto, conforme os objetivos pretendidos pelo presente estudo.

4.5.3 Etapa 3: Considerações sobre a Lista de Verificação

Através da utilização de duas ferramentas para o Design do Ciclo de Vida existentes, o estudo de caso conduzido no capítulo quatro possibilitou o desenvolvimento uma nova ferramenta para verificação e inclusão dos requisitos ambientais no processo de projeto, específica para atender às características de beliches em Pinus e seus respectivos objetivos de melhora ambiental.

Uma restrição que poderá surgir durante o processo de utilização desta ferramenta pela equipe de projeto e desenvolvimento é o fato desta fornecer indicações amplas e compreensivas, correndo o risco de se tornar uma ferramenta extremamente abrangente e, por isso, superficial.

Desta forma, sugere-se o aperfeiçoamento contínuo da ferramenta através da inclusão de observações feitas pela equipe de projeto e demais atores envolvidos sobre a aplicabilidade das estratégias apontadas, bem como, através de revisões futuras embasadas no desempenho dos produtos decorrentes da utilização do modelo em relação aos objetivos de melhora ambiental estabelecidos.

4.6 Conclusões sobre os Resultados Obtidos

A análise global da carga ambiental representada pelo produto referência B-73, possibilitada pela aplicação da ferramenta Eco-it, permitiu o levantamento de informações altamente relevantes relativas à carga ambiental provocada pelo produto, salientando a importância do pensamento sistêmico de projeto e da utilização de ferramentas adequadas para análise do impacto ambiental provocado pelos produtos industriais já no início do processo de desenvolvimento de produtos com características ambientais.

Como resultado mais significativo obtido pela aplicação da ferramenta de análise de impacto ambiental utilizada na primeira etapa do modelo, destaca-se a detecção do valor mais alto por processo atribuída ao transporte do produto por veículo de passageiro até o seu local de uso.

Tal análise de impacto apontou a importância deste processo que, não fosse a realização de uma análise do Ciclo de Vida, poderia passar despercebido no processo habitual de projeto do produto.

Uma vez que esta fase de transporte ocorre nos Estados Unidos da América, pode-se presumir que as condições médias de eficiência dos sistemas de transporte do país sejam similares às condições europeias, utilizadas para o cálculo do valor do indicador utilizado pelo programa, apontando, assim, valores bastante realistas.

A ausência de tal análise, portanto, poderia levar ao uso de estratégias equivocadas de projeto, uma vez que os esforços de design e, conseqüentemente as estratégias ambientais de projeto apontadas pela segunda ferramenta, poderiam priorizar outros aspectos, tais como a utilização de matérias-primas e energia,

aspectos estes secundários de acordo com a análise realizada.

A forma simples e veloz de apresentação dos resultados da primeira ferramenta possibilitou a análise comparativa dos possíveis cenários de descarte do produto, tarefa que seria impossível realizar durante o processo habitual de projeto sem a utilização de uma ferramenta para o Design do Ciclo de Vida que realizasse uma ACV simplificada, conforme propõe o modelo.

Os aspectos culturais, que variam de país para país, dificultaram a previsão da vida útil do produto e demonstraram que o atual paradigma de consumo, principalmente em países desenvolvidos, pode agravar seriamente os danos provocados ao meio ambiente através de uma prática de substituição dos produtos quando estes ainda se encontram em perfeito estado de uso.

Assim, percebe-se que algumas soluções importantes para a melhora do desempenho ambiental do produto B-73, principalmente as relativas ao comportamento de descarte e substituição de produtos, não estão diretamente sob a responsabilidade e decisão da empresa fabricante do produto, dependendo principalmente da atuação de outros atores envolvidos no ciclo de vida. Tais soluções, portanto, devem ser incentivadas ou facilitadas através de ações de projeto, ou seja, através das estratégias ambientais de projeto praticadas pela equipe de design e desenvolvimento da empresa.

O surgimento de uma Lista de Verificação específica para o aprimoramento ambiental do produto B-73, ou para o projeto de novos produtos similares desenvolvidos pela empresa estudada, elucida estratégias para a inclusão dos requisitos ambientais perante a equipe de desenvolvimento, bem como, fornece um instrumento eficaz para verificação ambiental do produto ou das opções de projeto surgidas durante o processo criativo.

Além disso, pode ser o embasamento teórico e ponto de partida para a criação de materiais educativos e de divulgação dos objetivos de melhora ambiental perseguidos pela empresa, a serem disseminados entre todos os elos da cadeia produtiva: gerência, funcionários da linha de produção, fornecedores de matérias-primas, componentes e serviços, revendedores e consumidores finais dos produtos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

As conclusões apresentadas neste capítulo representam uma síntese da pesquisa realizada e do procedimento proposto em relação aos objetivos estabelecidos no início do trabalho.

Para a definição do procedimento proposto pela pesquisa foi realizada uma pesquisa bibliográfica que apontou a introdução dos requisitos ambientais como um parâmetro de otimização a ser abordado dentro do processo habitual de desenvolvimento de produtos das empresas, observando-se para tanto alguns princípios genéricos apresentados no capítulo 2 que visam assegurar a efetividade na obtenção de resultados.

A utilização de critérios para a seleção das ferramentas para o Design do Ciclo de Vida utilizadas pelo procedimento, quais sejam, confiabilidade dos dados obtidos em relação à análise do impacto ambiental provocado pelo produto, simplicidade de utilização e análise dos dados, baixo custo de obtenção e aplicação das ferramentas e curto período de tempo para obtenção de resultados, mostrou-se eficaz para o alcance do primeiro objetivo específico estabelecido pela pesquisa.

Tais critérios permitiram a integração da variável ambiental enquanto estratégia de inovação no design de produtos, ou seja, enquanto fator de criação de diferencial competitivo a ser introduzido pela figura do designer, esteja este atuando isoladamente em estruturas de desenvolvimento flexíveis ou em conjunto com equipes multidisciplinares.

A ferramenta de Análise e Avaliação do Impacto Ambiental, selecionada para a primeira etapa do procedimento proposto, apresentou os desempenhos esperados por permitir a identificação e a análise do impacto ambiental provocado por um produto referência, bem como, a determinação das fases do ciclo de vida e dos processos onde ocorrem os impactos ambientais mais significativos, atingindo, desta forma, o segundo e terceiro objetivos específicos estabelecidos.

O quarto objetivo específico da pesquisa estabelece que os resultados obtidos na primeira etapa do procedimento sejam relacionados a uma segunda ferramenta de Auxílio ao Projeto de Produtos e Serviços de Baixo Impacto Ambiental.

A forma de apresentação dos resultados apresentada pela ferramenta de análise de impacto Eco-it, através da atribuição de eco-pontos aos processos e às fases do ciclo de vida onde estes são realizados, demonstrou ser perfeitamente compatível e complementar às características da segunda ferramenta selecionada para o procedimento, permitindo que este objetivo específico fosse atingido plenamente.

A utilização das Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, na segunda etapa do procedimento, possibilitou a análise de estratégias ambientais de projeto que abrangem todas as fases do ciclo de vida do produto, permitindo a consideração de todos os impactos ambientais relevantes, qualquer seja a fase do ciclo de vida do produto ou processo em que estes se encontrem.

A identificação de tais estratégias ambientais de projeto e sua avaliação em relação aos objetivos de melhora definidos pela primeira ferramenta, permitiu a afirmação do melhor conjunto de estratégias de projeto específicas para minimizar os danos ambientais provocados pelo produto referência estudado, bem como, o desenvolvimento de uma Lista de Verificação especificamente projetada para a inclusão e verificação dos requisitos ambientais no processo de projeto de beliches em Pinus, atendendo ao quinto e sexto objetivos específicos, respectivamente.

Assim, pode-se afirmar que o desenvolvimento desta terceira ferramenta, resultado maior originado pela aplicação do procedimento, possibilitou o alcance do objetivo geral da pesquisa, uma vez que irá permitir a inclusão e verificação dos requisitos ambientais no processo de projeto de novos produtos pela organização selecionada para o estudo, bem como, para o incremento do desempenho ambiental do produto referência selecionado para análise, fornecendo informações precisas para o designer industrial ou equipe de desenvolvimento com atribuições ambientais.

As ferramentas utilizadas pelo procedimento proposto evidenciaram sua aplicabilidade dentro realidade da empresa estudada, do produto analisado e da

equipe de projeto envolvida, justificando a construção do presente procedimento e sua validade, bem como, permitindo superar as limitações destas ferramentas para o Design do Ciclo de Vida quando utilizadas isoladamente.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

A pesquisa realizada, bem como os resultados obtidos com a prática do procedimento proposto em ambiente empresarial, descrita no capítulo 4, identificaram as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Ampliação da estrutura e dos limites da análise de impacto ambiental realizada para obtenção de resultados mais específicos em relação às embalagens, componentes e vernizes utilizados pelo produto. Tal operação pode ser realizada através da inclusão de ciclos de vida adicionais no programa Eco-it, utilizado na primeira etapa do procedimento, uma vez que esta ferramenta permite que tal operação seja realizada na página referente à fase de uso do produto;
- Substituição da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida Simplificada por uma ferramenta de Análise do Ciclo de Vida Completa com a finalidade de corroborar os resultados alcançados ou avaliar possíveis diferenças, bem como, identificar dentre as demais ferramentas aquelas com propriedades superiores às apresentadas pela ferramenta de análise de impacto sugerida pelo procedimento proposto;
- Aplicação do modelo em uma organização pertencente a outro setor produtivo. Esta recomendação pretende verificar a aplicabilidade do procedimento e a propriedade das ferramentas propostas em outras realidades produtivas e de projeto;
- Quantificar a melhora ambiental possibilitada com a aplicação do modelo nas opções de projeto surgidas no decorrer do processo criativo. A re-aplicação da ferramenta de Análise e Avaliação de Impacto Ambiental nas

opções de projeto surgidas com a aplicação do procedimento permite quantificar as melhoras ambientais conseguidas pelos produtos, fornecendo importantes dados para avaliar os resultados obtidos e sustentar a natureza contínua intrínseca ao processo de melhora das qualidades ambientais dos produtos.

5.3 Considerações

A pesquisa pode ser considerada bem sucedida por fornecer um procedimento prático para verificação e inclusão dos requisitos ambientais no desenvolvimento de projetos que pode ser aplicado já nas fases iniciais de desenvolvimento e, teoricamente, em qualquer tipo de produto ou organização.

Por não interferir no processo habitual de desenvolvimento de projetos da empresa, uma vez que não vincula a aplicação do procedimento a fases determinadas do processo de desenvolvimento, possibilita a adaptação do mesmo às diversas realidades locais, independente das características e particularidades de cada organização, do produto e da equipe de projeto envolvida.

O presente procedimento possibilita ao profissional de projeto exercer atuação como designer/pesquisador e como designer/projetista, ou seja, colaborando com o processo de projeto no fornecimento de instrumentos exclusivos e intervenções pontuais, bem como aplicando tais intervenções diretamente no projeto de produto ou no desenvolvimento de conceitos em uma equipe multidisciplinar, respectivamente.

Salienta-se, também, o mérito da pesquisa enquanto agente divulgador da metodologia do Design do Ciclo de Vida entre a comunidade de designers e profissionais relacionados à área de projeto e desenvolvimento de produtos, permitindo uma visão ampla das implicações ambientais dos produtos e das ferramentas de projeto ambiental existentes, bem como, favorecendo o alcance de um dos requisitos para o desenvolvimento sustentável, qual seja a criação de uma quantidade cada vez maior de produtos ambientalmente orientados.

REFERÊNCIAS

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

BOVEA, María D.; VIDAL, Rosario. Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. **Materials & Design**, v.25, p.111-116, 2004.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos** – ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Quality Ed. 1998.

CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL. **O que é FSC?** Disponível em: <http://www.fsc.org.br> Acesso em 10 nov. 2004.

EUROPEAN FOREST INSTITUTE AND THE FEDERAL RESEARCH CENTRE FOR FORESTRY AND FOREST PRODUCTS, nº8, 1995, Hamburg. **Life Cycle Analysis** - a challenge for forestry and forest industry. Disponível em: <http://www.pre.nl/LCAsearch/default.htm> Acesso em: 17 nov. 2004.

GIL, Antonio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas. 1991.

GOEDKOO, Mark. **User Manual ECO-it 1.1**. 2001. Disponível em: <http://www.pre.nl> Acesso em: 30 ago. 2004.

GOEDKOO, Mark; EFFTING, Suzanne; COLLIGNON, Marcel. **The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment** – Manual for Designers 2000. Disponível em: <http://www.pre.nl> Acesso em: 03 mai. 2004.

HANSSEN, O.J. Sustainable product systems – experiences based on case projects in sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v.7, p.27-41, 1999.

HEISKANEN, Eva. Every product casts a shadow: but can we see it, and can we act on it? **Environmental Science & Policy**, v.2, p.61-74, 1999.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Certificados ISO 14001 emitidos no Mundo, por países**. 2004. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/gestao14001/paises.asp?continente=AM&Chamador=INMETRO14> Acesso em 22 out. 2004.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO/ PDTR 14062: Environmental management – Integrating environmental aspects into product design and development**. 2001. Disponível em: <http://www.cgecon.mre.org.br>. Acesso em: 15 jun. 2004.

JONES, E.; STANTON N.A.; HARRISON D. Applying structured methods to Eco-innovation. An evaluation of the Product Ideas Tree diagram. **Design Studies**, v.22, p.519-542, 2001.

KEOLEIAN, G.A.; KAR K. Elucidating complex design and management tradeoffs through life cycle design: air intake manifold demonstration project. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.61-77, 2003.

KHAN, F. I.; SADIQ, R.; VEITCH, B. Life Cycle index (LinX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. **Journal of Cleaner Production**, v.12, p.59-76, 2004.

LEWIS. Helen et al. **Design + Environment: a global guide to designing greener goods**. Sheffield UK: Greenleaf Publishing, 2001.

LOFTHOUSE, Vicky. Investigation on the role of core industrial designers in ecodesign projects. **Design Studies**, v.25, p.215-227, 2004.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MARRAS, I. UNEP: the power of choice. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.927-929, 2003.

MAXWELL, D.; VAN DER VORST, R. Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.883-895, 2003.

MCSPRIT, Kelly. Sustainable Consumption: Patagonia's Buy Less But Buy Better. **Corporate Environmental Strategy**, v.5, p. 32-40, 1998.

NIELSEN, P.H.; WENZEL, H. Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v.10, p.247-257, 2002.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 121 p., 3ª ed. Rev. Atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

STROBEL, Juliana S. **Ferramentas de Projeto para o Meio Ambiente**. Florianópolis, 11 p. Inédito.

TEATINO, Antonia. **SPL & LCD: Competenze, strumenti e strategie progettuali per la diffusione di Life Cycle Design nei Sistemi Produttivi Locali**. 535 f. Tese (Doutorado de Pesquisa em Desenho Industrial e Comunicação Multimídia) – Facoltà del Design – Terza Facoltà di Architettura Politecnico di Milano. Milão, 2002.

UNITED NATIONS. **World Summit on Sustainable Development**. 2002. Disponível em: <http://www.johannesburgsummit.org/html/brochure/brochure12.pdf> Acesso em: 11 out. 2004.

VEZZOLI, Carlo. A new generation of designer: perspectives for education and training in the field of sustainable design. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.1-15, 2003.

YIN, Robert K., **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BACCI, M.G. **Dizionario della Lingua Italiana**. Val di Pesa: Editorial Zeus, 1996.

CRUZ, Carla; RIBEIRO, Uirá. **Metodologia Científica: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2003.

DOMUS. Milão: Editoriale Domus, nº789, jan. 1997. 148p.

GRUTTER, Jürg M.; EGLER, Hans-Peter. From cleaner production to sustainable industrial production modes. **Journal of Cleaner Production**, v.12, p.249-256, 2004.

HIRSCHL, B.; KONRAD W.; SCHOLL G. New concepts in product use for sustainable consumption. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.873-881, 2003.

ISO – International Organization for Standardization. **The ISO 14000 model**. Environmental management. 2002. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/en/prods-services/otherpubs/iso14000/mode.pdf> Acesso em: 18 jul. 2003.

JANSEN, L. The challenge of sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.231-245, 2003.

JINCHENG, Xu et al. Research and development of the object-oriented life cycle assessment database. **Materials & Design**, v.22, p.101-105, 2001.

KEIJZERS, Gerard. The transition to the sustainable enterprise. **Journal of Cleaner Production**, v.10, p.349-359, 2002.

MANZINI, Ezio; SUZANI, Marco (Org). **The Solid Side**. 175p. Holanda: V+K Publishing/Philips Corporate Design, 1995.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.851-857, 2003.

MICHAELIS, L. The role of business in sustainable consumption. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.915-921, 2003.

MICHELINI, R.C.; RAZZOLI, R.P. Product-service eco-design: Knowledge-based infrastructures. **Journal of Cleaner Production**, v.12, p.415-428, 2004.

MONT, O.K. Clarifying the concept of product-service system. **Journal of Cleaner Production**, v.10, p.237-245, 2002.

PARKER, John; STAHEL, Mônica. **Password: English Dictionary for Speakers of Portuguese**. 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

PRATES, Gláudia Aparecida. **Ecodesign utilizando QFD, métodos Taguchi e DFE**. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

PUN, Kit-Fai et al. A multiple-criteria environmental impact assessment for the plastic injection molding process: a methodology. **Journal of Cleaner Production**, v.11, p.41-49, 2003.

RAMOS, Jaime. **Alternativas para o projeto ecológico de produtos**. 151 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

STOYELL J.L. et al. Analyzing design activities which affect the life-cycle environmental performance of large made-to-order products. **Design Studies**, v.22, p.67-86, 2001.

THOMPSON, Brian. Environmentally-sensitive design: Leonardo WAS right!. **Materials & Design**, v.20, p.23-30, 1999.

TRIGUEIRO, André (Org.). **Meio Ambiente no Século XXI: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

ANEXOS

Anexo 1: Tabelas de Efeitos Ambientais. (MANZINI; VEZZOLI, 2002 e TRIGUEIRO, 2003).

EFEITOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

AQUECIMENTO GLOBAL

- A temperatura nas camadas mais baixas da atmosfera vem sofrendo um acréscimo constante devido ao aumento do efeito estufa, fenômeno natural responsável por manter a temperatura da terra em equilíbrio.
- Este fenômeno é provocado pelo acúmulo de gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrogênio (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs), ozônio (O_3) e vapores de água na atmosfera, que impedem a dispersão do calor do planeta, e vem sendo ampliado de modo nocivo devido às atividades humanas, podendo determinar sérias mudanças climáticas.
- Uma das maiores fontes de emissão de gases de efeito estufa é a queima de combustíveis fósseis como carvão mineral, petróleo e gás para a produção de energia.
- Assim, fica evidente a relevância deste efeito no ciclo de vida de produtos que utilizam energia para seu funcionamento, principalmente, dos automóveis e condicionadores térmicos (refrigeração ou aquecimento).
- Também o desmatamento por incêndio e o uso de fertilizantes na agricultura podem liberar gases que contribuem para o aumento do efeito estufa de maneira perigosa.

REDUÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

- O Ozônio (O_3) forma uma camada na atmosfera responsável por proteger o planeta das radiações solares ultravioletas, nocivas à fauna e flora e responsáveis pelo surgimento de doenças como tumores de pele e catarata nos seres humanos.
- Esta camada vem sendo rarefeita devido ao aumento das emissões de substâncias como o CFC, HCFC e tetraclorometano, que podem produzir tal efeito por até 20 anos quando dispersos no ambiente.
- Os principais responsáveis pela emissão destes gases são a queima de combustíveis fósseis, os sistemas de refrigeração e de ar condicionado, as espumas expandidas que contêm CFC, os solventes à base de cloro para lavagem a seco, os vernizes diluídos à base de solventes ou os sprays que usam CFC como propelente.

REDUÇÃO DA BIODIVERSIDADE

- Biodiversidade é o termo utilizado para designar a diversidade de organismos vivos e espaços em que vivem, tanto em relação à quantidade de diferentes categorias biológicas quanto à sua abundância.
- A redução da biodiversidade pode ocorrer devido ao desenvolvimento urbano, atividades de mineração, extração de madeira ou limpeza de áreas para cultivo em zonas de mata nativa, poluição do ar, do solo ou dos cursos de água, sendo que as florestas tropicais encontram-se entre as áreas de maior biodiversidade e, ao mesmo tempo, entre as áreas mais expostas à extinção de espécies.
- O designer deve estar consciente que a utilização de qualquer material de origem biológica, como a madeira, pode produzir efeitos de redução de biodiversidade, sendo que estratégias de seleção cuidadosa da origem dos materiais, busca da maior eficiência no uso de tais materiais e uso de materiais reciclados e sobras de produção podem amenizar o problema.

EFEITOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

ESGOTAMENTO DOS RECURSOS NATURAIS

- Muitos dos recursos naturais que utilizamos são provenientes de fontes não renováveis, com o petróleo, representando um problema em relação ao paradigma da sustentabilidade.
- O design pode contribuir para minimizar os efeitos do uso inadvertido de recursos naturais através da escolha por fontes de energia renováveis, da busca pela eficiência no uso dos materiais e da utilização de estratégias de projeto que permitam a recuperação dos materiais através da reciclagem no final da vida dos produtos.

ACIDIFICAÇÃO

- A chuva ácida é provocada basicamente pelo óxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e outros poluentes liberados para a atmosfera com a queima de combustíveis fósseis e pode ser transportada por muitos quilômetros através das correntes de ar antes de chegar ao solo.
- Os efeitos da chuva ácida são a devastação da vegetação e da fauna selvagem, bem como, o impedimento de crescimento da vegetação urbana, corrosão de edificações e contaminação dos lençóis de água.
- Entre as atividades que provocam emissões responsáveis pela formação da chuva ácida estão a utilização de máquinas industriais, a atividade de refinarias e centrais elétricas, o uso de produtos que contenham amoníaco e o uso de adesivos e tintas à base de solvente.
- É prioritário ao designer escolher fontes de energia limpas e projetar para a máxima eficiência, bem como, evitar as substâncias descritas acima.

POLUIÇÃO DA ÁGUA E DO AR

- As causas mais comuns da poluição das águas são o despejo de resíduos dos processos industriais em efluentes, o despejo impróprio de lixo doméstico, que pode contaminar inclusive os lençóis freáticos, e a contaminação por fertilizantes utilizados na agricultura.
- O uso de detergentes utilizados por máquinas domésticas também provoca grande impacto na qualidade das águas, sendo que o designer deve ter em mente este problema no momento de projeto para buscar soluções que minimizem o uso da água e priorizem o uso de detergentes biodegradáveis.
- Já a incineração sem sistemas de filtragem adequados, as emissões da indústria, a atividade de refinarias e centrais elétricas, a queima de combustíveis fósseis e o consumo de energia elétrica nas residências e escritórios, também são fatores que agravam a poluição nas cidades provocando a contaminação do ar.
- Os efeitos deste tipo de poluição podem ser extremamente danosos para a saúde humana, à fauna e flora, contribuindo também para o aumento do aquecimento global, redução da camada de ozônio e aparecimento de chuva ácida.
- O aumento da frota veicular movida a óleo diesel é um fator agravante deste tipo de problema, sendo que o design deve procurar a redução destas emissões e favorecer o uso de combustíveis limpos e de fontes renováveis.

EFEITOS AMBIENTAIS PROVOCADOS PELOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

EUTROFIA

- A eutrofia é o fenômeno que determina um excessivo acúmulo de nutrientes no terreno, provocado pelo uso de fertilizantes à base de nitratos e fosfatos na agricultura, pelos esgotos e descarga urbana e pelas descargas industriais.
- Pode provocar um crescimento excessivo de algas aquáticas, morte da fauna e poluição das bacias, impedindo seu uso no fornecimento hídrico ou balneário.
- Nos terrenos, pode impedir o crescimento de determinados tipos de plantas e favorecer a monocultura.

LIXOS E DESCARTES

- Uma vez que a quantidade de resíduos sólidos está em contínuo crescimento, aumentam também os problemas em relação à quantidade de espaço disponível para eliminação, contaminação do solo e do lençol freático, do odor e dos processos de transporte.
- Estes problemas podem ser minimizados através do projeto de estratégias adequadas de descarte dos produtos e de escolha de materiais biodegradáveis.
- O papel do consumidor está na escolha por produtos duráveis e com poucas embalagens, em comportamentos que priorizem a doação de produtos ao descarte, e da utilização intensificada, prolongando a vida útil do produto e conseqüentemente postergando a fase de descarte.

TOXINAS NO AR, ÁGUA E SOLO

- O acúmulo de toxinas que não se degradam com o tempo pode surgir através de substâncias como metais pesados, pesticidas clorados, substâncias químicas como os PolíCloroBifeníles (PCB) e os PolíCloroTrifeníles (PCT), do petróleo e óleos já consumidos e substâncias radioativas.
- Estas substâncias podem entrar na cadeia alimentar de seres humanos e animais que serão posteriormente consumidos pelo homem, provocando o acúmulo de toxinas em seus tecidos e doenças relacionadas, como câncer.
- Os produtos que utilizam baterias que podem ser impropriamente descartadas, os isolantes de transformadores e condensadores que contenham PolíCloroBifenil (PCB), o uso de pesticidas, o uso de substâncias com amianto, a combustão do fumo dos cigarros, entre outros, podem provocar a emissão de tais toxinas e, conseqüentemente, devem ser evitados.

Anexo 2: Linhas Guias para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis.
(MANZINI; VEZZOLI, 2002)

1- LINHAS GUIAS PARA MINIMIZAÇÃO DOS RECURSOS

NA PRODUÇÃO

a. Minimizar o conteúdo material de um produto

- Desmaterializar o produto ou algumas das suas partes
- Digitalizar o produto ou algumas das suas partes
- Miniaturizar
- Evitar dimensionamentos excessivos
- Minimizar os valores das espessuras dos componentes
- Usar nervuras para enrijecer as estruturas
- Evitar componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais

b. Minimizar perdas e refugos

- Escolher os processos produtivos que minimizem o consumo de materiais
- Adotar sistemas de simulação para a otimização dos parâmetros dos processos de transformação

c. Minimizar o consumo de energia para produção

- Escolher os processos produtivos com menor consumo energético
- Utilizar instrumentos e aparelhagens produtivas eficientes
- Utilizar o calor disperso por algum processo produtivo para o pré-aquecimento de alguns fluxos de determinados processos
- Utilizar sistemas de regulagem flexível da velocidade dos elementos de funcionamento de bombas ou outros motores
- Utilizar sistemas de interruptores inteligentes das aparelhagens
- Dimensionar os motores de maneira otimizada facilitar a manutenção dos motores
- Definir cuidadosamente os limites de tolerâncias
- Otimizar os volumes de compra dos lotes (estoques)
- Otimizar os sistemas de controle de estoques (inventário)
- Otimizar os sistemas e minimizar os pesos em todas as formas de transferência dos materiais e componentes semi-elaborados
- Utilizar sistemas eficientes de aquecimento, aeração e iluminação das edificações

d. Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento dos produtos

- Minimizar o consumo de materiais como papéis e embalagens
- Usar instrumentos informáticos para o projeto, modelagem e prototipia
- Usar instrumentos informáticos para arquivamento, comunicação escrita e apresentações
- Usar sistemas eficientes de aquecimento, ventilação e iluminação no local de trabalho
- Usar instrumentos de telecomunicações para atividades à distância

continua

1- LINHAS GUIAS PARA MINIMIZAÇÃO DOS RECURSOS (continuação)

NA DISTRIBUIÇÃO

a. Minimizar as embalagens

- Evitar excesso de embalagens
- Utilizar material somente onde for realmente útil
- Projetar a embalagem como parte integrada do produto

b. Minimizar os consumos no transporte

- Projetar produtos compactos com alta densidade de transporte e de armazenagem
- Projetar produtos concentrados
- Projetar produtos montáveis no local do uso
- Tornar os produtos mais leves
- Otimizar a logística

NO USO

- Projetar produtos de uso coletivo
- Projetar buscando a eficiência do consumo de recursos bastantes para o funcionamento do produto
- Projetar para a eficiência do uso dos recursos e manutenção
- Usar suportes digitais re-configuráveis
- Projetar sistemas com consumo variável de recursos para diferentes exigências de funcionamento
- Usar sensores para o ajuste dos consumos às exigência de funcionamento
- Incorporar nos produtos mecanismos programáveis para desligar automaticamente
- Fazer com que o estado default seja o de menor consumo possível
- Projetar sistemas com consumo passivo de recursos
- Adotar sistemas de transformação de energia de alto rendimento
- Usar motores com maior eficiência
- Projetar/adotar sistemas de transmissão de energia de alta eficiência
- Utilizar materiais ou componentes técnicos altamente isolados
- Projetar sistemas com isolamento ou distribuição de recursos precisos
- Minimizar o peso dos produtos que devem ser movidos
- Projetar sistemas de recuperação de energia e de materiais
- Facilitar o uso da economia de energias e de materiais

2- LINHAS GUIAS PARA ESCOLHA DE RECURSOS E PROCESSOS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

a. Escolha dos materiais e processos de baixo impacto

- Evitar inserir materiais tóxicos e danosos no produto
- Minimizar o risco dos materiais tóxicos e danosos
- Evitar aditivos que causam emissões tóxicas e danosas
- Evitar acabamentos tóxicos e danosos
- Escolher os materiais com menor conteúdo tóxico de emissões na pré-produção
- Projetar os produtos de maneira a evitar o uso de materiais de consumo tóxicos e danosos
- Minimizar a dispersão dos resíduos tóxicos e nocivos durante o uso
- Usar materiais renováveis
- Evitar usar materiais que estão para se exaurir
- Usar materiais que provenham de refugos de processos produtivos
- Usar componentes que provenham de produtos já eliminados
- Usar materiais reciclados, em separado ou junto com outros materiais virgens
- Escolher tecnologias de transformação dos materiais de baixo impacto
- Usar materiais biodegradáveis

b. Escolha de recursos energéticos de baixo impacto

- Evitar inserir no produto materiais tóxicos e danosos
- Escolher fontes energéticas renováveis
- Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas durante as fases de pré-produção e produção
- Escolher fontes energéticas locais
- Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas durante a fase de distribuição
- Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas na fase de uso
- Escolher fontes energéticas que minimizem os lixos e as escórias tóxicas nocivas
- Adotar uma relação do tipo efeito cascata
- Escolher fontes energéticas com alto rendimento de segunda ordem

3- LINHAS GUIAS PARA A OTIMIZAÇÃO DA VIDA DOS PRODUTOS

a. Projetar a durabilidade adequada

- Projetar vidas iguais para os vários componentes
- Projetar uma vida útil dos componentes correspondente à duração prevista para substituí-los durante o seu uso
- Escolher os materiais duráveis considerando as serventias e a vida útil do produto
- Evitar materiais permanentes para funções temporárias

b. Projetar a segurança ou confiabilidade

- Minimizar o número de partes e componentes
- Simplificar os produtos
- Evitar as junções frágeis

c. Facilitar a atualização e a adaptabilidade

- Predispor e facilitar a substituição, para a atualização das partes de software
- Facilitar a substituição, para a atualização das partes de hardware
- Projetar produtos modulares e reconfiguráveis para a adaptação em relação a diversos ambientes
- Projetar produtos reconfiguráveis/ou multifuncionais, para a adaptação em relação à evolução física e cultural dos indivíduos
- Projetar buscando facilitar a atualização no próprio lugar de uso
- Projetar buscando fornecer ao produto instrumentos e referências para a sua atualização e adaptabilidade

d. Facilitar a manutenção

- Facilitar a substituição das partes que necessitem de manutenção periódica, simplificando o acesso e remoção
- Facilitar o acesso às partes que devem ser limpas, evitando espaços e orifícios estreitos
- Prover e facilitar a substituição dos componentes de forma mais veloz
- Prover para que fiquem ao alcance de instrumentos a serem usados com maior facilidade
- Prover sistemas para a diagnose e/ou autodiagnose das partes a passar por manutenção
- Projetar para a manutenção ser fácil no próprio local de uso
- Projetar para fornecer, junto com o produto, instrumentos e instruções para a sua manutenção
- Projetar procurando reduzir as operações de manutenção

continua

3- LINHAS GUIAS PARA A OTIMIZAÇÃO DA VIDA DOS PRODUTOS (continuação)

e. Facilitar o reparo

- Predispor e facilitar a remoção e retorno das partes do produto que estão sujeitas a danos
- Projetar partes e componentes estandardizados
- Prover o produto de sistemas automáticos que identifiquem causas de avarias
- Projetar buscando facilitar o reparo no local de uso
- Projetar para fornecer junto com o produto, instrumentos, materiais e informações para seu reparo.

f. Facilitar a reutilização

- Incrementar a resistência das partes mais sujeitas a avarias e rupturas
- Predispor o acesso para facilitar a remoção das partes e componentes que podem ser reutilizados
- Projetar partes e componentes intercambiáveis e modulares
- Projetar partes e componentes estandardizados
- Projetar a reutilização de partes auxiliares
- Projetar a possibilidade de recarga e/ou reutilização das embalagens
- Projetar prevendo um segundo uso

g. Facilitar a re-fabricação

- Projetar procurando facilitar a remoção e a substituição das partes mais facilmente avariadas
- Projetar as partes estruturais separáveis das de acabamento
- Facilitar o acesso às partes que devem ser refeitas
- Prever tolerâncias adequadas nos pontos mais sujeitos às avarias
- Projetar partes e acabamentos reforçados para algumas superfícies que se deterioram

h. Intensificar a utilização

- Projetar produtos-serviços voltados para o uso compartilhado
- Projetar produtos-serviços voltados para o uso coletivo
- Projetar produtos multifuncionais com componentes comuns e substituíveis
- Projetar produtos com funções integradas.

4- LINHAS GUIAS PARA EXTENSÃO DA VIDA DOS MATERIAIS

a. Adotar a reciclagem em efeito cascata

- Predispor e facilitar a reciclagem dos materiais com componentes de qualidades mecânicas inferiores
- Predispor e facilitar a reciclagem dos materiais com componentes de qualidades estéticas inferiores
- Predispor e facilitar a recuperação pro combustão do conteúdo energético dos materiais

b. Escolher materiais com tecnologias de reciclagem eficientes

- Escolher aqueles materiais que facilmente recuperam as características das suas serventias iniciais
- Evitar os materiais compostos e, caso necessário, escolher aqueles compatíveis e com uma tecnologia de reciclagem mais eficiente
- Adotar nervuras e outras soluções geométricas par aumentar a rigidez dos polímeros, em vez de usar fibras metálicas de reforço
- Escolher de preferência os polímeros termoplásticos, em vez dos termo-rígidos
- Evitar os aditivos enrijecedores, usando termoplásticos resistentes às suas temperaturas de uso
- Projetar considerando a relação entre o produto e o material a ser utilizado

c. Facilitar a recolha e o transporte após o uso

- Projetar em relação ao sistema de recuperação dos produtos eliminados (não mais usados)
- Minimizar o peso do produto
- Minimizar o volume e tornar facilmente empilháveis os produtos eliminados
- Projetar considerando a facilidade de compactação dos produtos eliminados
- Fornecer ao usuário informações sobre como se descartar do produto

d. Identificar os materiais

- Codificar os vários materiais para definir o seu tipo
- Fornecer informações complementares sobre a idade do material, o número de reciclagens já efetuadas e os aditivos utilizados
- Indicar a presença de componentes contaminantes ou materiais tóxicos e danosos
- Usar sistemas standard de identificação
- Posicionar os códigos em lugares bem visíveis
- Evitar operações de codificação posteriores à produção dos componentes

continua

4- LINHAS GUIAS PARA EXTENSÃO DA VIDA DOS MATERIAIS (continuação)

e. Minimizar o número de materiais incompatíveis entre si

- Integrar as funções, minimizando o número de componentes e de materiais empregados
- Quando possível, usar somente um tipo de material em um produto ou em um subconjunto do produto, isto é, aplicar a estratégia do monomaterial
- Em estruturas modulares, usar materiais homogêneos, com diferentes processos de transformação
- Em um mesmo produto ou subconjunto, usar materiais compatíveis entre si
- Usar sistemas e elementos de união iguais aos materiais dos componentes que devam ser unidos, ou compatíveis com eles

f. Facilitar a limpeza

- Evitar tratamentos desnecessários de superfícies
- Evitar acabamentos de difícil remoção
- Facilitar a remoção dos acabamentos de superfícies
- Usar tratamento de superfície compatível com o material subordinado
- Evitar adesivos; caso eles sejam indispensáveis, escolher os que sejam compatíveis com o material que deve ser reciclado
- Optar pela pigmentação dos polímeros e não pela sua pintura
- Evitar processos de injeção contendo agentes contaminantes
- Evitar o acréscimo de materiais para assinalar e codificar
- Assinalar e codificar os componentes diretamente no molde de injeção do produto
- Codificar os polímeros utilizando o sistema a laser

g. Facilitar a combustão

- Usar materiais com alto poder de combustão nos produtos que devem ser incinerados
- Evitar materiais que produzam substâncias nocivas durante a combustão
- Evitar aditivos que produzam substâncias perigosas durante a combustão
- Facilitar a separação dos materiais que tornam ineficiente ou dificultam o processo de combustão

h. Facilitar a compostagem

- Usar materiais degradáveis em relação ao ambiente de despejo
- Evitar a inserção de materiais não biodegradáveis nos produtos destinados à compostagem
- Facilitar a separação dos materiais não biodegradáveis

5- LINHAS GUIAS PARA FACILITAR A DESMONTAGEM

a. Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação

- Tornar desmontáveis principalmente os componentes e os materiais tóxicos e nocivos
- Tornar desmontáveis principalmente as partes ou os materiais de maior valor econômico
- Tornar desmontáveis, principalmente, as partes mais sujeitas a desgaste e/ou quebras
- Adotar estruturas modulares
- Subdividir o produto em subconjuntos que possam ser facilmente separados e manipulados como partes individuais
- Minimizar as dimensões do produto e de seus componentes
- Minimizar as conexões de dependência hierárquica entre os componentes
- Facilitar a extração dos componentes e dos subconjuntos
- Procurar a máxima linearidade no direcionamento de desmontagem
- Adotar estruturas de desmontagem em forma de sanduíche, posicionadas na direção vertical e que contenham elementos de fixação de fácil acesso

Forma dos componentes e das partes

- Evitar partes e componentes difíceis de movimentar
- Evitar partes assimétricas desnecessárias
- Projetar superfícies de apoio e componentes de alcance fácil e estandardizado
- Dispor os componentes pesados na base e próximos ao centro de gravidade
- Projetar considerando a fácil centralização dos componentes na base do produto

Forma e acessibilidade das junções

- Evitar sistemas de fixação que, para a abertura do produto, exijam intervenções concomitantes em mais de um ponto
- Minimizar o número de fixações
- Minimizar os tipos de fixação que necessitam instrumentos diferenciados para remoção
- Evitar fixações de difícil movimentação
- Projetar vias acessíveis e identificáveis para as operações de desmontagem
- Projetar buscando um fácil acesso e inspeção dos pontos de separação dos componentes

continua

5- LINHAS GUIAS PARA FACILITAR A DESMONTAGEM (continuação)

b. Usar sistemas de junção removíveis

- Usar juntas de garras de duas vias
- Usar juntas de garras que se abram com instrumentos que se encontrem facilmente
- Quando existir risco de abertura involuntária de uma das partes, usar juntas de garras que se abram somente com instrumentos especiais
- Projetar junções com materiais que se tornem reversíveis apenas em condições especiais
- Usar parafusos de cabeças hexagonais
- Atravessar o parafuso e travá-lo com um pino ou clipe, para que se possa removê-lo novamente
- Usar parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem do material
- Em componentes poliméricos, quando possível, usar parafusos auto-atarraxantes, evitando assim os insertos metálicos

c. Quando usar sistemas de junção permanente, que estes sejam de fácil extração

- Evitar rebites em materiais incompatíveis entre si
- Evitar sistemas de pressão em materiais incompatíveis entre si
- Evitar material adicional para a soldadura
- Soldar usando material compatível com as partes que devem ser unidas
- Preferir, em componentes termoplásticos, soldadura a ultra-som e vibrações
- Evitar a colagem com adesivos
- Usar adesivos, quando necessário, de fácil remoção

d. Prever tecnologias e equipamentos específicos para a desmontagem destrutiva

- Predispor áreas de quebra em locais pré-estabelecidos para a eliminação dos insertos incompatíveis com os materiais utilizados
- Predeterminar áreas de corte ou fratura para a separação de materiais incompatíveis, por meio de tecnologias apropriadas de separação
- No produto, incluir elementos ou dispositivos de separação dos materiais incompatíveis entre si
- Usar elementos de junção que possam ser destruídos física ou quimicamente
- Tornar as áreas de ruptura facilmente acessíveis e identificáveis
- Descrever as possíveis modalidades de quebra, indicando-as no próprio produto

e. Uso de materiais que possam ser facilmente separados após sua trituração

f. Uso de insertos metálicos que possam ser facilmente separados antes da trituração dos materiais

**6- LINHAS GUIAS PARA OFERTA DE UM MIX INTEGRADO DE
PRODUTOS E SERVIÇOS**

- a. oferta de resultados**
- b. oferta de plataformas**

Anexo 3: Relatórios Integrais da Análise de Impacto realizados pelo programa Eco-it.

Name: Beliche B-73
 Date: 12/5/2005
 Author: Raquel Bertholdo Cavalli
 Description: Cálculo do impacto ambiental de uma unidade do Beliche em Pinus B-73.
 Cenário de descarte presumido: lixo municipal.
 Databases used: PRé, EI-99 version 2 (9 processes)
 Method: Eco-indicator 99

Life cycle: 2 Pt
 Production: 0,56 Pt
 Use: 1,4 Pt
 Disposal: 0 Pt

Production	Amount	Unit	Number	Pt
☑ Beliche B-73	1	p	1	0,56
└─┬─┤ Estrutura Pinus	1	p	1	0,56
└─┬─┤ ── Wood massive	55,5	kg	1	0,37
└─┬─┤ ── Truck 28t	55,5	kgkrr	1	0,0012
└─┬─┤ ── Truck 28t	56	kgkrr	1	0,0012
└─┬─┤ ── Freighter oceanic	56	kgkrr	1	6,2E-5
└─┬─┤ ── Truck 28t	56	kgkrr	1	0,0012
└─┬─┤ ── Electr. HV Europe	8,67	kWh	1	0,19
└─┬─┤ ── embalagem	1	p	1	6,7E-5
└─┬─┤ ── Truck 16t	1,97	kgkrr	1	6,7E-5
└─┬─┤ ── ferragem	1	p	1	4,4E-5
└─┬─┤ ── Truck 16t	1,3	kgkrr	1	4,4E-5

Use	Amount	Unit	Number	Pt
ⓘ Beliche B-73	1	p	1	1,4
└─┬─┤ ── Passenger car W-Europe	50	km	1	1,4

Disposal	Municipal	Household	Recycling	Incineration	Landfill	Pt
☑ Beliche B-73	100 %#	0 %#	0 %#	0 %	0 %	0
└─┬─┤ Estrutura Pinus	100 %#	0 %#	0 %#	0 %	0 %	0
└─┬─┤ ── Wood massive	#	#	#	0 %	0 %	0
└─┬─┤ ── embalagem	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0
└─┬─┤ ── ferragem	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0

