



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DE CURITIBA
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
E DE MATERIAIS - PPGEM

RAFAEL JUSTUS BARRETO

INCORPORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA AO PROJETO DO PRODUTO

CURITIBA

DEZEMBRO - 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

RAFAEL JUSTUS BARRETO

INCORPORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AO PROJETO DO PRODUTO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof. Cássia M. L. Ugaya, Dr.

CURITIBA

DEZEMBRO - 2007

TERMO DE APROVAÇÃO

RAFAEL JUSTUS BARRETO

INCORPORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AO PROJETO DO PRODUTO

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

Prof. Neri Volpato, Ph.D.
Coordenador de Curso

Banca Examinadora

Prof. Carla Estorilio, Ph.D.
(UTFPR)

Prof. Aldo Ometto, Dr.
(USP-SC)

Prof. Eloy Fassi Casagrande Jr., Dr.
(UTFPR)

Prof. Cássia M. L. Ugaya, Dr.
(UTFPR)

Curitiba, 11 de Dezembro de 2007

À minha esposa Ana Paula e à minha filha
Letícia, por todo o suporte e pelo amor
incondicional.

Aos meus pais, de quem herdei todos os
valores e virtudes.

AGRADECIMENTOS

À empresa na qual exerço minha profissão, por todo o suporte, interesse e flexibilidade demonstrados ao longo do curso.

Ao CEFET-Pr (UTFPR), fonte inesgotável da qual tenho me alimentado por 15 anos, e onde adquiri grande parte da formação que propiciou a execução deste trabalho.

À minha orientadora Cassia Ugaya, pela motivação, e pela confiança inabalável de que um trabalho útil poderia ser executado.

Aos colegas de PPGEM, com quem dividi momentos de superação e que certamente colaboraram de maneira ímpar para a conclusão deste trabalho.

Se vi um pouco mais longe, foi porque
pude me apoiar sobre ombros de
gigantes.

(*Sir Isaac Newton*)

BARRETO, Rafael J., **Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto**, 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

RESUMO

A busca pelo controle dos impactos ambientais associados a um produto já não encontra respostas adequadas unicamente nos seus processos de manufatura ou de descarte. Faz-se necessário estender a compreensão acerca dos impactos ambientais gerados por um produto para todas as fases do seu ciclo de vida. É também necessário que seus parâmetros de maior relevância ambiental sejam identificados, mensurados e alterados com custos e prazos factíveis, ou seja, ainda na fase de seu projeto. Para tanto, a proposta deste trabalho é justamente a incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ao Projeto do Produto. Esta incorporação mostrou-se possível através do desenvolvimento de um novo método de projeto de produtos. Tal método foi desenvolvido a partir da seleção das fases e etapas da metodologia de projeto em que informações técnicas estão aptas a serem submetidas aos cálculos de ACV, e onde informações resultantes destes cálculos podem servir de base para a tomada de decisões acerca da viabilidade ambiental da solução. A fim de demonstrar a aplicabilidade deste novo método, um estudo de caso foi elaborado em um ambiente industrial onde o desenvolvimento de produtos fazia-se presente. Todas as fases do ciclo de vida foram consideradas, e a ferramenta de ACV utilizada neste estudo de caso foi o *software* SimaPro 7. Os resultados obtidos através deste estudo de caso foram os esperados, ou seja, de que impactos ambientais alternativos realmente derivam de diferentes soluções de engenharia que estão sob responsabilidade da equipe de desenvolvimento. Através deste novo método, foi demonstrado que esta equipe passa a ter condições de atuar ativamente no processo de controle dos impactos ambientais associados ao produto.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Projeto de Produtos; Projeto Para o Meio-Ambiente

BARRETO, Rafael J., **Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto**, 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ABSTRACT

Actions towards the control of the environmental burdens associated to the product must consider more than the manufacturing and disposal phases of its life cycle. The comprehension about the whole life cycle of the product is required, so its most relevant environmental parameters can be identified, measured and updated under feasible cost and time (what means within the project phase of the life cycle). To cope with such demand, this paper proposes the incorporation of the Life Cycle Assessment (LCA) into the Product Design. Such proposal has been demonstrated feasible by the construction of a new method for product design, developed from the selection of the phases from a chosen methodology where technical data are able to be submitted to LCA calculation and where the feedback from calculation can be used on the decision about the environmental feasibility of the solution. In order to demonstrate the applicability of such new method, a pilot study has been developed. The whole life cycle of a product has been considered, using the database from the software SimaPro7. Results from the pilot study are according to the expectations, what means that alternative environmental burdens are really connected to different engineering solutions. The new method demonstrates that design team can be enabled to actively participate on the control of the environmental burdens associated to the product.

Keywords: Life Cycle Assessment; Product Design; Life Cycle Design.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Estrutura da Dissertação	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Iniciativas de Responsabilidade Ambiental.....	6
2.2. Iniciativas de Incorporação	10
2.2.1. Origens do DfE / LCD.....	11
2.2.2. Definições	12
2.2.3. Estratégias	16
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida	17
2.3.1. Objetivo e Escopo	19
2.3.2. Análise de Inventário.....	22
2.3.3. Avaliação de Impactos	26
2.4. Metodologia para o Projeto de Produtos.....	27
2.4.1. Planejamento e clarificação da tarefa	30
2.4.2. Projeto conceitual.....	31
2.4.3. Projeto preliminar	34
2.4.4. Projeto detalhado	37
3. MÉTODO.....	40
4. RESULTADO.....	49
4.1. Incorporação da ACV à Metodologia de Projetos	49
4.2. Fluxograma Final de Incorporação	60
4.2.1. Primeira Avaliação Ambiental	62
4.2.2. Segunda Avaliação Ambiental	63
4.2.3. Terceira Avaliação Ambiental.....	64
4.2.4. Fluxograma Passo-a-Passo	64
4.2.5. Considerações e Limitações	67
4.3. Ficha Técnica - Forma e Conteúdo	67
5. ESTUDO DE CASO.....	71
5.1. Metodologia Adaptada	71
5.2. Escolha do Componente	75

5.3. Projeto Adaptado do Produto.....	79
5.3.1. Objetivos	80
5.3.2. Função	80
5.3.3. Unidade Funcional	80
5.3.4. Dados para o inventário dos leiautes preliminar e definitivo	81
5.3.5. Dados para o inventário dos desenhos para produção.....	94
6. DISCUSSÃO.....	110
6.1. Falta de Compreensão	110
6.2. Não-inclusão nos requisitos.....	111
6.3. Baixa prioridade.....	112
6.4. Ferramentas qualitativas.....	112
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
8. BIBLIOGRAFIA.....	116
APÊNDICE A – CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO	122
APÊNDICE B – SISTEMA DO PRODUTO.....	124
APÊNDICE C – ESTRATÉGIAS AMBIENTAIS SEGUNDO EPA.....	125
APÊNDICE D – ANÁLISES DE INCERTEZA E SENSIBILIDADE	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura das Normas ISO 14.000.....	10
Figura 2.2 – Processo para o Projeto para o Ciclo de Vida.....	15
Figura 2.3 – Processo para a Avaliação do Ciclo de Vida.....	19
Figura 2.4 – Etapas para a definição do objetivo e escopo de uma ACV.....	20
Figura 2.5 – Etapas para a análise de inventário de uma ACV.....	23
Figura 2.6 – Etapas para o processo de planejamento e desenvolvimento.....	29
Figura 2.7 – Etapas para a fase de Projeto Conceitual	32
Figura 2.8 – Etapas para a fase de Projeto Preliminar	36
Figura 2.9 – Etapas para a fase de Projeto Detalhado	38
Figura 3.1 – Exemplos de leiautes para a mesma solução.....	43
Figura 3.2 – Saídas da metodologia de projeto de produtos.....	44
Figura 3.3 – Entradas para a metodologia de avaliação de ciclo de vida.....	47
Figura 4.1 – Processo integrado de projeto do produtos e ACV.....	50
Figura 4.2 – Processos do sistema de produtos.....	51
Figura 4.3 – Representação simplificada de entradas e saídas em uma planta industrial.....	57
Figura 4.4 – Equação para a alocação.....	58
Figura 4.5 – Processo integrado de projeto do produto e ACV (final).....	61
Figura 4.6 – Modelo de ficha técnica.....	69
Figura 5.1 – Fluxo de processo de projeto de produtos utilizado pela companhia selecionada.....	73
Figura 5.2 – Desenvolvimento do produto segundo metodologia adaptada.....	74
Figura 5.3 – Matriz para escolha do componente.....	78
Figura 5.4 – Instalação da ancoragem código 3987284.....	81
Figura 5.5 – Instalação da ancoragem código 3986639.....	82
Figura 5.6 – Modelo matemático do componente código 3987284.....	82
Figura 5.7 – Modelo matemático do componente código 3986639.....	83
Figura 5.8 – Ficha Técnica do componente 3987284.....	85
Figura 5.9 – Ficha Técnica do componente 3986639.....	86
Figura 5.10 – Comparação (caracterização) na fase de Projeto Preliminar.....	89
Figura 5.11 – Comparação (normalização) na fase de Projeto Preliminar.....	90
Figura 5.12 – Comparação (ponderação) na fase de Projeto Preliminar.....	91
Figura 5.13 – Comparação (single score) na fase de Projeto Preliminar.....	92
Figura 5.14 – Ficha Técnica do componente 3987284.....	99
Figura 5.15 – Ficha Técnica do componente 3986639.....	100
Figura 5.16 – Comparação (caracterização) na fase de Projeto Detalhado.....	102
Figura 5.17 – Comparação (normalização) na fase de Projeto Detalhado.....	103
Figura 5.18 – Comparação (ponderação) na fase de Projeto Detalhado.....	104
Figura 5.19 – Comparação (single score) na fase de Projeto Detalhado.....	105
Figura 5.20 – Diagrama de rede do suporte 2 partes.....	107
Figura 5.21 – Diagrama de rede do suporte inteiro.....	108
Figura C.1 – Ciclo de vida segundo STUART.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Dados dos componentes no leiaute preliminar (e definitivo).....	83
Tabela 5.2 – Dados dos componentes no leiaute preliminar (e definitivo).....	84
Tabela 5.3 – Consumo de Diesel devido aos componentes.....	87
Tabela 5.4 – Dados dos componentes nos desenhos para produção.....	94
Tabela 5.5 – Dados dos componentes no projeto detalhado	94
Tabela 5.6 – Dados oriundos da área de Compras.....	95
Tabela 5.7 – Dados oriundos do processo de manufatura (fornecedor).....	96
Tabela 5.8 – Dados oriundos da área de Logística.....	97
Tabela 5.9 – Dados oriundos do processo de montagem (montadora).....	98
Tabela 5.10 – Materiais, processos e recursos da base de dados “ecoinvent”...	101
Tabela 5.11 – Categorias de impacto e aspectos ambientais segundo três métodos de avaliação de impacto ambiental.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	- Avaliação do ciclo de vida
AICV	- Avaliação de impacto do ciclo de vida
AT&T	- <i>American Telephone and Telegraph</i>
CAD	- <i>Computer aided design</i> (desenho auxiliado por computador)
CO	- Monóxido de Carbono
COV	- Compostos organo-voláteis
CO ₂	- Dióxido de Carbono
DfE	- <i>Design for Environment</i> (projeto para o meio-ambiente)
GLP	- Gás liquefeito de petróleo
ISO	- <i>International Standardization Organization</i>
LCD	- <i>Life Cycle Design</i> (projeto para o ciclo de vida)
MP	- Material particulado
NBR	- Norma técnica brasileira
NO _x	- Óxidos Nitrosos
SAE	- Society of Automotive Engineers

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMA

Uma das preocupações que assola grande parte da civilização global é motivada pela inter-relação entre as atividades industriais modernas e a decorrente exploração dos recursos naturais, que trazem como consequência impactos conflitantes com os sistemas ecológicos (O'ROURKE *et al.*, 1996). A melhoria da eficiência ambiental pela indústria faz-se necessária, porém requer severas mudanças não apenas no processo produtivo, mas em todo o sistema do produto.

A história do desenvolvimento industrial mostra que, durante várias décadas, as mais importantes ações visando a preservação ambiental associadas ao produto concentraram-se nas fases da manufatura, e em menor escala, na fase de descarte (reciclagem e/ou reutilização) (TSOUFLAS e PAPPIS, 2005). Ainda que ambas as alternativas tenham apresentado resultados importantes, ações mais contundentes para a diminuição das cargas ambientais do produto têm se mostrado, definitivamente, bastante necessárias.

Deve-se evitar, contudo, que ações visando a melhoria da eficiência ambiental de um produto aconteçam somente após a conclusão de seu projeto, uma vez que nesta oportunidade raras são as possibilidades para a introdução de modificações no produto (e quando tais oportunidades existem, são proibitivamente onerosas). Os custos de desenvolvimento de um produto variam entre 5 e 15% dos custos totais de um projeto, mas decisões tomadas nesta fase afetam de 60 a 95% dos custos totais envolvidos (SYAN e MENNON, 1994).

As propriedades ambientais de um produto, portanto, devem ser analisadas (e se for o caso ajustadas), na medida em que o seu projeto é executado, uma vez que muitas das mais importantes decisões com respeito às propriedades de um bem de consumo são tomadas justamente nesta fase do seu ciclo de vida (PAHL

e BEITZ, 1996). A fase da execução do projeto de um produto se dá freqüentemente por meio de um processo sistemático, denominado genericamente “metodologia de projetos”, e considerado por autores como BACK (1983) como o componente fundamental na conexão entre a engenharia e a sociedade.

O objetivo principal deste processo, ainda segundo BACK (1983), é a satisfação das necessidades humanas. Em sendo a preservação ambiental uma destas necessidades, com importância crescente dentro de diversos setores da sociedade, é natural que caiba às equipes de projetistas a busca por soluções adequadas também neste sentido.

Estas soluções podem ser traduzidas em bens cujo ciclo fabricação-uso-descarte estejam em conformidade com as principais diretrizes ligadas à preservação ambiental: conservação de recursos naturais, minimização do consumo de recursos não-renováveis, e minimização da emissão de resíduos tóxicos para o meio ambiente.

Uma alternativa para a diminuição em tempo hábil dos impactos ambientais associados a um produto é a incorporação sistemática dos conceitos ambientais à sua metodologia de projetos. É importante, porém, tornar clara a necessidade de que esta incorporação tenha a proposta mais abrangente possível, já que tentativas de redução da carga ambiental através de um único aspecto, como a minimização dos resíduos sólidos, por exemplo, podem levar ao aumento da carga ambiental em outra área, como o consumo de energia, por exemplo. É preciso certificar-se que impactos colaterais mais graves não estejam sendo criados em outros pontos do ciclo de vida do produto (STUART e SOMMERVILLE, 1998).

Resolver estes conflitos entre atributos de um projeto requer iniciativas que envolvam todo o ciclo de vida do produto (para maiores referências com relação ao conceito de “ciclo de vida”, ver apêndice A). Para tanto, existem diversas propostas, dentre as quais as mais difundidas são aquelas baseadas no *LCD* (Projeto para o Ciclo de Vida) e no *DfE* (Projeto para o Meio Ambiente).

Tais propostas, entretanto, geralmente restritas a descrições de diretrizes, estratégias e princípios, têm encontrado grandes dificuldades em sua aplicação prática, em algumas oportunidades até mesmo limitando as possibilidades de integração ou promovendo integrações inadequadas. Estes fatores têm impedido o processo de projeto do produto de tornar-se uma ferramenta ainda mais efetiva na melhoria das relações do homem com o meio-ambiente (NIELSEN e WENZEL, 2002). Exemplos destas limitações podem ser percebidos em algumas tentativas de integração, como as ocorridas nas companhias AT&T e Allied Signal (KEOLEIAN *et al.*, 1995).

Faz-se necessário, portanto, ir além destas propostas existentes de integração. É preciso elaborar uma maneira sistemática para a geração de respostas quantitativas que sirvam como parâmetros para a tomada de decisões por parte de uma equipe de projetos. Para tanto, alguns problemas bastante específicos precisam ser endereçados. Tais dificuldades, potencialmente detectáveis na maioria das equipes de projeto, são basicamente as seguintes:

i) Os projetistas ligados às áreas específicas do conhecimento demonstram pouca (ou total falta de) compreensão acerca dos conceitos ambientais e de seu inter-relacionamento com os produtos em fase de projeto (FIKSEL, 1996). De um modo geral, isto se explica pelo fato de que as equipes de projetistas costumam ter uma formação homogênea de técnicos, cujos membros estão tradicionalmente preocupados o suficiente com as questões ligadas à funcionalidade, à qualidade, aos custos e aos prazos de entrega de seus projetos.

ii) A não-inclusão dos parâmetros ambientais como requisito para o projeto de produtos (ao lado de desempenho, qualidade, prazo de entrega, custos e atributos, por exemplo), é uma necessidade ainda não satisfeita nas equipes de projeto que já vem sendo discutida há mais de uma década (KAEBERNICK *et al.*, 2003). A mais grave consequência deste fato pode ser traduzida na impossibilidade do gerenciamento do desempenho ambiental da solução ao longo do seu desenvolvimento. A adoção de requisitos ambientais devidamente

parametrizados pode trazer grande evolução ao processo de integração dos aspectos ambientais às rotinas de projeto de produtos (ISO, 2002). Segundo GIUDICE *et al.* (2005), esta incorporação pode até mesmo ser convertida em fator de inovação para as companhias engajadas, principalmente quando devidamente sistematizada.

iii) A introdução de parâmetros ambientais às tarefas ordinárias de um grupo de projeto é negativamente percebida como um gerador de novos problemas a serem resolvidos. Ademais, atualmente tais parâmetros são considerados itens de baixa prioridade no processo de projeto. Em consequência de ambos os fatos, não são incorporados às atividades regulares de projeto (KAEBERNICK *et al.*, 2003).

iv) A aplicação de grande parte dos métodos disponíveis para “projetos para o meio ambiente” é bastante restrita, principalmente devido à característica qualitativa e prescritiva oferecida em suas propostas (TSOUFLAS e PAPPIS, 2005). Exemplos bastante comuns são as listas de materiais proibidos ou não-recomendados (geralmente conhecidas por “listas cinza” e “listas negra”), que além de não poderem ser sistematizadas dentro de um processo de projeto de produtos, não são mensuráveis. A impossibilidade de quantificar os parâmetros ambientais qualitativos é, portanto, uma das principais causas da não-inclusão dos requisitos ambientais durante a fase de projeto do produto.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um método para a incorporação sistemática da Avaliação do Ciclo de Vida à metodologia de projeto do produto.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar as etapas do projeto do produto em que a avaliação de impactos ambientais é aplicável;
- Avaliar como os aspectos ambientais significativos podem ser integrados às etapas adequadas do projeto do produto;
- Desenvolver um método de incorporação das questões ambientais ao projeto do produto e aplicá-lo em um estudo de caso.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2, o embasamento teórico para o trabalho é apresentado. As principais iniciativas de responsabilidade ambiental são indicadas, bem como as iniciativas de incorporação dos parâmetros ambientais ao projeto de produtos. Ainda neste capítulo, as metodologias para a avaliação ambiental e para o projeto de produtos que serão utilizadas neste trabalho (a ACV e a metodologia de Pahl e Beitz, respectivamente) são também apresentadas.

O capítulo 3 indica o método desenvolvido para a construção da metodologia de desenvolvimento integrada à metodologia de avaliação ambiental, indicada na forma de dois fluxos de processos e demonstrada no capítulo 4.

O capítulo 5 trata da execução de um estudo de caso, onde uma solução (na forma de dois componentes reais da indústria automobilística) é submetida à nova metodologia.

Os capítulos 6 e 7 discutem a efetividade da metodologia proposta e apresentam as conclusões do trabalho, respectivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo indicar os principais temas abordados pelas referências disponíveis na literatura no que diz respeito às origens, definições, e estratégias relacionadas às mais relevantes iniciativas de integração dos aspectos ambientais ao processo de desenvolvimento de produtos (o *LCD* e o *DfE*, detalhados seção 2.2). O surgimento destas iniciativas será contextualizado a partir do histórico das iniciativas de responsabilidade ambiental ligadas às comunidades acadêmicas, governamentais e indústrias (indicado na seção 2.1).

Também neste capítulo, nas seções 2.3 e 2.4, respectivamente, serão apresentadas as metodologias de avaliação ambiental (a ACV) e de projeto de produtos (PAHL e BEITZ, 1996), que serão aplicadas neste estudo.

2.1. INICIATIVAS DE RESPONSABILIDADE AMBIENTAL

A geração e a implementação de iniciativas de responsabilidade ambiental visando à prevenção da poluição através do aumento da eficiência ambiental de todo o sistema do produto tem sido um desafio constantemente imposto às comunidades acadêmicas, industriais e governamentais. Uma importante alternativa surgida em resposta a este desafio, e uma das principais iniciativas de responsabilidade ambiental associada à indústria, foi a denominada “Ecologia Industrial”, um conjunto de conceitos que sinalizam uma mudança do controle reativo da poluição no fim do processo (“*end-of-pipe*”) para a implementação de estratégias de prevenção e planejamento de desenvolvimento industrial voltados ao meio-ambiente (O’ROURKE *et al.*, 1996).

Os conceitos iniciais da Ecologia Industrial surgiram, segundo citado por O’ROURKE *et al.* (1996), no livro “*The Closing Circle*”, de 1971 (publicado por Barry Commoner), que apontava a necessidade de se correlacionar a ecologia

com a atividade industrial moderna e também com as atividades humanas. Nesta obra já era apontada a necessidade de se readequar as tecnologias de produção aos requisitos ambientais emergentes, bem como a urgência em se reciclar metais reutilizáveis, e produtos feitos a partir de vidros e de papel.

A Ecologia Industrial é descrita e apresentada de maneiras diferentes por diferentes autores. Para alguns, é percebida como uma maneira de tratar problemas ambientais focando na melhoria da eficiência industrial; para outros, como sendo a base para grandes transformações na sociedade industrial e para a implementação de conceitos radicalmente novos; para outros, ainda, é vista simplesmente como um parâmetro mercadológico a ser utilizado para suportar as indústrias adeptas a aumentar seu faturamento (O'ROURKE *et al.*, 1996).

De acordo com GRAEDEL e ALLENBY (1995), a Ecologia Industrial pode ser definida como “o meio pelo qual a humanidade pode, deliberada e racionalmente, alcançar e manter a sustentabilidade, dada a continuada evolução econômica, cultural e tecnológica. O conceito requer que determinado sistema industrial seja visto não de uma maneira isolada de seu ambiente, mas que seja parte integrante do mesmo. É uma visão sistêmica na qual se busca a otimização de todo o ciclo do material, começando pela sua extração e beneficiamento, passando pela fabricação do produto e finalmente chegando à sua disposição final. Os fatores a serem otimizados incluem os recursos, a energia e o capital”.

Os mesmos autores enumeraram importantes conceitos da Ecologia Industrial, como o balanço de energia e o balanço de massa, traduzidos na idéia de que toda energia e toda massa devem ser consideradas durante o ciclo de vida de um produto. Desta maneira, pode-se afirmar que o conceito de “resíduo”, como sendo um material desprezível para todos os efeitos, não existe dentro da Ecologia Industrial, fato citado por LOWE e EVANS (1995) como “a mudança de um sistema linear para um sistema de ciclo-fechado em todos os aspectos da produção e consumo humanos”.

Outras iniciativas de responsabilidade ambiental foram lançadas por meio de ações governamentais. No ano de 1971, um programa patrocinado pelo Ministério da Indústria e Comércio Exterior do governo japonês promoveu os “princípios da ecologia industrial”, que então passaram a atuar como diretrizes para as atividades industriais daquele país. Estas recomendações tratavam das interações entre a indústria e o meio-ambiente e buscavam o desenvolvimento de mecanismos de controle sobre as atividades humanas, com o intuito de se promover o equilíbrio ambiental (O’ROURKE *et al.*, 1996). Também no plano governamental, outra iniciativa de grande relevância aplicável às indústrias surgiu na Alemanha em 1978, quando o primeiro programa de rotulação ambiental, o chamado Blue Angel Program, foi implementado em nível nacional (LEFEBVRE *et al.*, 2001).

No campo da iniciativa privada, algumas companhias podem ser consideradas as pioneiras na implementação de iniciativas de responsabilidade ambiental, através da mudança de atitude do controle para a prevenção da poluição. LENOX *et al.* (1999) apontaram algumas destas experiências, vividas

inclusive as listadas até aqui, podem ser consideradas como parte do despertar para a responsabilidade ambiental. A segunda onda, iniciada na primeira metade dos anos 90, passou então a tratar da codificação de alguns princípios, requisito vital para a realização de ações mais profundas tanto por parte das corporações privadas quanto por parte dos governos (FIKSEL, 1996). Um exemplo claro deste efeito foi o surgimento dos sistemas de gestão ambiental, que resultou na criação da série de normas ISO 14.000 a partir de 1996.

Esta série consiste em um conjunto de 28 normas relacionadas a Sistemas de Gestão Ambiental que abrangem seis áreas bem definidas, conforme pode ser visto na figura 2.1: gestão ambiental, auditorias ambientais, avaliação de desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida, rotulagem ambiental, e integração ao projeto e desenvolvimento de produtos. A se destacar, dentre estas, a série ISO 14.062 (2002), que se refere especificamente à inclusão das questões ambientais no desenvolvimento de produtos.

As normas ISO 14000 (1996) não estabelecem níveis de desempenho ambiental, mas especificam os requisitos que um sistema de gestão ambiental deverá cumprir. De uma forma geral, referem o que deverá ser feito por uma organização para diminuir o impacto das suas atividades no meio ambiente, mas não prescrevem como fazer.

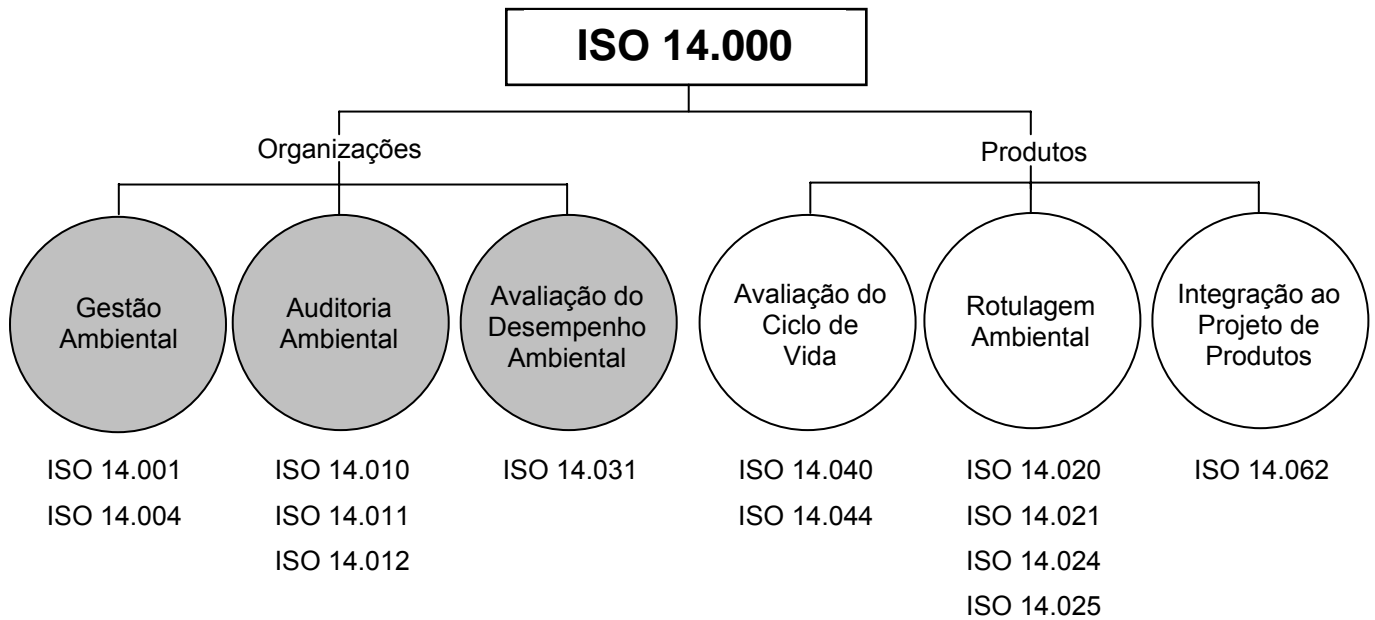


Figura 2.1 – Estrutura das Normas ISO 14.000 (ISO, 1996)

O estabelecimento e a difusão desta série de normas internacionais de gestão ambiental (ilustrada na figura 2.1), aplicáveis tanto às organizações quanto aos produtos, podem também ser considerados um importante indicador global de consciência ambiental por parte das indústrias (LEFEBVRE *et al.*, 2001).

2.2. INICIATIVAS DE INCORPORAÇÃO

Dentro deste amplo contexto de iniciativas de responsabilidade ambiental, existem algumas que, em sintonia com a proposta deste trabalho, buscam a incorporação dos aspectos ambientais ao projeto de produtos. Estas iniciativas são propostas que têm por objetivo possibilitar as ações adequadas por parte dos projetistas no sentido de melhorar o desempenho ambiental da solução (necessidade citada por KEOLEIAN e MENEREY, 1994 e ALTING *et al.*, 1998, por exemplo), e que podem ser aplicadas em níveis que variam desde a

implementação de políticas ambientais até a incorporação destes aspectos às decisões relativas ao projeto.

As principais iniciativas incluem o “Projeto para o Meio Ambiente”, tradução de *Design for Environment* (abreviadamente *DfE*), e o Projeto para o Ciclo de Vida, tradução de *Life Cycle Design* (abreviadamente *LCD*). O *DfE* e o *LCD* são, geralmente, indistinguíveis; apesar de suas origens distintas, ambos convergem para o mesmo conjunto de objetivos e princípios, usando o já citado conceito do ciclo de vida como agente aglutinador, conectando as atividades econômicas e as necessidades da sociedade com todas as conseqüências ambientais por elas geradas (EPA, 1993). Esta convergência para objetivos e princípios comuns entre o *DfE* e o *LCD* se dá por meio de estratégias distintas para as duas iniciativas, como poderá ser visto ao longo deste capítulo.

2.2.1. ORIGENS DO DFE / LCD

O conceito do *DfE* surgiu provavelmente em 1974 com o livro “*Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*”, publicado por Victor Papanek, em que o autor observou o excesso de preocupação dos projetistas com aspectos funcionais e estéticos dos produtos, em detrimento das questões ligadas à manutenibilidade e aos impactos sociais e ecológicos a eles associados (LEE e XU, 2005).

A formalização deste termo, entretanto, ocorreu em 1992, através dos esforços realizados pela indústria eletrônica norte-americana, que buscava cultivar uma consciência ambiental para ser aplicada no desenvolvimento de seus produtos. A *American Electronics Association* (Associação Americana de Eletrônicos), sob liderança de Brad Allenby, formou uma força-tarefa a partir da qual um artigo inovador (“*The Hows and Whys for Design for Environment*”) foi publicado para o uso das companhias associadas (FIKSEL, 1996).

O *LCD*, por outro lado, foi criado a partir do resultado de investigações acerca da estrutura do ciclo de vida aplicado ao projeto, em um estudo de três anos realizado no laboratório de Engenharia de Redução de Riscos da agência de proteção ambiental, do governo dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – EPA*), que resultou na publicação denominada "*Life Cycle Design Guidance Manual*" em 1993 (KEOLEIAN e MENEREY, 1993).

Na segunda metade da década de 90, os tópicos do *LCD* que tratavam do projeto de produtos de baixo impacto ambiental passaram a ser definidos com maior precisão, métodos de avaliação de impacto ambiental foram consolidados, e a mudança do ponto de vista de “produto” para “sistema do produto” começou a acontecer sistematicamente (VEZZOLI e SCIAMA, 2006).

2.2.2. DEFINIÇÕES

O *DfE* pode ser traduzido, em sua definição mais formal, como “a consideração sistemática do desempenho do projeto com relação a objetivos ambientais, de saúde e segurança, através do ciclo de vida do produto e do processo” (FIKSEL, 1996).

Trata-se de uma prática de projeto que visa à diminuição dos impactos ambientais potenciais sem comprometer outros aspectos, como funcionalidade, qualidade e custo, por exemplo. Seu escopo pode compreender uma variedade bastante grande de assuntos, como a segurança e a saúde ocupacional, a prevenção da poluição, a ecologia, a prevenção de acidentes, o gerenciamento de resíduos e a conservação de recursos, por exemplo (BHANDER *et al.*, 2003).

Simplificadamente, e com ênfase no desempenho ambiental das indústrias, o *DfE* é descrito por O’ROURKE (1996) como “uma ferramenta para a prevenção da poluição voltada para que os projetistas possam melhorar seus produtos e processos com relação aos impactos potenciais por eles causados”.

Em um breve sumário, alguns dos princípios mais importantes do *DfE*, segundo FIKSEL (1996):

- Proteção da biosfera (eliminação de emissões nocivas);
- Uso sustentável de recursos naturais (renováveis e não-renováveis)
- Redução da utilização de materiais e adequado descarte de resíduos (redução de matéria-prima, reciclagem);
- Conservação de energia (economia, aumento de eficiência, uso de fontes seguras);
- Redução de riscos (uso de tecnologias seguras);
- Restauração ambiental;
- Informação ao público.

O *LCD*, por sua vez, pode ser considerado como a aplicação dos conceitos do ciclo de vida à fase de projeto do desenvolvimento de produtos (SHAPIRO e WHITE, 1999), baseando-se, para tanto, na definição expandida do conceito de produto (EPA, 1993). Todas as atividades necessárias para produzir, usar e descartar produtos são consideradas como parte do “sistema do produto”, conceito descrito em detalhes no apêndice B.

A figura 2.2, proposta por KEOLEIAN e MENEREY (1993), demonstra a complexidade da integração dos aspectos ambientais ao projeto de produtos segundo o *LCD*. O objetivo do desenvolvimento sustentável (bloco 1) aparece localizado no topo, a fim de indicar a sua importância fundamental. Como a figura indica, ambas as forças internas e externas (bloco 2) dão forma à criação, síntese e avaliação de um projeto.

Os fatores externos mostrados na etapa de Gestão do *LCD* (bloco 2 da figura 2.2) incluem leis e políticas governamentais, exigências do mercado, infraestrutura, economia, meio-ambiente, compreensão científica acerca dos riscos ambientais e a percepção pública destes riscos. Dentro de uma companhia,

mudanças organizacionais e operacionais devem acontecer para efetivamente permitir a implementação do *LCD*, através de definições de políticas e estratégias.

Como se pode notar, pesquisa e desenvolvimento tecnológico (bloco 3) oferecem suporte ao desenvolvimento, inclusive colaborando com o aumento da compreensão acerca do estado do meio-ambiente (bloco 4) pela comunidade científica, favorecendo novos métodos para redução dos impactos ambientais. Além disto, a população em geral passa a ter condições de priorizar ações globais, regionais e locais que podem ser endereçados à equipe de projetos através dos requisitos do produto. Desta maneira, necessidades ambientais atuais e futuras são traduzidas em projetos adequados.

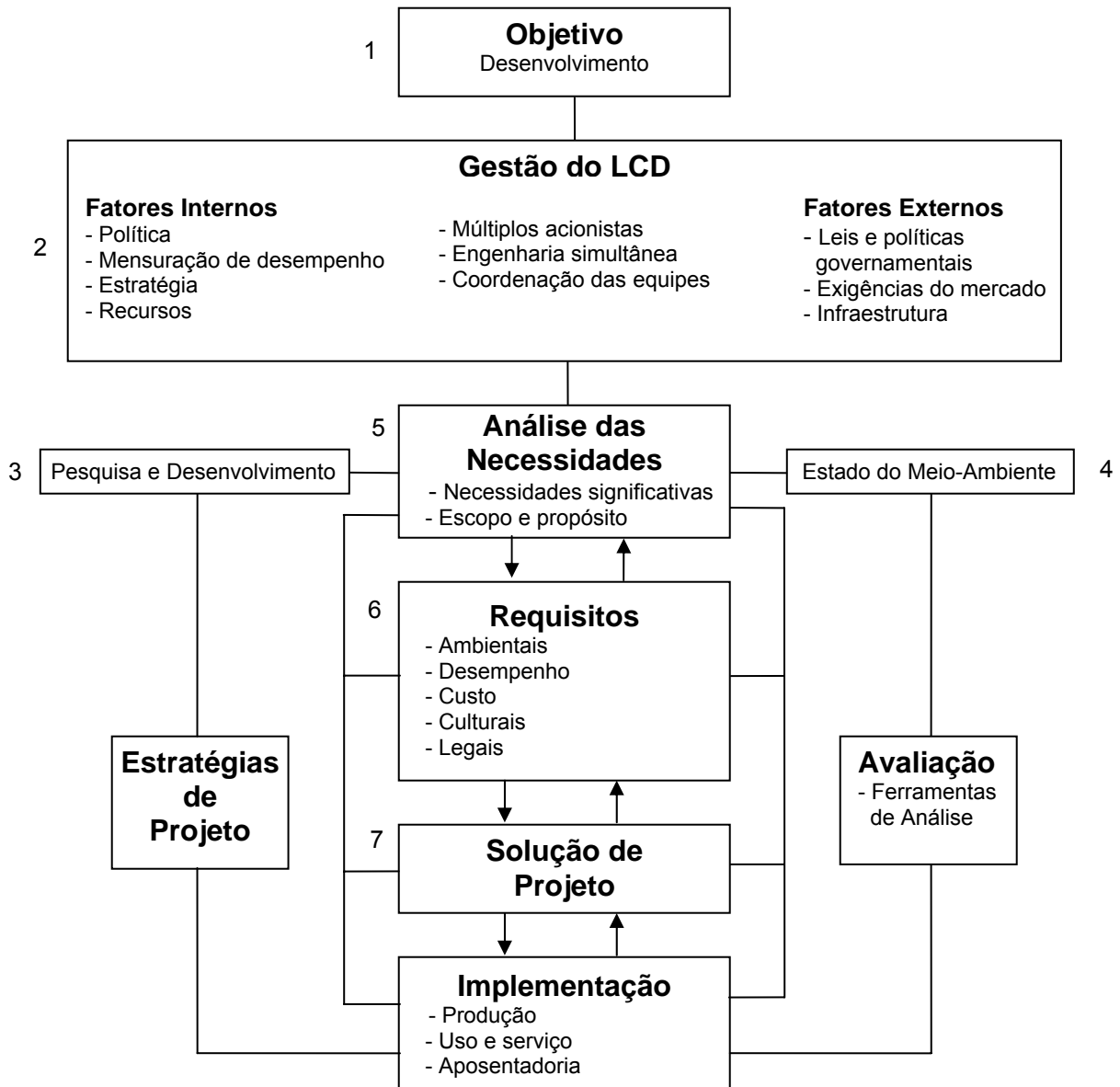


Figura 2.2 – Processo para o Projeto para o Ciclo de Vida (KEOLEIAN e MENEREY, 1993)

Ainda na figura 2.2, nota-se que um típico projeto começa, portanto, com a análise das necessidades (bloco 5), passa pela formulação dos requisitos (bloco 6), e então pela solução do projeto (bloco 7), desdobrado em projeto conceitual,

projeto preliminar, projeto detalhado e implementação (KEOLEIAN e MENEREY, 1993). Tais fases são demonstradas em detalhes na seção 2.4.

Apesar de este ser um modelo bastante simples, ele demonstra os elementos essenciais e as relações que ocorrem dentro do LCD.

2.2.3. ESTRATÉGIAS

As estratégias utilizadas em cada uma das iniciativas citadas variam sutilmente, mas são bastante claras no que tange à necessidade de serem iniciadas em fases bastante prematuras do projeto de um produto (LINDAHL, 2005). No caso do *DfE*, as estratégias para a sua implementação sugerem desdobramentos em práticas como as indicadas abaixo (FIKSEL, 1996):

- Projeto para desmontagem;
- Projeto para reciclagem;
- Projeto para disposição final;
- Projeto para reutilização;
- Projeto para remanufatura;
- Projeto para recuperação de energia.

No caso do *LCD*, a realização de sua estratégia ambiental primária se dá por meio da conservação de recursos, da prevenção à poluição, da preservação da diversidade, da sustentabilidade dos ecossistemas e da manutenção de sistemas econômicos viáveis de longa-duração. Tais estratégias, além de buscarem a maximização dos ganhos ambientais de um produto, inspiram e indicam soluções de maior potencial de sucesso (VEZZOLI e SCIAMA, 2006).

Algumas das mais importantes estratégias ambientais comuns ao *DfE* e ao *LCD* são listadas abaixo, e detalhadas no apêndice C.

- Extensão da vida do produto;
- Extensão da vida dos materiais;
- Seleção e redução do uso de materiais;
- Gestão do processo;
- Eficiência na distribuição;
- Redução da geração de resíduos;
- Redução do uso de substâncias;
- Redução do uso de energia.

As estratégias para estas duas iniciativas também sugerem que engenheiros trabalhem de maneira coletiva, ao invés de individualmente. Para tanto, sistemas de gerenciamento devem ser aplicados, utilizando-se, sempre que possível, dos benefícios obtidos com o uso de programas computacionais que lhes entreguem informações sobre o projeto, seus requisitos, e sugira opções de melhoria (KUO *et al.*, 2001).

Ambas as iniciativas detalhadas nesta seção podem se valer, com grandes benefícios, da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), tradução de *Life Cycle Assessment*, ou abreviadamente *LCA*, como o método para a avaliação das conseqüências ambientais do ciclo de vida de produtos (KEOLEIAN e MENEREY, 1994). A ACV é apresentada em detalhes na seção seguinte, 2.3

2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é uma metodologia utilizada em uma grande variedade de propósitos, como, por exemplo, na avaliação de materiais, serviços, produtos, processos e tecnologias ao longo de toda a vida de um produto. A definição da ACV, segundo KUO *et al.* (2001) é de "um processo objetivo para avaliar as cargas ambientais associadas a um produto ou atividade, através da identificação

e quantificação da energia e dos materiais utilizados, bem como dos resíduos liberados para o meio-ambiente”.

De um modo geral, a ACV constitui-se em uma importante e poderosa metodologia para a administração das conseqüências ambientais de sistemas de produtos, que encoraja as indústrias a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas aos seus sistemas de produção. As informações coletadas na ACV, bem como os resultados de suas análises e interpretações, podem ser úteis para tomadas de decisão, para a seleção de indicadores ambientais relevantes para a avaliação do desempenho de projetos, e para a melhoria da compreensão acerca dos aspectos ambientais ligados ao processo produtivo (UGAYA, 2001).

Para se formalizar um estudo de ACV, a ISO 14040 (ISO, 1997) estabelece quatro fases, que determinam a definição de um objetivo e um escopo para o trabalho, a análise de inventário, a avaliação do impacto e a interpretação dos resultados.

O modo com que estas atividades estão inter-relacionadas é mostrado na figura 2.3:

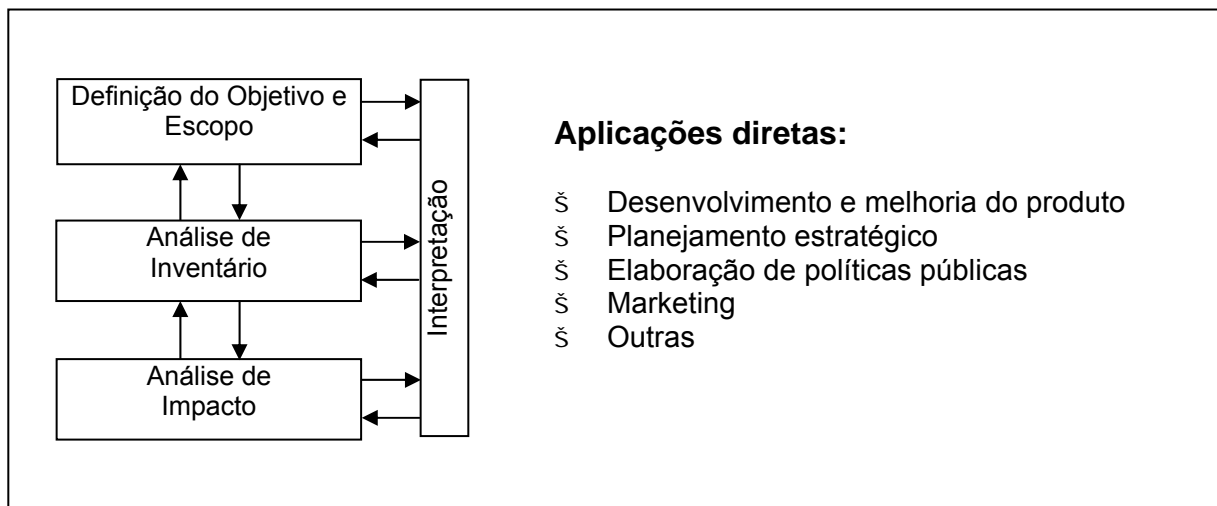


Figura 2.3 – Processo para a Avaliação do Ciclo de Vida (ISO, 1997)

Cada uma destas etapas será apresentada em detalhes nas seções seguintes.

2.3.1. OBJETIVO E ESCOPO

O objetivo de um estudo de ACV, segundo a norma ISO 14040 (ISO, 1997) deve declarar de maneira inequívoca a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo, e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os seus resultados. Com relação ao escopo da ACV, a mesma norma indica a flexibilidade com que esta etapa deve ser tratada, uma vez que a ACV é uma técnica interativa e que vários aspectos podem ser alterados ao longo do processo para se atingir o objetivo original do estudo.

Na figura 2.4 pode-se ver o diagrama de fluxo indicativo das atividades necessárias para a definição do objetivo e escopo da ACV.

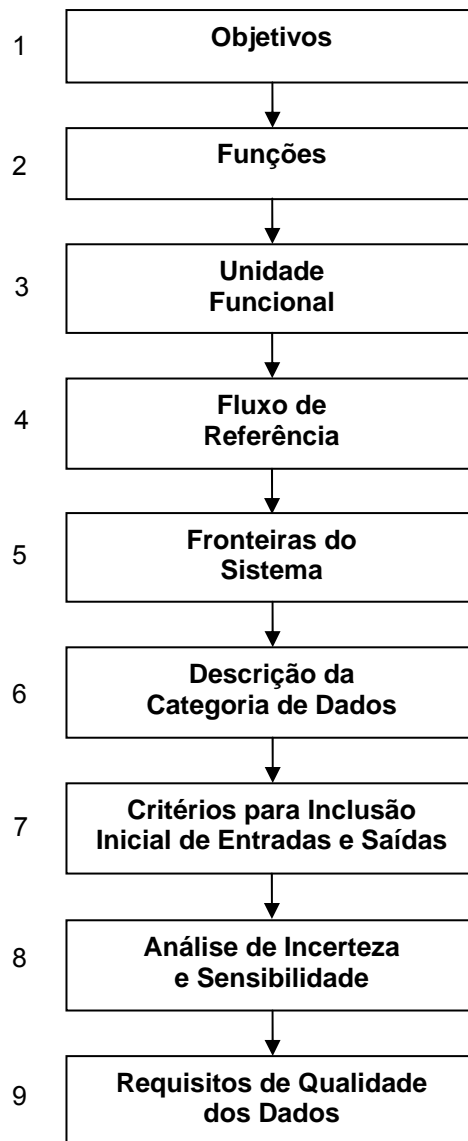


Figura 2.4 – Etapas para a definição do objetivo e escopo de uma ACV (ISO, 1997)

Após o estabelecimento dos objetivos da ACV (bloco 1), o primeiro passo na definição do escopo é a determinação da especificação das funções do produto (bloco 2), quantificadas pela unidade funcional. Esta etapa trata da clarificação das funções relativas ao desempenho esperado do produto, e é seguida pela definição da unidade funcional (bloco 3), cujo propósito principal é fornecer uma referência

com relação à qual os dados de entrada e saída possam ser padronizados, o que requer que seja bastante clara e mensurável (ISO, 1997).

Quando houver múltiplos sistemas e funções a serem comparados, tão logo seja definida a unidade funcional, a quantidade de produto necessária para cumprir a função deve ser quantificada, o que resultará no fluxo de referência (bloco 4). Este fluxo de referência é então utilizado para que as entradas e saídas do sistema sejam calculadas.

A etapa seguinte é a de definição das fronteiras do sistema (bloco 5), onde são definidos os processos elementares que serão incluídos no sistema a ser modelado. Devem ser também tomadas decisões relativas a quais emissões para o meio-ambiente deverão ser avaliadas, e quanto ao nível de detalhe desta avaliação. Quaisquer decisões sobre a omissão de estágios do ciclo de vida, processos ou fluxos de entrada e saída devem ser claramente declaradas e justificadas (ISO, 1997).

Outro passo necessário para a definição do escopo do estudo de ACV é a descrição da categoria de dados (bloco 6), por exemplo:

- Entradas de energia, matéria-prima, substâncias auxiliares;
- Produtos;
- Emissões para a atmosfera, água, solo, ou outros aspectos ambientais.

Alguns critérios para a inclusão inicial de entradas e saídas devem ser estabelecidos durante a definição do escopo, o que ocorre no bloco 7 do diagrama da figura 2.4. Basicamente, três são os critérios estudados, descritos com mais detalhes abaixo: massa, energia e relevância ambiental.

- Massa: a partir de uma porcentagem da massa total do produto;
- Energia: a partir de uma porcentagem da energia total do sistema do produto;

- Relevância ambiental: a partir de uma percentagem da quantidade estimada de cada categoria de dados do sistema do produto.

A última etapa do processo de definição do escopo é a determinação dos requisitos de qualidade dos dados (bloco 9). É recomendável que os dados sejam caracterizados tanto por meio de aspectos quantitativos e qualitativos quanto pelos métodos utilizados para coletar e integrar estes dados. Para tanto, as coberturas temporal, geográfica e tecnológica deverão ser consideradas.

Segundo a norma ISO 14044 (2006), a qualidade dos dados deve ser avaliada segundo alguns parâmetros, dentre eles:

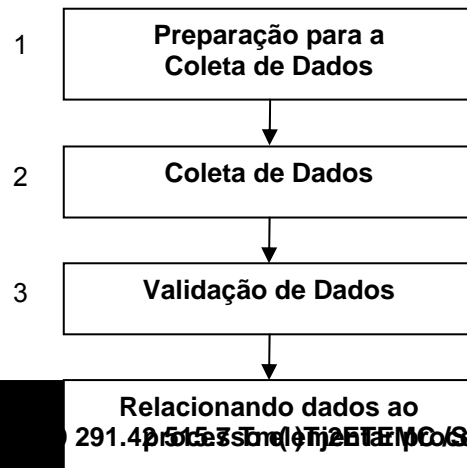
- Cobertura temporal: ou seja, a idade dos dados e o tempo mínimo de coleta;
- Cobertura geográfica: área geográfica indicada para a coleta dos dados;
- Cobertura tecnológica: combinação das tecnologias.

Tão logo o escopo seja definido, o modo com que a análise deve acontecer precisa ser esclarecido. A análise de profundidade determina quão longe as entradas e saídas serão rastreadas. Instalações e equipamentos compõem o primeiro nível de entradas, bem como materiais, energia e trabalho para produção. No segundo nível aparecem as instalações e equipamentos para produzir os itens do primeiro nível, bem como as entradas e saídas associadas (ISO, 1997).

2.3.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO

As ações para as definições do objetivo e do escopo de um estudo, descritas até este ponto, fornecem o plano inicial para a realização de uma ACV. O próximo passo para a execução de uma avaliação ambiental é a análise do inventário, uma fase que envolve preparação, coleta, compilação e quantificação de entradas e saídas para um determinado sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida.

Na figura 2.5 pode-se ver o diagrama de fluxo indicativo das atividades necessárias para a análise de inventário de uma ACV, condensadas a partir da descrição da norma ISO 14044 (2006):



291.40.51.33 (tj2571) Co.Sape AM85.22 -1085 1 1 1 sc3243.16 424..84 34.08 re3243

devem ser decompostos em uma série de subsistemas, o que costuma revelar detalhes freqüentemente imperceptíveis em níveis mais elevados. Esta atividade é conhecida por “preparação para a coleta de dados” (bloco 1 da figura 2.5), e é necessária para que se possa compreender todos os processos elementares e as categorias de dados a ela associadas.

A coleta de dados em si (bloco 2) é executada através de procedimentos que variam de acordo com os processos elementares encontrados nos diferentes sistemas modelados por um estudo de ACV. Esta atividade requer conhecimento completo sobre cada processo elementar, e envolve a descrição qualitativa e quantitativa das entradas e saídas necessárias para determinar onde o processo começa e termina, bem como a função do processo elementar. Uma vez que as entradas e saídas associadas a cada atividade tenham sido descritas, elas podem ser mensuradas.

As fontes a partir das quais os dados são coletados podem ser as mais diversas, mas é bastante comum que os dados disponíveis sejam médias da indústria local. Fornecedores e clientes são, geralmente, a melhor fonte de dados, principalmente quando são parte integrante do processo de desenvolvimento.

As fontes de dado incluem:

- Dados da indústria: registros de compras, contas de concessionárias, registros legais, registros de acidentes, especificação de produtos, dados de testes e ensaios;
- Dados públicos: estatísticas de indústrias, relatórios governamentais, ACVs públicas, especificação de produtos, dados de testes e ensaios.

Após a coleta de dados, a próxima etapa da análise de inventário deve tratar dos procedimentos de cálculo, com o objetivo de gerar os resultados do inventário do sistema definido para cada processo elementar, e para a unidade funcional definida para o sistema de produto que será modelado. Isto é geralmente

necessário para a transformação da matriz energética para o caso de energia elétrica, e para os fluxos que envolvem materiais combustíveis.

Estes procedimentos iniciam-se com a validação dos dados (bloco 3), ou seja, com o estabelecimento dos balanços de massa e energia e das análises comparativas de fatores de emissão, sendo que o tratamento dos dados deve ser adequadamente documentado. Como a maioria dos processos industriais produz mais de um produto e eles reciclam produtos intermediários ou descartados como matérias-primas, os fluxos de materiais e energia, assim como as liberações ao meio-ambiente associadas, devem ser alocados aos diferentes produtos, de acordo com procedimentos claramente estabelecidos, no que é denominado processo de alocação (bloco 4).

Em sendo o inventário baseado no balanço de material entre a entrada e a saída, é recomendável que os procedimentos de alocação aproximem-se tanto o quanto possível de tais relações e das características fundamentais de entrada e de saída. Isto se dá através da identificação dos processos compartilhados com outros sistemas de produtos, cuja soma das entradas e saídas alocadas igualladas à soma das entradas e saídas não-alocadas.

Os procedimentos de alocação são, basicamente:

- Evitar a alocação, sempre que possível, principalmente através da ampliação do sistema do produto;
- Separação das entradas e saídas entre seus próprios produtos ou funções;
- Alocação com base em outras características dos produtos.

Tais dados devem então ser relacionados com o processo elementar (bloco 5), sendo que para cada processo deve ser determinado um fluxo de referência apropriado, e com a unidade funcional (bloco 6), através da normalização dos fluxos de todos os processos. Por fim, os dados são agregados (bloco 7), e as fronteiras do sistema podem ser refinadas (bloco 8).

A qualidade dos dados considerados é uma preocupação constante na ACV. Para se avaliar as conseqüências da sua variação, executam-se análises de incerteza e de sensibilidade, detalhadas no apêndice D.

Outras dificuldades bastante freqüentes nas indústrias dizem respeito à falta de dados (ou a falta de acesso aos mesmos), ao longo tempo demandado para a execução de uma avaliação, e aos custos necessários para a sua compilação. Autores como FAVA (1993), citam a sistematização e a informatização das ACVs como alternativas valiosas para a redução dos custos e do tempo necessário para a execução de uma avaliação ambiental.

2.3.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

A análise de inventário, vista até aqui, identifica e quantifica as entradas e saídas de materiais, energia e resíduos através de cada sistema de produto. Entretanto, sem maiores análises, os dados coletados durante a fase de inventário podem ser mal interpretados. Por este motivo, a avaliação de impactos, regida pela norma ISO 14044 (2006) é necessária para uma interpretação adequada e para a identificação dos principais impactos associados ao produto.

A avaliação de impacto usa da aplicação de técnicas qualitativas e quantitativas para caracterizar e avaliar os efeitos ambientais associados aos itens do inventário, e traz como resultado final o perfil ambiental de um produto.

A ACV consiste em várias técnicas para identificar e avaliar os efeitos adversos associados a um sistema de produto, e os dados de inventário podem ser traduzidos em impactos ambientais através de diferentes modelos, muitos deles centrados em análise de riscos e efeitos potencialmente nocivos. Os impactos são normalmente classificados em: uso de recursos, saúde e segurança humana, degradação ecológica, e outros efeitos sociais relacionados aos distúrbios no meio-ambiente.

2.4. METODOLOGIA PARA O PROJETO DE PRODUTOS

Os conceitos relacionados à metodologia de projeto de produtos aplicados neste trabalho são baseados na estrutura desenvolvida e apresentada por PAHL e BEITZ (1996). Esta é uma referência reconhecida mundialmente e adotada pelas principais instituições de ensino do mundo, como:

- Universidade de Cambridge, Inglaterra (*University of Cambridge*), <http://www.cam.ac.uk>
- Universidade Técnica de Berlin, Alemanha (*Technische Universität Berlin*), <http://www.tu-berlin.de>
- Universidade de Sidney, Austrália (*University of Sydney*), <http://www.usyd.edu.au>

Segundo estes autores, a principal tarefa dos engenheiros e desenvolvedores de produtos é aplicar seus conhecimentos técnicos e científicos na solução de problemas, e então, na otimização destas soluções dentro das limitações e dos requisitos impostos por fatores tecnológicos, econômicos, legais e ambientais, dentre outros. Estes desenvolvedores determinam as propriedades do produto relacionadas a funcionalidade, segurança, ergonomia, produção, transporte, operação, manutenção, reciclagem e disposição final, que influenciam diretamente nos impactos ambientais do ciclo de vida da solução.

Tendo em vista toda a complexidade envolvida no projeto de um produto, é importante que haja um procedimento de projeto definido com o objetivo de guiar os projetistas a possíveis soluções de maneira mais rápida e mais direta do que outras maneiras. Tal procedimento deve ser flexível, e ao mesmo tempo capaz de ser planejado, otimizado, e verificado. Este procedimento só pode ser utilizado, contudo, se os projetistas envolvidos na tarefa de desenvolvimento possuírem o conhecimento necessário e trabalharem de maneira sistemática (VTC, 2004).

A metodologia apresentada por PAHL e BEITZ (1996) propõe planos e procedimentos para um processo genérico de solução de problemas relacionado ao planejamento e desenvolvimento de produtos, e atua como guia para as fases mais concretas do processo de projeto. Tais planos e processos auxiliam na identificação do que, em princípio, deve ser feito, mas devem ser adaptados a cada situação e problema específico. Esta metodologia pode ser apresentada na forma de um fluxograma, apresentado na figura 2.6.

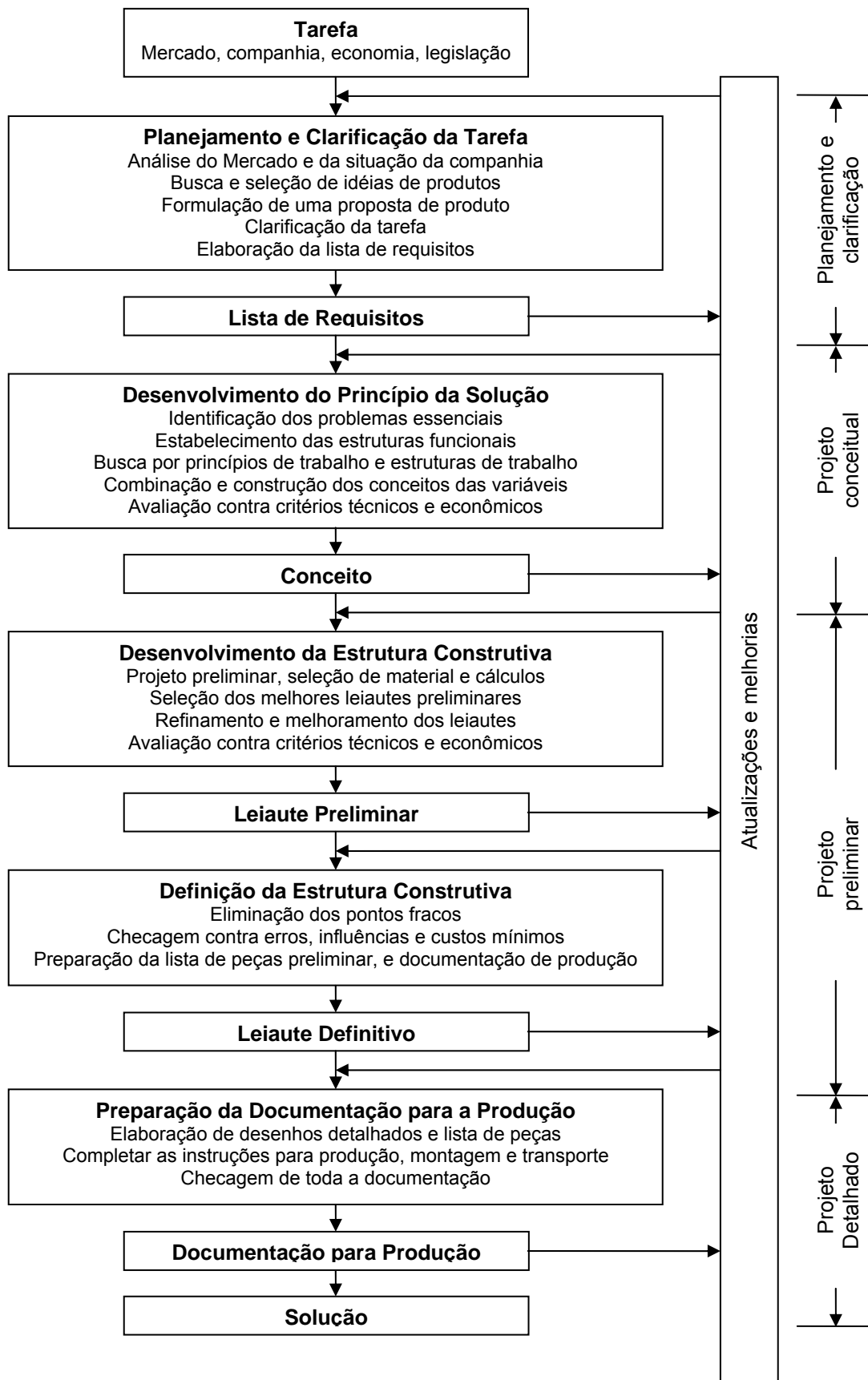


Figura 2.6 – Etapas para o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos (PAHL e BEITZ, 1996)

Em princípio, o projeto do produto surge a partir de uma necessidade expressa pelo mercado consumidor, pela própria companhia, ou por fatores legais ou econômicos. Em seguida ocorre o planejamento e a clarificação da tarefa, da identificação das funções requeridas e da elaboração das soluções, e termina na documentação do produto. É muito útil, e bastante comum, dividir esta metodologia nas seguintes fases principais:

- Planejamento e clarificação da tarefa: especificação da informação;
- Projeto conceitual: especificação do princípio;
- Projeto preliminar: especificação do leiaute (construção);
- Projeto detalhado: especificação da produção.

2.4.1. PLANEJAMENTO E CLARIFICAÇÃO DA TAREFA

De acordo com PAHL e BEITZ (1996), a fase de planejamento do produto e de clarificação da tarefa é tratada de maneiras diversas dentro das companhias envolvidas no projeto de produtos. De uma maneira sistemática, entretanto, pode-se afirmar que, a partir da análise realizada com base nos estímulos enviados pelo mercado consumidor, pela economia, e pelas mudanças legais, políticas e sócio-culturais, a fase de planejamento de produto considera cinco etapas:

- Análise da situação da companhia e de seus produtos, utilizando o conhecimento do mercado e de outras fontes;
- Formulação das estratégias de busca, considerando os objetivos, pontos fortes e pontos fracos da companhia, bem como nichos de mercado e necessidades;
- Busca pelas idéias de produtos, através da procura, dentro de cada área, por novas funções, princípios de trabalho e geometrias básicas, considerando os fluxos de energia e material;

- Seleção das idéias de produtos, utilizando um procedimento de seleção que considere os objetivos da companhia e o mercado consumidor;
- Definição dos produtos, através da elaboração e avaliação de idéias, utilizando-se da emissão da lista de requisitos do projeto.

A etapa da clarificação da tarefa, que pode preceder ou suceder a fase de planejamento de produto, visa assegurar que os desenvolvedores de produto tenham o total entendimento do que está sendo requerido pelos consumidores. Esta atividade leva à formulação de uma lista de requisitos, um rol de desejos e exigências impostas pelos futuros consumidores do produto, que objetiva parametrizar (com aspectos qualitativos e quantitativos tabulados) as etapas subseqüentes do processo de desenvolvimento do produto.

2.4.2. PROJETO CONCEITUAL

A fase do projeto conceitual trata da definição da solução básica, alcançada através do estabelecimento da estrutura funcional do produto e da busca pelos princípios adequados de trabalho. Após esta fase, em geral, é possível de se avaliar os aspectos essenciais de uma solução, rever os objetivos a serem alcançados e as limitações envolvidas.

É possível que várias soluções primárias sejam encontradas, neste caso cada uma delas deve ser avaliada. Variáveis que não satisfazem às exigências dos requisitos listados devem ser eliminadas, e as demais devem ser julgadas através da aplicação metodológica de critérios específicos.

Durante esta fase, os critérios mais importantes têm sido de natureza técnica, seguido pelos comerciais. Tradicionalmente, os critérios ambientais não vêm sendo levados em consideração.

A fase do projeto conceitual possui algumas etapas a serem seguidas dentro da metodologia proposta por PAHL e BEITZ (1996), conforme pode ser visto na figura 2.7:

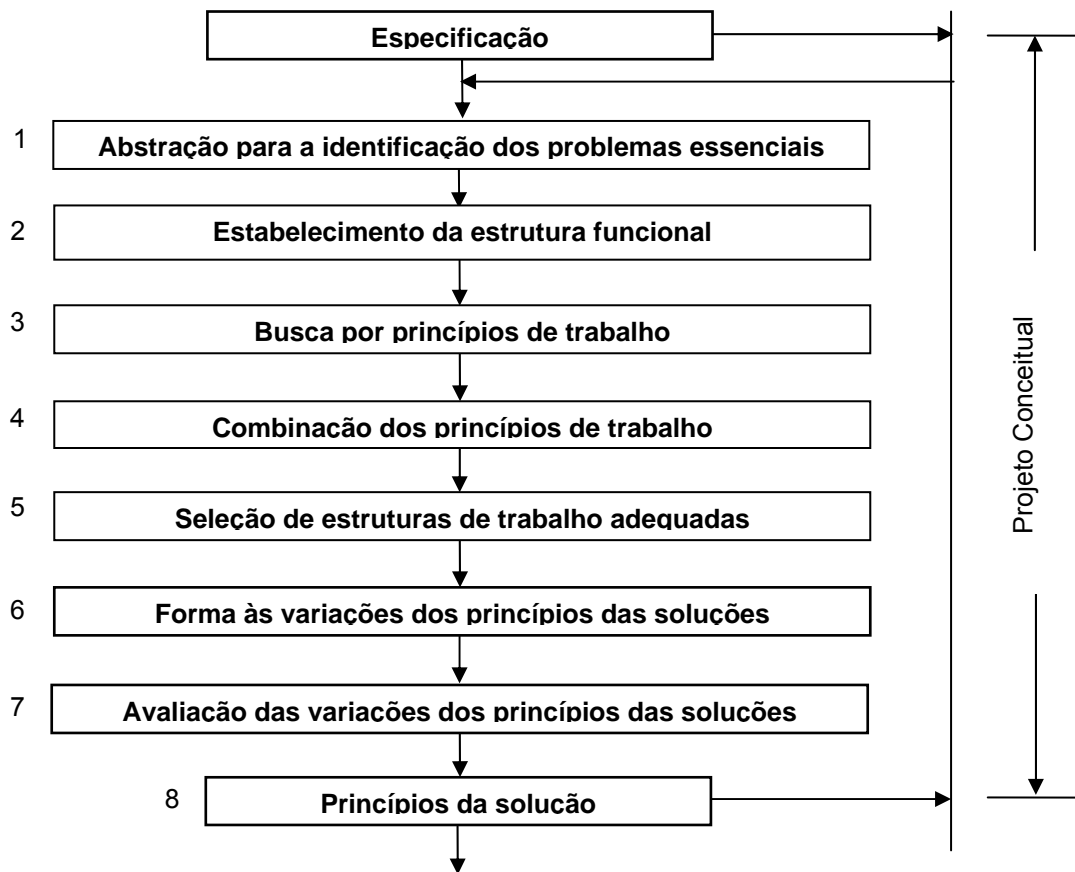


Figura 2.7 – Etapas para a fase de Projeto Conceitual (PAHL e BEITZ, 1996)

A primeira etapa, a de abstração (bloco 1), envolve uma análise geral das funções essenciais requeridas pelo produto, levando diretamente à determinação do núcleo da tarefa, com suas conexões funcionais e suas limitações específicas. Neste bloco, o objetivo a ser alcançado pelo produto é definido em um plano abstrato, sem que qualquer solução em particular seja sequer rascunhada.

O estabelecimento da estrutura funcional (bloco 2) é o próximo passo, e trata da relação entre as entradas e saídas de uma instalação fabril, de um

sistema, ou de uma máquina. Nesta etapa, cada processo pode ser tratado como uma unidade composta por fluxos de energia e materiais que formam um diagrama de blocos, diminuindo bastante a complexidade das análises.

O bloco 3 trata da busca por princípios de trabalho, etapa onde cada sub-função deve ser traduzida em um princípio de trabalho, que combinados da mesma maneira que a estrutura funcional, passam a concretizar a estrutura de trabalho, e a indicar os princípios da solução final. Nesta fase é comum que diagramas sejam utilizados ao invés de desenhos ou rascunhos, até a criação de diversas opções de solução, o chamado “campo de soluções”.

A próxima etapa do Projeto Conceitual é a combinação dos princípios de trabalho (bloco 4), que trata da elaboração de soluções a partir da combinação dos princípios de trabalho, buscando atender à função completa requerida. Esta tarefa é freqüentemente realizada através da execução de uma matriz morfológica, onde soluções podem ser indicadas e combinadas.

A seleção de estruturas de trabalho adequadas (bloco 5) é freqüentemente feita através de planilhas onde os principais critérios constantes dos requisitos são avaliados qualitativamente, uma vez que as estruturas de trabalho nesta fase geralmente não são concretas a ponto de poderem ser selecionadas por características quantitativas.

Dar forma às variações dos princípios das soluções (bloco 6) significa concretizar soluções, ainda que sem compromissos quantitativos. Cada vez mais os detalhes começam a ser importantes, e os dados essenciais são freqüentemente obtidos através de aproximações como cálculos simplificados, rascunhos, experimentos preliminares, modelamento de sistemas análogos, etc.

A avaliação das variações dos princípios das soluções (bloco 7) é a etapa seguinte deste processo. Nela, as características técnicas e econômicas devem ser preservadas através de conceitos de ordem funcional, de princípio de trabalho, dimensional, de segurança, ergonômica, produtiva, de qualidade, de transporte, de operação, de manutenção, de reciclagem e de custos.

Por fim, o bloco 8 trata dos princípios da solução, em verdade o resultado final da fase de projeto conceitual e que serve como dado de entrada para a fase seguinte, o projeto preliminar.

2.4.3. PROJETO PRELIMINAR

O projeto preliminar, conforme descrito na metodologia de PAHL e BEITZ (1996), é composto por vários blocos, indicados no diagrama de fluxo da figura 2.8. Durante esta fase, projetistas, começando a partir de um conceito (bloco 1), determinam a estrutura construtiva de um sistema de acordo com os critérios técnicos e econômicos (Pahl e Beitz não citam a inclusão dos aspectos ambientais, sendo este o escopo do estudo a ser realizado no próximo capítulo). Tal estrutura é desenvolvida através da escolha preliminar de formas, da seleção de materiais e de alguns cálculos, seguida pela produção e seleção de leiautes.

Freqüentemente faz-se necessário a produção de vários leiautes preliminares para se obter maiores informações sobre as vantagens e desvantagens das diferentes variáveis em questão. Após suficiente elaboração destes leiautes, esta fase do projeto também é finalizada com a avaliação contra critérios técnicos e econômicos, o que resulta em novos conhecimentos ou em um nível mais avançado de informação.

O processo, descrito de maneira mais detalhada, tem seu início na identificação, através da lista de exigências do projeto, dos requisitos que possuem importância fundamental para a fase preliminar (bloco 2).

Geralmente estes requisitos fundamentais estão relacionados a limitações de espaço físico, de posicionamento e de materiais a serem utilizados, mas podem também depender de outros fatores, como aqueles baseados em segurança, ergonomia, produção e montagem, por exemplo.

Os próximos passos da fase de Projeto Preliminar estão ligados à produção de desenhos em escala relacionados às limitações espaciais (bloco 3), como a posição de eixos e requisitos de instalação, e de leiautes simplificados que considerem os componentes e os sistemas que atendam às exigências das principais funções requeridas (bloco 4). Isto significa que o arranjo geral, bem como a forma dos componentes e seus materiais passam a estar em condições de ser provisionados (bloco 5).

Os leiautes preliminares mais adequados devem então ser selecionados (bloco 6), e aperfeiçoados para as demais funções que até então não haviam sido consideradas (bloco 7). Funções auxiliares (como suporte, refrigeração, retenção, etc.) devem ser identificadas (bloco 8). Estas ações permitirão a produção de leiautes detalhados que considerem as funções principais (bloco 9), com atenção à padronização, legislação, cálculos e descobertas experimentais, bem como às novas funções auxiliares que ainda não foram exploradas a fundo.

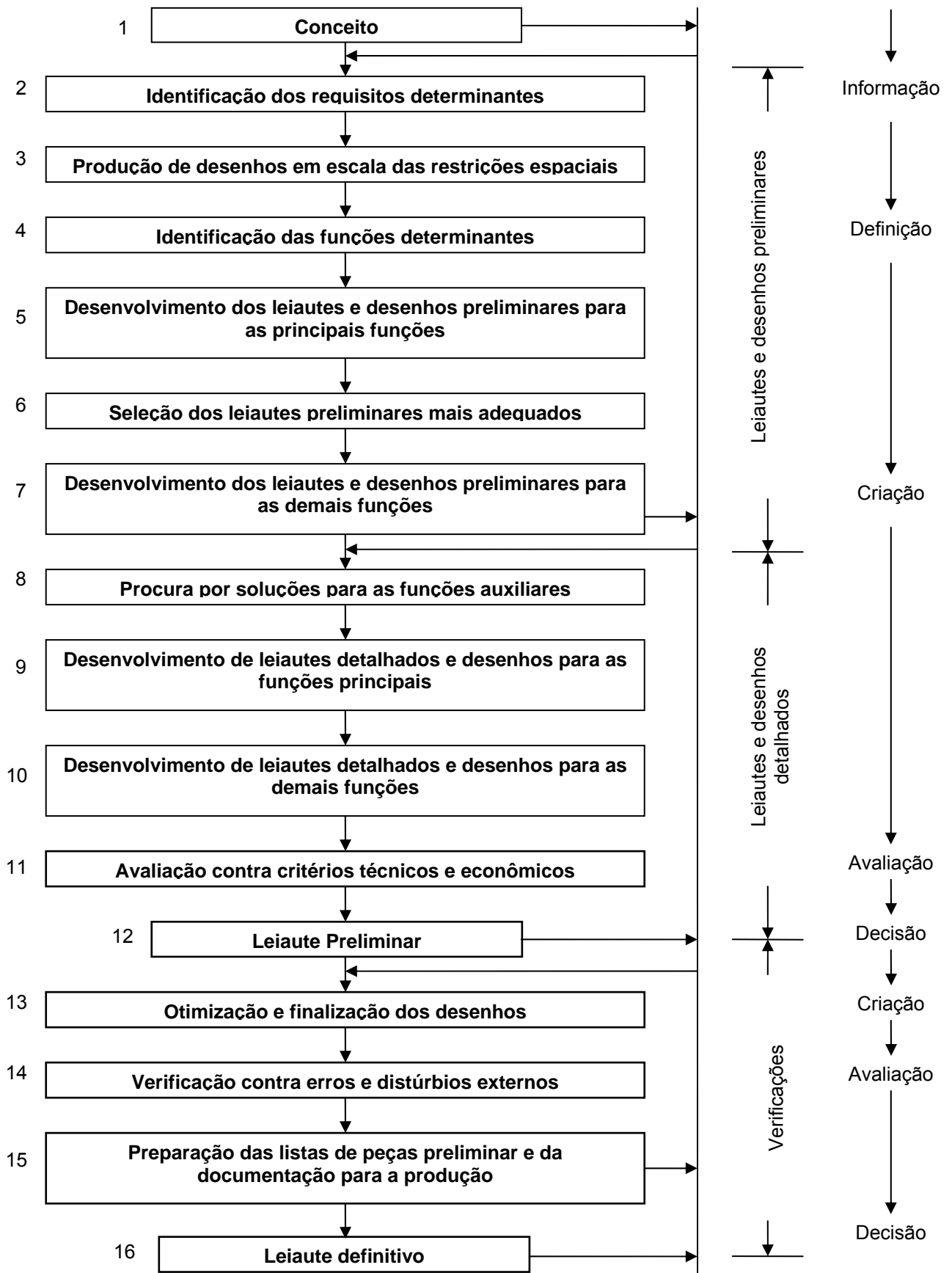


Figura 2.8 – Etapas para a fase de Projeto Preliminar (PAHL e BEITZ, 1996)

Estas funções auxiliares devem então ter seus leiautes detalhados (bloco 10) e, caso seja necessário, o projeto das funções principais deve ser retrabalhado para que todas as funções sejam devidamente combinadas.

A etapa seguinte (bloco 11) trata da avaliação dos leiautes contra critérios técnicos e econômicos. Após estas avaliações, o leiaute preliminar deve ser escolhido (bloco 12) e então otimizado através da eliminação dos pontos fracos que porventura tenham sido identificados ao longo da avaliação (blocos 13 e 14).

A conclusão da fase de projeto preliminar dá-se com a preparação de uma lista de peças (bloco 15), com a documentação para a produção e montagem e com o leiaute definitivo, que provê a avaliações das funções, das cargas envolvidas e da compatibilidade espacial, por exemplo. Além disto, nesta fase, a viabilidade econômica do projeto deve ser avaliada. Apenas depois é que o trabalho deve começar, na fase de projeto detalhado.

Por fim, o leiaute definitivo, que compreende o desenho detalhado de componentes e a definição de materiais, é gerado.

2.4.4. PROJETO DETALHADO

A fase de Projeto Detalhado é a etapa do processo de desenvolvimento na qual os arranjos, as formas, os materiais, as dimensões e as propriedades superficiais de todos os componentes individualmente são especificados, as possibilidades produtivas são avaliadas, os custos são estimados e todos os desenhos e demais documentações são produzidos.

O projeto detalhado trata da preparação para a produção, através principalmente da elaboração de desenhos detalhados, listas de peças, instruções para produção, montagem e transporte.

Nesta fase é muito comum que correções sejam executadas, obrigando até mesmo que certos passos anteriores sejam refeitos. Frequentemente isto não

chega a afetar a solução por inteiro, focando mais no nível das sub-montagens e dos componentes. O resultado desta fase é a especificação da produção.

De maneira esquemática, a fase de Projeto Detalhado pode ser representada através do fluxograma da figura 2.9:

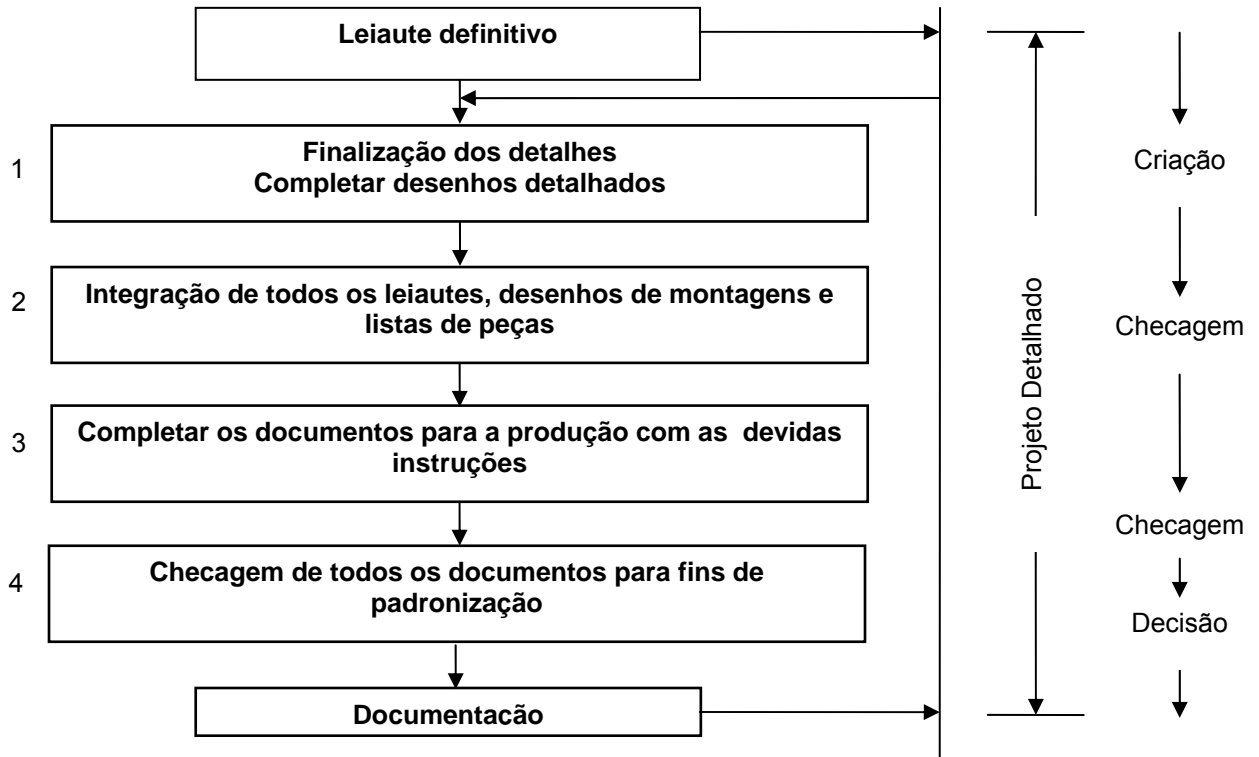


Figura 2.9 – Etapas para a fase de Projeto Detalhado (PAHL e BEITZ, 1996)

De maneira pormenorizada, segundo PAHL e BEITZ (1996), o primeiro passo do Projeto Detalhado é a finalização dos desenhos de componentes com relação à otimização de formas, materiais, superfícies e tolerâncias (bloco 1). Esta otimização visa à máxima utilização de materiais mais adequados, com melhor relação de custo/benefício e com maior facilidade para a produção.

O passo seguinte (bloco 2) trata da integração de componentes individuais em montagens, sucessivamente, até a construção do produto final. Esta etapa é

bastante influenciada por parâmetros de produção, e é seguida pelo próximo passo (bloco 3), que trata da emissão de documentações para a produção, montagem, transporte e operação.

A checagem de todos os documentos (bloco 4), especialmente dos desenhos detalhados e das listas de peças, é a última etapa da fase de Projeto Detalhado, que entrega à organização toda a documentação necessária à produção.

3. MÉTODO

O objetivo deste trabalho, conforme descrito na seção 1.3, é a incorporação sistemática de uma metodologia de avaliação de ciclo de vida a uma metodologia de projeto de produtos, buscando tornar o conhecimento acerca das conseqüências ambientais associadas ao produto tangível às equipes de projeto. Este capítulo trata do desenvolvimento do método para se atingir esta incorporação.

O método proposto para se chegar à incorporação é baseado na revisão bibliográfica tanto da metodologia para o projeto de produtos de Pahl e Beitz (1996) quanto da metodologia para a avaliação do ciclo de vida (ISO, 2006). Uma vez que o resultado da incorporação tenha sido elaborado (apresentado no capítulo 4), o mesmo deverá ser validado através de um estudo de caso (apresentado no capítulo 5) e finalmente discutido (capítulo 6).

No capítulo anterior, que trata da revisão bibliográfica, foram apresentados todos os passos para a execução da metodologia de projeto de produtos de Pahl e Beitz (1996), bem como para a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ISO, 2006). A proposta de incorporação trata justamente da união de todos os diagramas da metodologia de projetos (figuras 2.7 a 2.9) aos diagramas da metodologia de avaliação do ciclo de vida (figuras 2.4 e 2.5).

Para que esta incorporação seja construída de maneira estruturada, faz-se necessário que algumas condições de contorno sejam estabelecidas. A primeira das condições de contorno a ser discutida diz respeito às fases da metodologia de projeto de produtos de PAHL e BEITZ (1996) que estão sendo consideradas no processo de incorporação.

Conforme mencionado no capítulo anterior (seção 2.4), esta metodologia é bastante ampla e complexa, dividida basicamente nas quatro fases apresentadas: “Planejamento e Clarificação da Tarefa”, “Projeto Conceitual”, “Projeto Preliminar” e “Projeto Detalhado”.

Em algumas destas fases, entretanto, as ações que poderiam ser traduzidas em resultados ambientais perceptíveis às equipes de projeto encontram-se mais distantes dos engenheiros e projetistas do que em outras, notadamente o caso das fases de “Planejamento Clarificação da Tarefa” e de “Projeto Conceitual”. Isto se deve ao fato de que raras são as circunstâncias onde estas fases entregam aos projetistas dados mensuráveis capazes de alimentar sistemas de avaliação quantitativos, como é o caso da ACV.

Ainda assim, é importante notar o fato de alguns autores terem publicado propostas bastante concretas com relação à integração dos aspectos ambientais a estas fases, como KOBAYASHI (2005) e MASUI *et al.* (2003), por exemplo, que tratam da inclusão dos aspectos ambientais às atividades relacionadas ao desdobramento da função qualidade do desenvolvimento de produtos. Outras ações que podem estar diretamente ligadas às fases de “Planejamento Clarificação da Tarefa” e de “Projeto Conceitual” são aquelas associadas ao “Pensamento do Ciclo de Vida”¹.

Mesmo que a proposta de incorporação postule que as duas fases citadas não entreguem informações para avaliações ambientais, a primeira delas (de “Planejamento Clarificação da Tarefa”) é indicada como o processo mais adequado dentro da metodologia de projeto para tratar da definição dos objetivos das avaliações ambientais a serem executadas pelo novo método. Isto se deve ao fato de que é nesta fase em que as propostas para os produtos são formuladas e que os requisitos são elaborados (conforme pode ser visto na figura 2.6).

Nota 1: o Pensamento do Ciclo de Vida é uma lógica que influencia o modo com que problemas ambientais, suas conseqüências e responsabilidades são contextualizadas durante a fase de projeto, para todo o ciclo de vida de um produto (HEISKANEN, 2002).

As fases da metodologia de PAHL e BEITZ (1996) que permitem maior grau de interação dos projetistas com soluções que possam ser medidas quanto ao seu desempenho ambiental são as de “Projeto Preliminar” e “Projeto Detalhado”. Por este motivo, o foco deste trabalho (no que tange às avaliações ambientais) serão os dados tratados em algumas etapas destas duas fases.

É muito importante notar que o fato de se propor que apenas uma parte de toda a metodologia de projeto de produtos seja utilizada para a execução de avaliações ambientais não deve significar que o processo de projeto possa abdicar de qualquer fase somente pelo fato de que esta não entregue dados mensuráveis para análises ambientais.

A fase de Projeto Preliminar será a primeira, portanto, a partir da qual dados típicos de projeto serão submetidos às avaliações ambientais. Como se pode afirmar que esta é uma fase de grande conteúdo criativo, e a mais longa e complexa da metodologia de PAHL e BEITZ (1996), a proposta é que esta submissão de informações aconteça não apenas uma vez ao longo de toda a fase, mas em duas oportunidades. As etapas propostas como fonte de dados para as avaliações ambientais dentro desta fase são as de “desenvolvimento dos leiautes e desenhos preliminares para as demais funções” e de “otimização e finalização de desenhos” (PAHL e BEITZ, 1996).

Com relação à fase de Projeto Detalhado, a proposta é de que esta deve fornecer dados em apenas uma oportunidade, na etapa de “finalização dos detalhes e compleição dos desenhos de detalhes”.

O nível de detalhamento dos leiautes em cada uma das três fases citadas acima é indicado na figura 3.1. Apesar desta ser uma indicação genérica, pode-se ver o desenvolvimento progressivo da solução ao longo das etapas do projeto do produto.

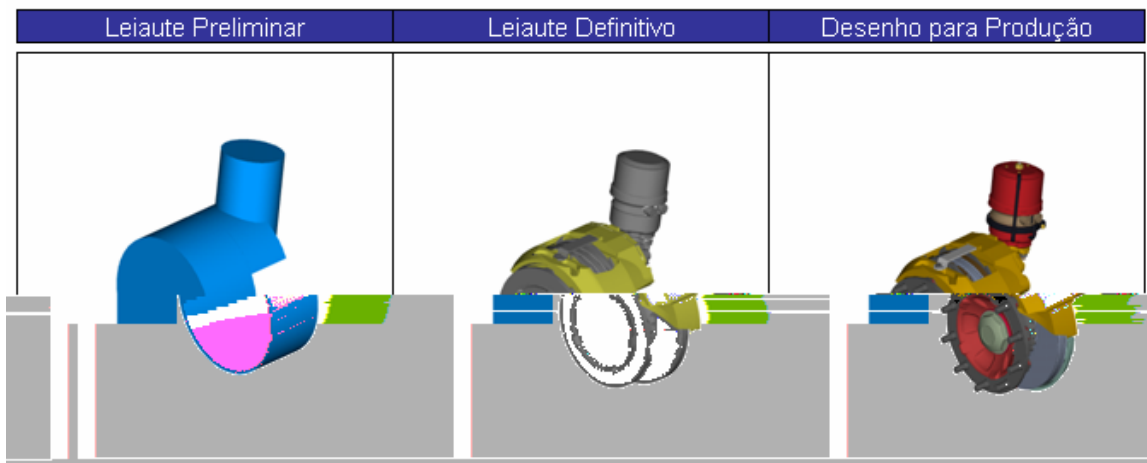


Figura 3.1 – Exemplos de leiautes para a mesma solução

É importante ressaltar que este é apenas um exemplo, e mesmo a fase de leiaute preliminar pode apresentar níveis de detalhamento maior, dependendo do projeto.

A figura 3.2 indica as quatro fases da metodologia de projetos de Pahl e Beitz (1996). Nesta figura, tanto o fluxo de informação oriundo da fase de Planejamento e Clarificação da Tarefa, quanto os três fluxos de informação oriundos das fases de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado podem ser observados como as linhas de fluxo em traço duplo.

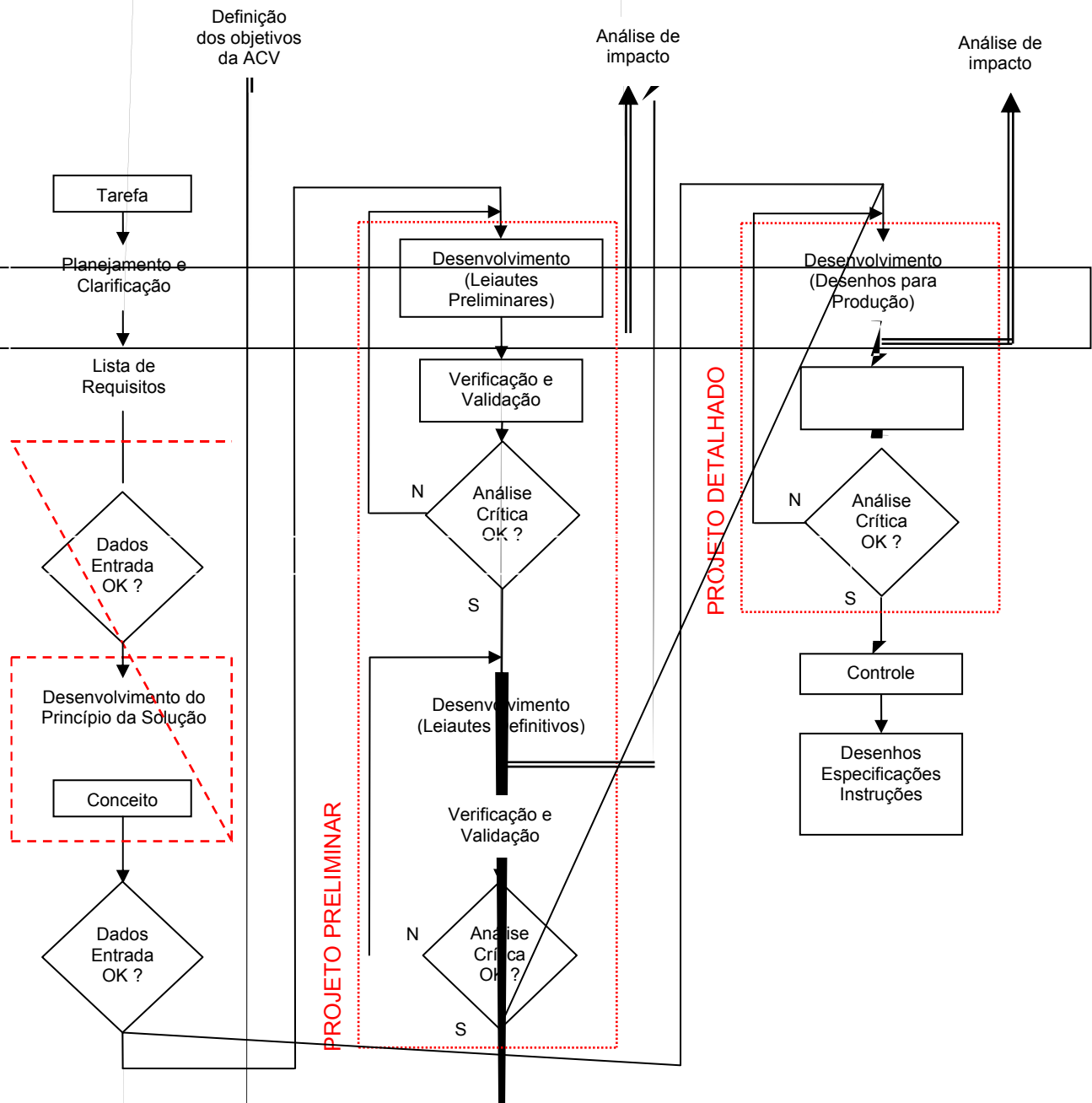


Figura 3.2 – Saídas da metodologia de projeto de produtos (elaborado pelo autor)

Percebe-se na figura 3.2 que, conforme citado, a saída oferecida pela fase de Planejamento e Clarificação tem como destino a definição dos objetivos da ACV enquanto as saídas das fases de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado têm

como destino a composição do inventário da ACV (sendo o inventário a base para a execução de avaliações ambientais).

Para concluir a incorporação proposta, além da definição das saídas da metodologia de projeto de produtos, é preciso definir quais etapas das fases da ACV são aplicáveis às etapas da metodologia do projeto e podem ser sistematizadas dentro do método proposto. Análise similar à que foi executada para a metodologia de projeto de produtos deve ser, portanto, também executada para as fases constantes da metodologia de avaliação ambiental.

A aplicação da ACV (ISO, 2006) pode se transformar em um processo bastante complexo quando suas fases de “definição de objetivo e escopo” e de “análise de inventário” são desdobradas. Para fins de sua incorporação a uma metodologia de projeto de produtos, entretanto, nem todas as etapas que compõem estas fases (figuras 2.4 e 2.5) são relevantes ao longo de todo o processo de projeto de produtos. Desta maneira, as etapas da ACV que farão parte do escopo da incorporação proposta por este trabalho devem ser melhor detalhadas.

A definição do objetivo das avaliações ambientais, primeiro passo do método ACV (ISO, 2006), conforme já citado, está bastante relacionado à fase de Planejamento e Clarificação da metodologia de projeto de produtos. A proposta é de que os objetivos das ACVs a serem realizadas através deste método, independente do produto a ser desenvolvido, sejam:

- Informar a equipe de projeto sobre o desempenho ambiental dos produtos durante o seu processo desenvolvimento;
- Entregar subsídios para a tomada de decisões técnicas durante o processo desenvolvimento do produto.

Os passos seguintes da ACV, que já tratam da definição do escopo² da

Nota 2: como referência, ver figura 2.4, no capítulo de revisão bibliográfica.

avaliação, dizem respeito às funções, unidade funcional e fluxo de referência. Estas três etapas são dependentes de cada produto, portanto não podem ser sistematizadas pelo método proposto neste trabalho. Ainda assim, a execução destas etapas ocorre de maneira independente de quaisquer etapas da metodologia de projeto do produto.

As fases seguintes, de definição das fronteiras do sistema, descrição das categorias de dados e critérios para a inclusão de dados podem ser sistematizadas pelo método proposto. Estas três fases também são independentes das etapas da metodologia de projeto do produto.

Com relação às fases da etapa de análise de inventário, pode-se afirmar que as mesmas são fortemente vinculadas à metodologia de projeto, uma vez que parte dos dados a serem utilizados para as avaliações ambientais são oriundas justamente das definições técnicas da solução.

Desta maneira, as entradas para o método de ACV podem ser representadas conforme o diagrama da figura 3.3:

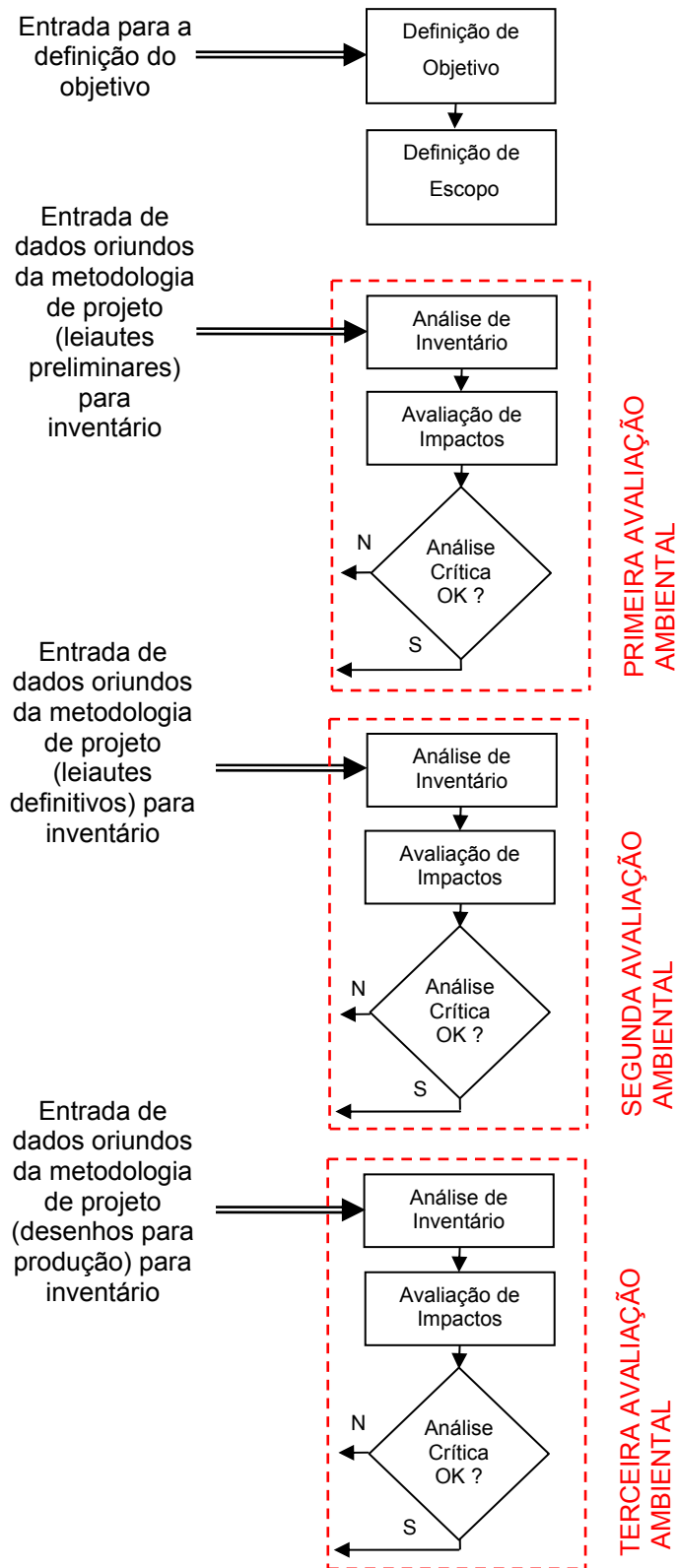


Figura 3.3 – Entradas para a metodologia de avaliação do ciclo de vida (elaborado pelo autor)

Pode-se perceber no diagrama da figura 3.3 que a definição dos objetivos da ACV, a partir de dados oriundos da metodologia de projeto, bem como a fase seguinte, de definição do escopo, podem acontecer tão logo quanto o projeto do produto seja iniciado. As fases de análise de inventário e de avaliação de impacto, por sua vez, dependem diretamente das informações oriundas da metodologia de projeto.

Estas fases são executadas de maneira independente nas três oportunidades definidas pela metodologia de projetos. As duas primeiras avaliações ambientais são realizadas com dados oriundos da fase de projeto preliminar da metodologia de projetos (leiautes preliminares e leiautes definitivos, respectivamente), e a terceira avaliação ambiental é realizada com os dados oriundos da fase de projeto detalhado da metodologia de projetos (desenhos para produção).

Este método proposto pode ser utilizado não apenas para o re-projeto de componentes existentes, mas também para o projeto de novos produtos. Uma vez que já existem propostas de “re-projeto para o meio ambiente”, como por exemplo a apresentada por MARQUES (2004) para a indústria moveleira, a proposta desenvolvida por este trabalho é inovadora no sentido de atender à necessidade de métodos para novos produtos.

A execução desta metodologia para novos produtos poderá se dar através da comparação da solução contra os requisitos de projeto ou através de alternativas distintas para as mesmas soluções. Ela também é aplicável aos re-projetos, como no caso do trabalho citado (MARQUES, 2004).

4. RESULTADO

Este capítulo apresenta, como resultado dos estudos realizados e demonstrados nos capítulos anteriores, um novo método para a incorporação da avaliação do ciclo de vida ao projeto do produto, com base em uma metodologia de projeto de produtos e em uma metodologia de avaliação do ciclo de vida³.

4.1. INCORPORAÇÃO DA ACV À METODOLOGIA DE PROJETOS

A incorporação proposta mostra-se possível e pode ser representada através de um diagrama de fluxo, construído com base na união dos diagramas indicados nas figuras 3.2 e 3.3, apresentados no capítulo anterior. Este fluxograma, que pode ser ainda considerado um modelo simplificado, está representado na figura 4.1.

Nesta construção pode-se notar um fluxo contínuo de projeto de produtos (representados pelos quatro macro-processos destacados em linha tracejada) aos quais processos de avaliação de impacto ambiental são ligados a partir das condições de contorno esclarecidas no capítulo anterior.

Nota 3: A metodologia de projeto de produtos e o método de avaliação do ciclo de vida utilizados foram apresentadas em detalhes nas seções 2.3 e 2.4, respectivamente.

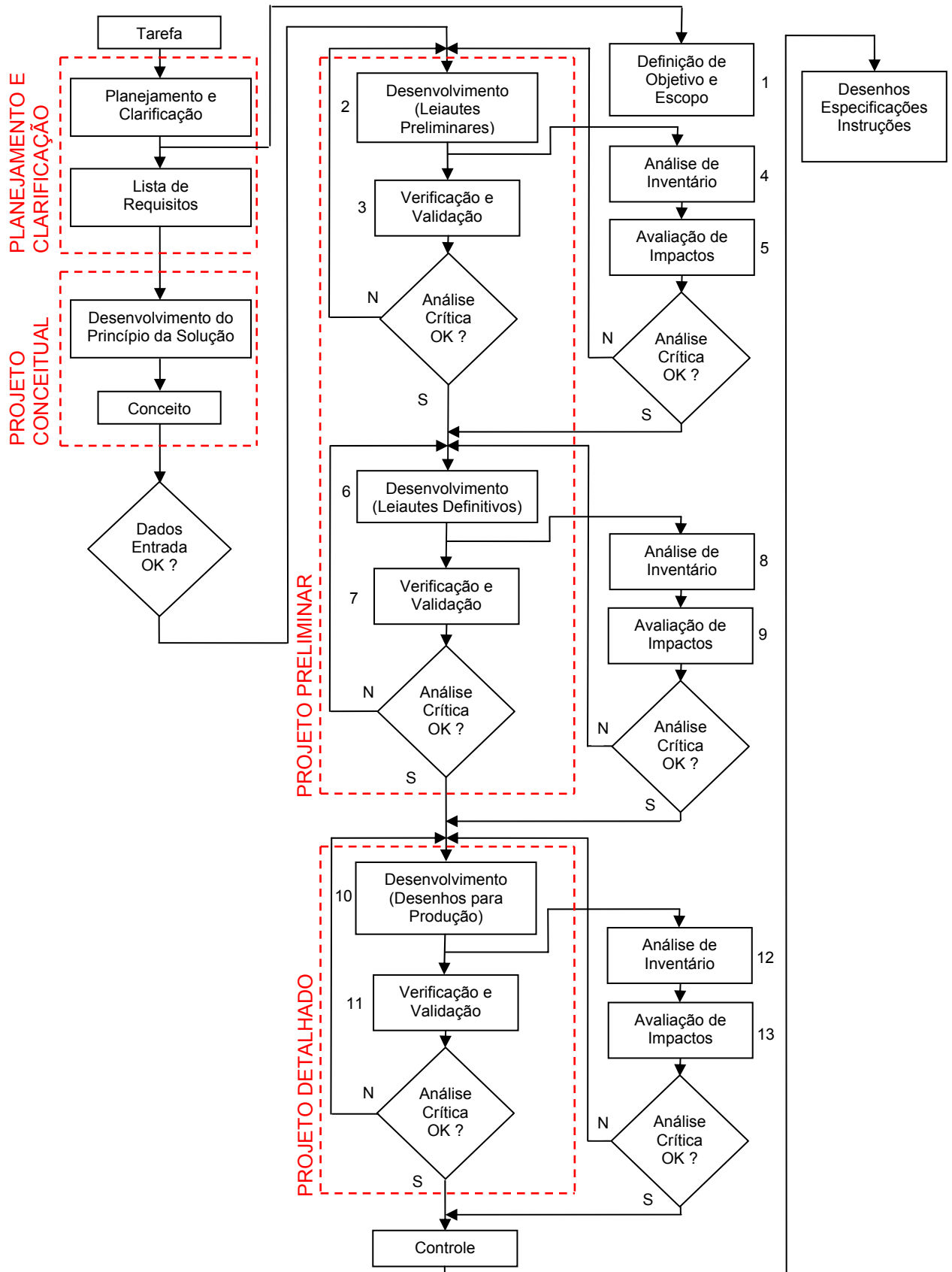


Figura 4.1 – Processo (preliminar) integrado de projeto de produtos e ACV (elaborado pelo autor)

Conforme já citado no capítulo anterior, as etapas da ACV relativas às funções, unidade funcional e fluxo de referência não podem ser previamente determinadas pelo método, uma vez que são particulares para cada produto.

A próxima etapa na definição do escopo de uma ACV é a determinação das fronteiras do sistema. A proposta deste trabalho com relação a esta definição é de que todas as informações necessárias para a execução de ACVs sejam agregadas dentro de fronteiras pré-determinadas, limitadas aos seguintes processos: fabricação da matéria-prima, fornecedor “Tier 1”⁴ na cadeia de suprimento, transporte até a indústria de montagem do produto final, indústria montadora, uso e descarte / reciclagem.

Os processos do sistema de produtos a serem considerados são representados, de forma simplificada, na figura 4.2.

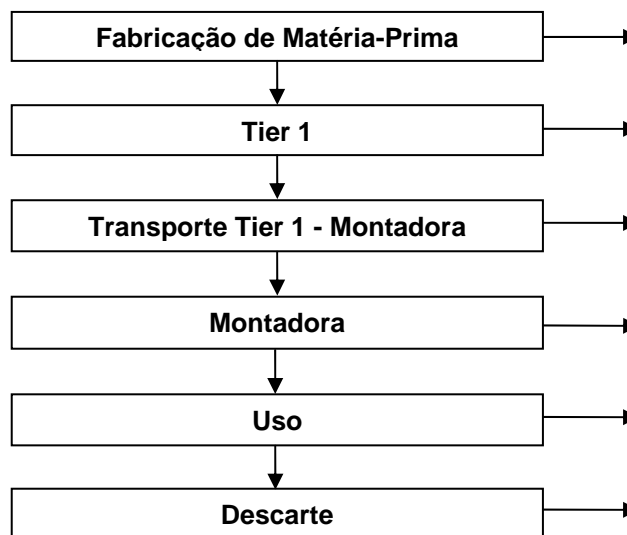


Figura 4.2 – Processos do sistema de produtos (fronteiras do sistema)

Nota 4: “Tier-n” é a denominação utilizada para a posição de um fornecedor dentro da seqüência de suprimentos. Como exemplo, o fornecedor “Tier 1” da cadeia produtiva é aquele a partir do qual os componentes ou matéria-prima são adquiridos diretamente para a montagem final.

Esta definição de fronteiras justifica-se nos seguintes fatos:

- 1) A extração de matéria-prima deve ser considerada na avaliação ambiental por ter grande importância na análise sobre a escassez de recursos naturais.
- 2) Os fornecedores “Tier 1” são geralmente auditados por equipes da companhia montadora e possuem compromissos a serem cumpridos com relação à disponibilização de informações. Esta relação entre fornecedores e cliente é citada por TSOUFLAS *et al.* (2005), em artigo que explicita as tratativas relacionadas aos princípios ambientais dentro da cadeia de suprimentos.

Os demais fornecedores da cadeia (“Tier-n”) geralmente estão fora do escopo das auditorias realizadas pela companhia montadora, o que torna a triagem, a aquisição, e a compilação dos dados uma tarefa bem mais complexa, e sua qualidade de bem mais difícil controle.

Ainda dentro da definição das fronteiras do sistema, devem ser incluídos o transporte de insumos entre o fornecedor e a montadora, bem como os processos de uso e descarte do produto final.

A etapa seguinte na definição do escopo de uma ACV é a de descrição da categoria dos dados. Este trabalho propõe que a categoria dos dados a serem empregados em sua metodologia, de acordo com a norma ISO 14044 (2006) sejam os seguintes, aplicáveis tanto ao fornecedor Tier 1 quanto à companhia montadora:

- Entradas de energia;
- Entradas de matéria-prima;
- Entradas de materiais auxiliares;
- Outras entradas físicas;
- Produtos;

- Co-produtos;
- Resíduos;
- Emissões para o ar;
- Emissões para a água;
- Emissões para o solo;
- Outros aspectos ambientais.

Para a última etapa do processo de definição do escopo, a determinação dos requisitos de qualidade dos dados, a metodologia proposta por este trabalho espera que as informações relativas ao Tier 1, transportes e companhia montadora sejam mensuradas, o que torna as coberturas bastante claras. Ainda assim, com base neste requisito, deve-se informar de maneira objetiva qual é a idade da coleta dos dados. Já os dados relativos à fabricação de matéria-prima podem ser mais flexíveis no que diz respeito às três coberturas, utilizando-se até mesmo de informações provenientes de bancos de dados consolidados, nacionais ou mesmo internacionais.

De acordo com o que foi descrito nesta seção, algumas das atividades são pré-definidas pelo método em desenvolvimento neste trabalho. Outras devem ser executadas de maneira particular nas ACVs a serem realizadas em cada produto.

Os processos que se enquadram no segundo grupo são apenas três (“definição das funções”, “definição da unidade funcional” e “construção do fluxo de referência”), o que indica um passo importante para a sistematização da metodologia de ACV, pelo menos no que diz respeito à sua incorporação ao projeto de produtos.

Para que cada uma das três etapas da metodologia de projeto do produto sejam concluídas (leiautes preliminares – bloco 2, leiautes definitivos – bloco 6, e desenhos para a produção – bloco 10) passa a ser necessário que os critérios ambientais sejam também avaliados. Para tanto, dados relevantes de cada uma delas devem ser submetidos a verificações e validações técnicas e comerciais

(blocos 3, 7 e 11) e, em paralelo, através das linhas de fluxo já citadas, submetidas também a avaliações ambientais, por meio das análises de inventário (blocos 4, 8 e 12), e das avaliações de impactos (blocos 5, 9 e 13).

Para se realizar estas avaliações ambientais, faz-se necessário primeiramente formalizar o inventário da análise, ou seja, seguir as etapas indicadas na figura 2.5 do capítulo de revisão bibliográfica. Estas etapas dizem respeito, dentre outros aspectos, à maneira como as informações quantitativas deverão ser disponibilizadas e tratadas, a fim de serem

produzidas basicamente pelas áreas de Projeto,

Produção

de modo a serem mentalmente representada por meio de diagramas que indicam as entradas, saídas

de dados no sentido dos processos de avaliação ambiental devem ser consolidadas, sempre que possível, a partir das rotinas ordinárias empregadas

pelas diversas equipes que compõem o grupo de projetos (projetistas, compradores, produção e logística, basicamente).

No que tange à primeira equipe citada, a dos projetistas, a coleta de dados não afetará as suas rotinas normais de trabalho, uma vez que a maior parte das informações necessárias para a composição do inventário já estão normalmente disponíveis ao longo das fases de um projeto. Estas informações, segundo o *GDP Guide* (VTC, 2004) são, basicamente:

- Lista de componentes padronizados;
- Cálculos estruturais;
- Relatório de experimentos;
- Lista de componentes adquiridos;
- Formas (geometria);
- Materiais;
- Requisitos espaciais / dimensões;
- Tolerâncias dimensionais e geométricas;
- Requisitos de tratamento superficial;
- Reciclabilidade dos materiais (reprocessamento, condicionamento, reutilização);
- Vida do componente em relação à vida do produto;
- Necessidade de verificação e validação;
- Massa;
- Área superficial do produto;
- Número de subcomponentes;
- Especificação de juntas;
- Lista de componentes;

- Volume;
- Instruções / requisitos de testes.

Com relação à equipe de compradores, tão logo a tarefa de seleção e desenvolvimento dos fornecedores tenha sido concluída, uma parte das informações relevantes à ACV passa a estar disponível, como, por exemplo, a distância entre o fornecedor e a indústria montadora. A coleta de outros dados, como aqueles relativos às conseqüências ambientais do processo produtivo do fornecedor escolhido, não é uma atividade constante do escopo atual de um grupo de compradores, e precisará ser incorporada às rotinas desta equipe.

A equipe de Produção, da mesma maneira, geralmente não considera o levantamento das conseqüências ambientais dos seus processos, portanto a coleta destas informações também precisará ser incorporada às rotinas deste grupo.

A equipe de Logística, responsável pelas informações ligadas à embalagem e ao transporte de produtos e insumos, por exemplo, passa a deter parte das informações necessárias para a execução da ACV a partir do momento em que o fornecedor definitivo foi devidamente selecionado e cadastrado pela área de Compras. Neste caso, resta ainda determinar o meio de transporte a ser empregado para cada componente ou sistema, bem como a embalagem necessária para o transporte.

É importante lembrar que o volume, o grau de profundidade, e a precisão dos dados oriundos do processo de desenvolvimento de produtos são crescentes na medida em que o mesmo caminha para níveis de detalhamento mais altos. Nem todas as informações oriundas deste processo são mensuráveis, e nem todas se traduzem em conseqüências ambientais. Por este motivo é importante ter o foco naquelas saídas que realmente entregarão dados significativos para a execução de avaliações ambientais.

Ademais, faz-se necessário determinar a maneira mais adequada para concentrar e disponibilizar estes dados para a ferramenta que realizará a avaliação ambiental, o que será tratado na seção 4.3 deste capítulo.

A terceira etapa na análise do inventário é a de procedimentos de cálculo, que deve ser iniciada com o estabelecimento dos balanços de massa e energia, bem como das análises comparativas de fatores de emissão. No caso deste trabalho, a disponibilização das informações pertinentes a esta etapa é aplicável aos grupos responsáveis pelo processo de Logística e pelos processos produtivos (Compras e Produção). É importante ressaltar, entretanto, que a manipulação de todas as informações até a disponibilização para estes grupos deve ser de responsabilidade dos gestores ambientais, tanto dos fornecedores quanto da própria companhia montadora.

A figura 4.3 mostra, de maneira simplificada, o balanço que deve ser considerado entre as entradas e saídas de um processo produtivo, exemplificando as principais categorias de emissão (para o ar, para a água e resíduos sólidos).

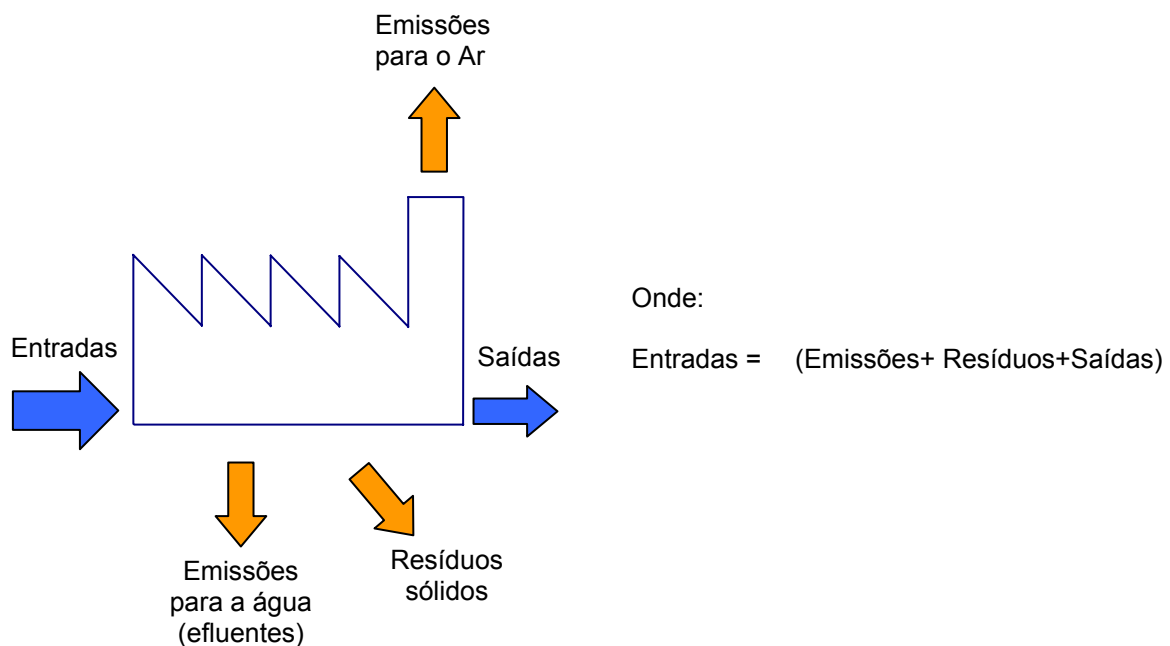


Figura 4.3 – Representação simplificada de entradas e saídas em uma planta industrial

A alocação é a próxima etapa deste processo, e deve ser executada com a finalidade de ponderar a parcela de responsabilidade de cada produto, individualmente, no montante dos impactos devidos a um processo. Em condições reais, a menos que cada processo seja detalhadamente mapeado, a obtenção de dados práticos relativos ao processo de manufatura torna necessária a adoção deste procedimento já detalhado na seção 2.3.2. A realização de alocações justifica-se pela necessidade de tornar o processo de coleta de dados relativos à manufatura dos produtos (tanto em fornecedores quanto na própria montadora) mais ágil, mas nem por isto menos confiável.

As alocações podem ser baseadas nos critérios de massa, área, ou de valor, dentre outros, porém o conceito será sempre o mesmo: de que o fornecedor das informações indique (em base mensal ou anual) a relação percentual entre o volume produzido do componente a ser avaliado e o volume total dos demais componentes produzidos em sua planta, bem como todas as categorias de emissões. Com base nesta relação percentual, expressa na equação da figura 4.4, as emissões devidas ao componente podem ser calculadas.

$E_p = \frac{E_t \times M_p}{M_t}$	Onde:	E_p = Emissão do produto E_t = Emissão total M_p = Massa do produto M_t = Massa total
------------------------------------	-------	--

Figura 4.4 – Equação para a alocação

Esta iniciativa freqüentemente insere algum grau de incerteza na aquisição dos valores, uma vez que os processos aos quais determinados produtos são submetidos durante a manufatura não são necessariamente idênticos a todos os

demais produtos manufaturados em uma mesma companhia. Uma mesma organização pode produzir, em uma mesma planta, elementos soldados e elementos encaixados, por exemplo, gerando produtos e conseqüências ambientais diferentes em cada caso.

As questões relativas à alocação são também de responsabilidade dos gestores ambientais associados aos grupos de Produção e Logística, áreas que usualmente manipulam dados que envolvem conjuntos de fatores que necessitam ser de

para a AICV. A metodologia aqui proposta buscará pré-determinar quais s

é-definidas pelo método em desenvolvimento neste trabalho, e outras deverão

Após a execução das avaliações ambientais, análises críticas dos resultados entregues pelas avaliações de impactos devem retroalimentar a metodologia de projeto, seja através da necessidade de um novo desenvolvimento, no caso de resultados não-satisfatórios, seja através da alimentação para a fase seguinte do fluxo, no caso de resultados adequados.

4.2. FLUXOGRAMA FINAL DE INCORPORAÇÃO

Para se identificar com maior precisão os pontos de interação entre as metodologias de projeto de produtos e de ACV, é preciso considerar os desdobramentos apresentados e debatidos nos capítulos anteriores com relação às fases de Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, e da ACV, até se obter o nível de detalhamento que originará o fluxo de processo final, indicado na figura 4.5.

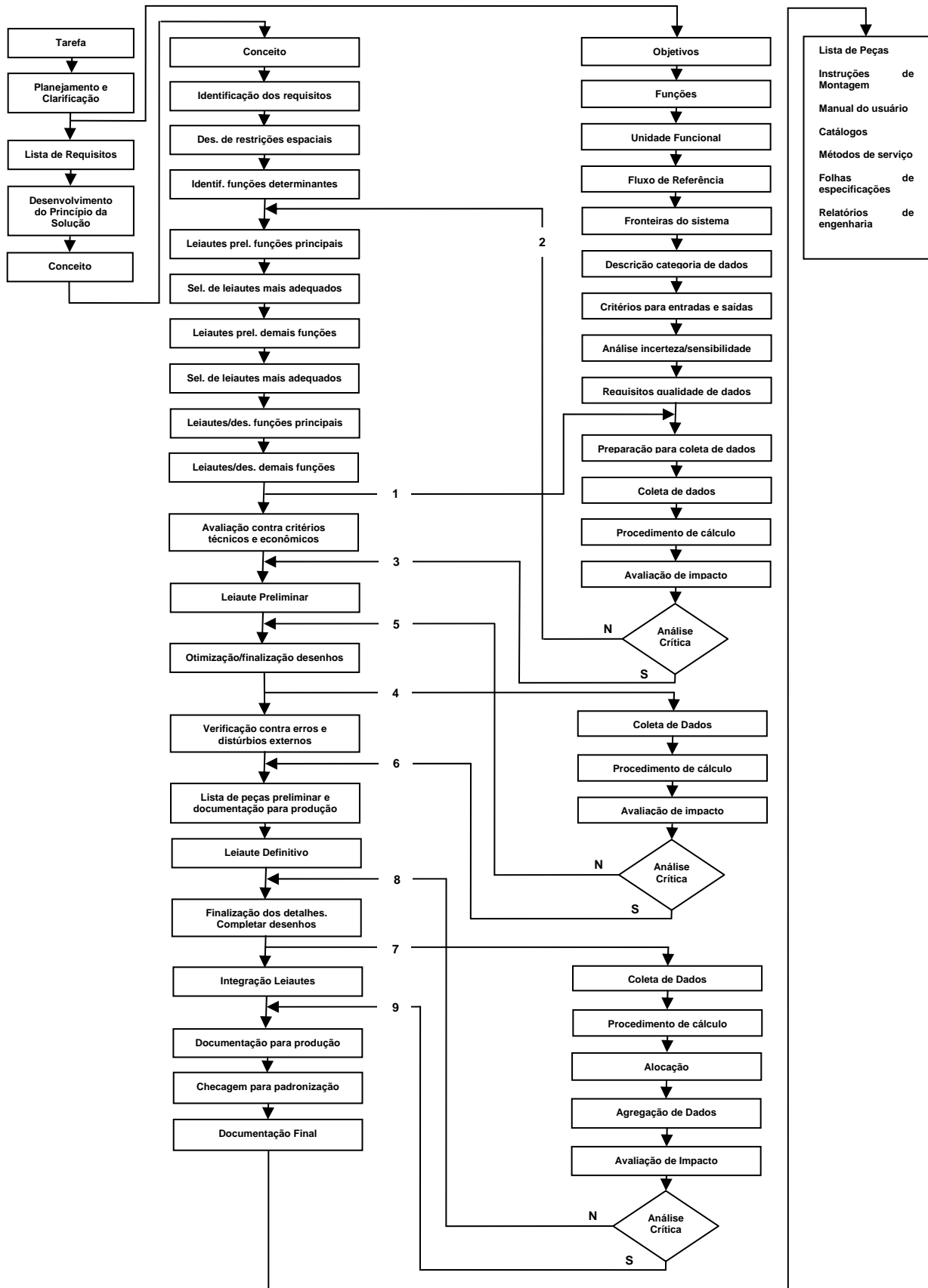


Figura 4.5 – Processo (final) integrado de projeto de produtos e ACV (elaborado pelo autor)

Tanto a fase de Projeto Preliminar quanto a fase de Projeto Detalhado são compostas por etapas (vide figuras 2.8. e 2.9 para referência) que tratam e manipulam informações em níveis de profundidade diferentes, que, por sua vez, podem ou não ser mensuráveis a ponto de serem utilizados em uma análise ambiental.

4.2.1. PRIMEIRA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Com relação à fase de Projeto Preliminar, a primeira das etapas a partir da qual se propõe que dados sejam considerados como entrada para uma avaliação ambiental é o que representa a etapa de “desenvolvimento dos leiautes e desenhos preliminares”.

O motivo de não se considerar os blocos anteriores como fonte de dados está no fato de que nestes se concentram as fases de aquisição e triagem das informações, de definições básicas e de criação. Isto não significa afirmar que as ações no sentido de melhorar a eficiência ambiental do produto não possam ser implementadas em tais fases, porém até mesmo PAHL e BEITZ (1996) sugerem que a primeira análise crítica quanto à eficácia da solução deve ser realizada apenas na etapa de avaliação dos leiautes contra critérios técnicos e econômicos, bloco que utiliza justamente os dados provenientes da etapa que está sendo proposta para também prover dados para análises ambientais. Tradicionalmente, é neste momento que o resultado de todas as ações tomadas até então pelo grupo de projeto é mensurado, porém, como se pode perceber, a metodologia de PAHL e BEITZ (1996) objetiva apenas critérios técnicos e econômicos, desconsiderando as análises quanto ao desempenho ambiental da solução.

A primeira avaliação ambiental deverá acontecer, portanto, simultaneamente à etapa de avaliação técnica e econômica. Na fase seguinte, de escolha do leiaute preliminar, a equipe de projetistas estará habilitada a utilizar os parâmetros provenientes desta análise como subsídio para a tomada de decisões

sobre o leiaute mais adequado. Esta simultaneidade permite o emprego de diferentes alternativas técnicas, simulando diferentes conseqüências ambientais, e permitindo a identificação da alternativa técnica com o melhor desempenho ambiental, em um processo iterativo possível de ser realizado mesmo com as limitações intrínsecas à escassez de dados típica desta fase da metodologia de desenvolvimento.

4.2.2. SEGUNDA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

À medida do progresso do Projeto Preliminar, as avaliações técnicas, econômicas e ambientais passam a ser baseadas em objetivos e propriedades cada vez mais concretos. Este fato torna as decisões acerca da viabilidade das soluções mais qualificadas, principalmente se comparadas a critérios gerados a partir de:

- Cumprimento das propriedades técnicas e ambientais;
- Cumprimento dos desejos expressos nos requisitos;
- Melhorias desejáveis sobre os requisitos mínimos.

O segundo ciclo de aperfeiçoamento da solução na fase de Projeto Preliminar tem seu início na etapa da otimização e finalização de desenhos. Esta etapa é composta por dados com nível de detalhes mais refinados, aptos a servir como entrada para novas avaliações ambientais. Tais dados, depois de devidamente manipulados por uma ferramenta de ACV, são também capazes de entregar informações para a tomada de decisões acerca da determinação do melhor leiaute definitivo também em termos ambientais.

Para que tal leiaute seja oficializado, as informações devem passar por verificações e pela preparação das listas de peças e da documentação para a produção e montagem.

4.2.3. TERCEIRA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O Projeto Detalhado é a parte do processo do projeto que complementa a fase de Projeto Preliminar com as instruções finais sobre os leiautes, formas, dimensões e propriedades superficiais, materiais, métodos de produção e custos de cada componente. O aspecto mais importante do Projeto Detalhado é a elaboração dos desenhos detalhados dos componentes, dos desenhos de conjunto e das listas de peças, atividades que têm sido suportadas e automatizadas por ferramentas de CAD com frequência cada vez maior.

Na sua primeira etapa, a de “finalização dos detalhes e compleição desenhos detalhados”, praticamente todas as decisões que formarão o produto final são tomadas. Os dados podem, portanto, ser utilizados como entradas para uma ferramenta de avaliações ambientais, a fim de que sejam tratados e retornem ao processo de projeto de produtos como subsídios para a tomada de decisão quanto à eficácia da solução.

Esta etapa é complementada pelo bloco seguinte, de “integração de leiautes”, que levará até a construção do produto final. Este, por fim, deverá ser documentado e checado para ser então disponibilizado para a produção.

Iterações devem ocorrer até que os critérios ambientais do produto tenham sido satisfeitas, mas é importante lembrar que a fase de Projeto Detalhado é a última oportunidade de o grupo de projetos interagir com o produto, não só em termos técnicos, mas também em termos ambientais.

4.2.4. FLUXOGRAMA PASSO-A-PASSO

Analisando o fluxograma representado na figura 4.5, e considerando as análises realizadas até este ponto, o primeiro bloco onde a fase de Projeto Preliminar entrega condições para que leiautes alternativos sejam avaliados contra

critérios técnicos e econômicos deve também prover informações para avaliações ambientais. Esta conexão é representada pela linha de fluxo “1” no diagrama da figura 4.5.

É muito importante considerar que a escassez de dados relativos à solução é uma característica intrínseca desta fase do processo de desenvolvimento de produtos. As informações disponíveis são geralmente restritas àquelas oriundas da equipe de Engenharia, como, por exemplo, a matéria-prima e a massa dos componentes envolvidos na solução. Por este motivo, certos processos típicos da fase de inventário, como a alocação, por exemplo, podem ser suprimidos sem prejuízo às decisões tomadas a partir da avaliação ambiental desta fase. Os dados necessários para a realização da ACV (como as conseqüências relativas à produção de determinada massa de aço) podem, nesta fase, ser colhidos a partir de bancos de dados internacionais, por exemplo, a fim de que não haja prejuízo à agilidade requerida para a tomada de decisões.

Caso a avaliação ambiental das primeiras alternativas entregue resultados que não satisfaçam aos requisitos ambientais estabelecidos pelo projeto, novas opções de leiautes e desenhos devem ser selecionados ou mesmo desenvolvidos, e novamente submetidos à avaliação ambiental, até que os requisitos ambientais tenham sido atendidos. Esta realimentação é indicada pela linha de fluxo “2”.

Quando a análise crítica da avaliação ambiental apontar para resultados promissores, o leiaute preliminar poderá ser concluído (linha de fluxo “3”) e aprovado, desde que, evidentemente, os tradicionais critérios técnicos e econômicos também tenham sido satisfeitos.

Novas avaliações ambientais devem ocorrer como subsídio para a conclusão e aprovação do leiaute definitivo. Quando o leiaute preliminar tiver sido otimizado, e em paralelo à fase de verificação contra erros e distúrbios, os dados atualizados deverão ser colhidos e também submetidos à avaliação de impacto. Esta atividade é representada pela linha de fluxo “4”. Os dados, em princípio, ainda não dizem respeito a outras áreas do projeto além da engenharia, sendo

restritos às mesmas saídas já indicadas para a fase anterior, porém com maior grau de precisão quanto à solução final.

Caso os resultados da avaliação ambiental obtidos nesta fase levem à decisão de que os requisitos do projeto não foram atingidos, novas iterações de otimização do projeto devem ocorrer, numa realimentação indicada pela linha de fluxo “5”. Esta iteração deve ocorrer até que as avaliações ambientais estejam de acordo com os objetivos estabelecidos para o projeto (linha de fluxo “6”).

Neste ponto, a lista de peças preliminar e a documentação para a produção poderão ser compiladas, permitindo a oficialização dos leiautes definitivos quanto à sua conclusão e aprovação, e os desenhos já deverão ser capazes de serem traduzidos em peças funcionais, o que indica que seus respectivos ferramentais e dispositivos já poderão ser construídos pelos fornecedores.

A avaliação final, realizada com nível mais completo e detalhado de dados acontecerá a partir da finalização dos detalhes e desenhos, indicada pela linha de fluxo “7”. Além dos dados gerados pelo grupo de engenharia, os dados oriundos de outras áreas, como logística, compras e produção, deverão ser utilizados para a avaliação ambiental.

O conhecimento acerca dos processos do fornecedor, bem como da montagem final, são muito importantes na composição do banco de dados para o estudo. Este fato indica a necessidade de conhecimento destes processos por parte dos respectivos responsáveis. Caso a resposta entregue pela avaliação ambiental seja inadequada, ações deverão ser tomadas por todos os grupos, de maneira integrada. Decisões tomadas por este grupo multidisciplinar poderão trazer conseqüências até mesmo ao projeto do produto (linha de fluxo “8”).

Por fim, uma vez que a resposta ambiental do projeto tenha sido considerada adequada, a documentação final pode ser emitida, já incluindo os impactos ambientais gerados pelo produto.

4.2.5. CONSIDERAÇÕES E LIMITAÇÕES

É possível perceber que o escopo das três avaliações ambientais é diferente, o que se deve unicamente ao fato de que os níveis de informação são diferentes nas três fases do projeto. As duas primeiras avaliações são realizadas somente com dados oriundos da engenharia, em níveis crescentes de detalhamento. A terceira avaliação deve ser feita com os dados relevantes de todo o sistema do produto. Esta proposta é compatível com o fato de, em etapas preliminares de projeto, os dados quantitativos estarem restritos à área de Engenharia, mesmo que o sistema do produto já tenha sido delimitado.

Dados provenientes das áreas industriais, seja do fornecedor, seja da montadora, são geralmente obtidos através de medições, o que raramente acontece antes do início da produção em série do componente ou sistema em estudo. A fim de antecipar as análises ambientais dos dados industriais para a fase de projeto do produto, a proposta é de que os dados disponíveis oriundos do fornecedor ou da montadora sejam utilizados na oportunidade da análise, mesmo que estes ainda não contemplem as conseqüências do produto em estudo. Conforme visto em 4.1, principalmente devido à alocação, as aproximações inclusas nesta premissa não conterão um grau de incerteza excessivamente elevado.

4.3. FICHA TÉCNICA - FORMA E CONTEÚDO

Conforme analisado na seção anterior, para que a construção do inventário aconteça de maneira sistemática em qualquer uma das três etapas indicadas na seção anterior, é preciso que os dados relevantes oriundos da metodologia de projeto de produtos sejam concentrados e disponibilizados de modo a facilitar a sua transferência para uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais.

Este fato obrigará que o conceito tradicional de documentação de projeto seja alterado (BARRETO e UGAYA, 2007). No modelo convencional, regido basicamente pela norma NBRISO 10209-2 (2005), a documentação consiste em um desenho bidimensional onde são indicadas as dimensões necessárias para a manufatura e construção do componente, bem como suas tolerâncias dimensionais e geométricas. Dados relativos ao material e tratamento superficial são geralmente indicados na legenda do desenho, juntamente com a identificação do componente (descrição, código e edição).

Algumas companhias, entretanto, como é o caso daquela onde o estudo de caso será realizado, já têm sua documentação separada em basicamente três partes: o modelo digital tridimensional, o desenho bidimensional, e a ficha técnica do respectivo modelo. Todos estes documentos estão conectados a um código (numérico ou alfanumérico), que é a referência para o componente em questão.

A manipulação de um modelo digital tridimensional é capaz de fornecer instantaneamente dados como, por exemplo, a massa do componente em projeto, dentre outros atributos como, para o caso de chapas, o manto a partir da qual a peça é estampada. A disponibilidade imediata deste tipo de dados, facilitada desta maneira, é bastante importante para a submissão à análise de impacto ambiental.

Em uma ficha técnica, todos os dados relativos ao componente podem ser encontrados de maneira clara, e com interface digital, o que permite que outros sistemas a ela integrados sejam alimentados. A ficha técnica deve ser flexível de acordo com a fase em que se encontra o processo de desenvolvimento, e também bastante direta no que tange à obrigatoriedade no preenchimento de determinados campos. Este trabalho apresenta uma proposta para ficha técnica, que pode ser visto na figura 4.6.

A proposta é de que a ficha técnica seja dividida em seções, de acordo com a área à qual pertence a responsabilidade de preenchê-los. À medida do avanço do projeto, os campos vão sendo habilitados para preenchimento, fato que vai delineando progressivamente o perfil ambiental do produto até a sua forma final.

CÓDIGO		EDIÇÃO		NOME	
ENG. RESPONSÁVEL			APROVAÇÃO		DATA
ETAPA					
<input type="checkbox"/> LEIAUTE PRELIMINAR		<input type="checkbox"/> LEIAUTE DEFINITIVO		<input type="checkbox"/> DESENHO PARA PRODUÇÃO	
					ENGENHARIA DO PRODUTO
MATERIAL					
MASSA (kg)					
<input type="checkbox"/> ESTIMADA <input type="checkbox"/> CALCULADA <input type="checkbox"/> PESADA					
TRATAMENTO SUPERFICIAL					
ÁREA (m²)					
VOLUME (m³)					
DESTINAÇÃO FINAL					
<input type="checkbox"/> REUTILIZAÇÃO (%) <input type="checkbox"/> REMANUFATURA (%) <input type="checkbox"/> RECICLAGEM (%) <input type="checkbox"/> ATERRO (%)					
MANUTENÇÃO					
RELAÇÃO VIDA ESPERADA COMPONENTE / VIDA ESPERADA PRODUTO					
<input type="checkbox"/> VERIFICAÇÃO <input type="checkbox"/> CÁLCULO <input type="checkbox"/> ESTIMATIVA					
					COMPRAS
NOME DO FORNECEDOR					
LOCALIZAÇÃO DO FORNECEDOR		CIDADE			
		ESTADO			
		PAÍS			
VOLUME (peças / ano)					
ASPECTOS AMBIENTAIS DO FORNECEDOR	CONSUMO DE ÁGUA				
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA				
	CONSUMO DE GASES				
	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL				
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS				
	EMISSÃO DE EFLUENTES				
	EMISSÃO DE GASES				
					LOGÍSTICA
DISTÂNCIA FORNECEDOR - MONTADORA					
TIPO DE TRANSPORTE					
EMBALAGEM					
<input type="checkbox"/> RETORNÁVEL <input type="checkbox"/> NÃO-RETORNÁVEL		NÚMERO DE UTILIZAÇÕES: MATERIAL:			
					PRODUÇÃO
VOLUME (produtos / ano)					
ASPECTOS AMBIENTAIS DA MONTADORA	CONSUMO DE ÁGUA				
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA				
	CONSUMO DE GASES				
	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL				
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS				
	EMISSÃO DE EFLUENTES				
	EMISSÃO DE GASES				

Figura 4.6 – Modelo proposto para ficha técnica

Durante as etapas de execução e avaliação dos desenhos preliminares e dos desenhos definitivos (fase de Projeto Preliminar, segundo PAHL e BEITZ, 1996), nem todas as informações estão disponíveis. Nestas, a fonte básica de informação é a equipe de engenharia, portanto as demais áreas envolvidas com o projeto ainda não dispõem de dados para o cálculo da avaliação ambiental. Deste modo, quando as opções “Leiaute Preliminar” ou “Leiaute Definitivo” estiverem selecionadas, apenas os campos com informações oriundas da Engenharia, estarão habilitadas para preenchimento. Estas informações serão utilizadas para as avaliações ambientais nas fases de fabricação de matéria prima e de uso, do ciclo de vida do produto.

Já na etapa da execução e avaliação dos desenhos para produção, ao contrário das etapas anteriores, todas as áreas terão dados que serão de grande utilidade para os cálculos de impacto ambiental. Desta maneira, todos os campos da ficha técnica poderão ser acessados para preenchimento. Estas informações serão utilizadas para as avaliações ambientais em todas as fases do ciclo de vida do produto.

Na parte superior da ficha técnica indicada na figura 4.6 pode-se notar o campo de identificação do componente e do responsável pelo seu desenvolvimento. Nesta mesma seção encontram-se as opções de marcação sobre qual fase do desenvolvimento em que o processo encontra-se quando do preenchimento da ficha.

Logo abaixo estão as seções dedicadas às diferentes áreas envolvidas no projeto, divididas de acordo com a responsabilidade sobre o preenchimento. Os campos em cada seção devem ser preenchidos com os valores obtidos através dos processos regulares de projeto, ou através de cálculos e alocações.

Desta maneira, as informações acerca de um componente podem ser condensadas de maneira sistemática e disponibilizadas de modo bastante ágil para serem utilizadas em outros sistemas.

5. ESTUDO DE CASO

A fim de avaliar a aplicabilidade da metodologia apresentada no capítulo 4, um estudo de caso foi realizado a partir do projeto de um componente da indústria metal-mecânica com utilização prática em veículos automotivos.

A companhia escolhida para a execução deste estudo de caso, localizada no Brasil, tem suas atividades industriais voltadas ao setor automobilístico. Por motivos de confidencialidade, sua identificação não será revelada, porém todos os dados constantes deste estudo de caso são verossímeis e foram coletados junto aos departamentos competentes da companhia. Do ponto de vista do desenvolvimento do produto, esta organização conta com escritórios em diversas cidades do mundo, que seguem as diretrizes de desenvolvimento de produto estabelecidas pela matriz, na Europa.

Para que o estudo de caso proposto possa ser realizado de maneira suficientemente transparente, é preciso esclarecer o fato de que o desenvolvimento do componente proposto estará naturalmente associado à metodologia empregada pela companhia em seu processo ordinário de desenvolvimento de produtos, e não à metodologia de PAHL e BEITZ (1996), base para o conceito apresentado no capítulo 4. Desta maneira, faz-se necessária a compatibilização entre os dois métodos. Esta análise será vista na seção 5.1.

A seção seguinte (5.2) tratará das motivações para a escolha do componente para o estudo de caso, e a seção 5.3 apresentará o processo de desenvolvimento sob a perspectiva da nova metodologia.

5.1. METODOLOGIA ADAPTADA

Muitas metodologias de desenvolvimento de produtos, com aplicação dedicada a companhias que as desenvolveram ou aperfeiçoaram, podem ser

encontradas na indústria. Um exemplo é a metodologia desenvolvida e utilizada pela organização onde o estudo de caso foi aplicado, voltada especificamente para o desenvolvimento de produtos automotivos.

De um modo geral, esta metodologia pode ser traduzida pelo fluxo de processo indicado na figura 5.1. Este fluxograma é composto basicamente por:

- Três motivadores para a criação de um novo produto (as entradas);
- Um processo de desenvolvimento (planejamento, desenvolvimento, validação e verificação);
- Saídas, em suas diversas formas.

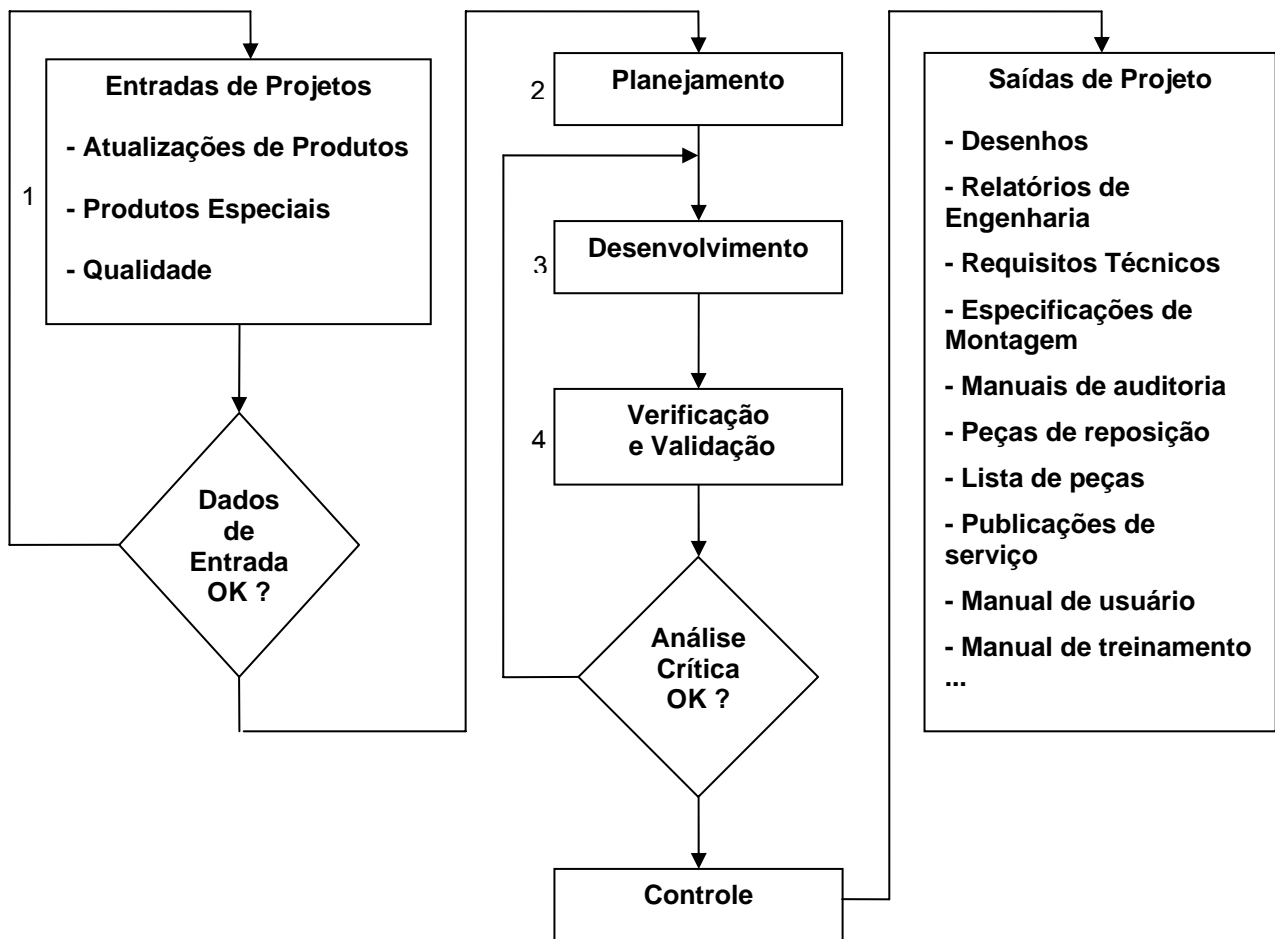


Figura 5.1 – Fluxo de processo de projeto do produto utilizado pela companhia selecionada (VTC, 2004)

Mais detalhadamente, as entradas do projeto (bloco 1 da figura 5.1) são descritas como os eventos motivadores para a criação de novos produtos ou para a modificação de produtos já existentes, e podem ser divididas em:

- Necessidade de se atualizar produtos (seja por exigência mercadológica, seja por ampliação da gama de atributos);
- Execução de produtos diferentes daqueles normalmente disponibilizados pela companhia;
- Não-conformidade de produtos vigentes.

A etapa de planejamento desta metodologia (bloco 2) equivale à fase de “Planejamento e Clarificação da Tarefa” da metodologia de PAHL e BEITZ (1996), e é a entrada para a fase de desenvolvimento.

A fase do projeto do produto (bloco 3) é aquela que trata da criação da solução. É também onde o gerenciamento do projeto decidirá qual, ou quais, ferramentas ambientais serão utilizadas (como projeto para reciclagem, análise de impacto ambiental, ou a ACV, por exemplo), e onde elas serão executadas. Dentro deste bloco encontram-se as fases, decisões e atividades indicadas na figura 5.2. Esta figura indica as principais atividades

modo geral, as fases de “Estudo de Conceito”, “Desenvolvimento Detalhado” e “Desenvolvimento Final” desta metodologia equivalem, respectivamente, às fases de “Projeto Conceitual”, “Projeto Preliminar” e “Projeto Detalhado”.

O bloco 4 da figura 5.1 trata da verificação e da validação da solução, e é seguido pelo controle da documentação e, finalmente, pelas saídas do projeto.

Conforme apresentado no capítulo 3, a metodologia de integração proposta por este trabalho tem seu foco nas fases de “Projeto Preliminar” e “Projeto Detalhado”. Dada a relação de equivalência entre as duas metodologias, as fases de “Desenvolvimento Detalhado” e “Desenvolvimento Final” desta metodologia são aquelas onde o estudo de caso deve, portanto, se concentrar.

5.2. ESCOLHA DO COMPONENTE

Uma família de veículos é composta por um grande número de produtos, fruto de uma combinação bastante expressiva de variáveis que geram, por consequência, uma grande quantidade de componentes, desenvolvidos unicamente para atendê-las.

Para este estudo de caso, três destes componentes foram pré-selecionados com base em determinados critérios, como representatividade no veículo, facilidade para obtenção de dados, possibilidade de re-projeto e número de componentes, por exemplo. Estes produtos encontram-se na figura 5.3, onde uma gama maior de critérios foi selecionada para que valores fossem atribuídos a cada um deles, propiciando, ao final da análise, a escolha do componente mais adequado para a execução do estudo.

Estes critérios mais detalhados, ponderados conforme o grau de importância para a escolha do componente, são explicados abaixo:

- 1) Possibilidade de alteração do projeto original: quanto maior for a flexibilidade apresentada pelo componente em termos de possibilidade

de mudança de seu projeto, maior será o peso na sua escolha. Componentes que não permitem qualquer alteração de seu projeto impedem a avaliação da ação do grupo de projetistas com relação aos impactos ambientais ao longo do estudo de caso;

- 2) Representatividade no produto: produtos pouco representativos em termos funcionais podem causar dificuldade de compreensão acerca de sua unidade funcional;
- 3) Acesso aos dados relativos à manufatura na montadora: os dados da montadora são importantes para a composição do inventário. Dados de obtenção mais fácil são preferíveis e terão maior peso na escolha do produto.
- 4) Acesso aos dados relativos à manufatura no fornecedor: do mesmo modo que o item anterior, os dados do fornecedor são importantes para a composição do inventário. Dados de obtenção mais fácil são preferíveis e terão maior peso na escolha do produto.
- 5) Número de sub-componentes: componentes com grande número de sub-componentes apresentam maior complexidade para a composição do seu inventário, uma vez que diferentes materiais e processos de montagem são envolvidos nesta fase do seu ciclo de vida. Quanto menor for o número de sub-componentes, maior será o peso para a escolha do produto.
- 6) Número de sub-fornecedores: componentes cujos sub-componentes são oriundos de diversos fornecedores apresentam maior complexidade para a obtenção de dados para composição do seu inventário. Desta maneira, quanto menor for o número de sub-fornecedores, maior será o peso para a escolha do produto.
- 7) Variedade de materiais empregados: componentes que apresentam grande variedade de materiais em sua composição apresentam maior

complexidade para a obtenção de dados para seu inventário. Quanto menor for a variedade de materiais, maior será o peso para a escolha do produto.

- 8) Números de processos para a manufatura: componentes que exigem grande número de processos para a sua manufatura apresentam maior complexidade para a obtenção de dados para seu inventário. Quanto menos processos forem necessários, maior será o peso para a escolha do produto.
- 9) Propriedade sobre o componente: componentes cujos projetos pertencem ao fornecedor apresentam menor flexibilidade para alteração, impossibilitando avaliações durante o estudo de caso.

		COMPONENTES			CRITÉRIO
PESO		ANCORAGEM AMORTECEDOR	MOIA DIANTEIRA	AMORTECEDOR SUSPENSÃO PRIMÁRIA	
do	5	5	2	1	1) Possibilidade de alteração projeto original
ulo	2	2	4	3	2) Representatividade no veículo
sa	5	5	5	5	3) Acesso aos dados relativo manufatura na montadora
sa	5	5	3	3	4) Acesso aos dados relativo manufatura no fornecedor
tes	3	5	4	1	5) Número de sub-componentes
es	3	5	4	2	6) Número de sub-fornecedor
o	3	5	4	11	7) Variedade de materiais empregados
ra	3	4	4	2	8) Número de processos para manufatura (fornecedor)
	5	5	3	3	9) Propriedade sobre o componente (fornecedor/montadora)
x nota)		151	113	76	RESULTADO (Peso

Figura 5.3 – Matriz para escolha do componente

Com base nas informações e nas conclusões contidas na figura 5.3, o produto que obteve maior pontuação, e portanto o mais indicado para este estudo de caso, foi a Ancoragem do Amortecedor. Este componente tem a função de conectar a extremidade superior de um amortecedor da suspensão primária ao chassi de um veículo comercial.

5.3. PROJETO ADAPTADO DO PRODUTO

Para o bom andamento deste estudo de caso, é importante que dois pontos sejam esclarecidos:

- Não seria possível seguir todo o projeto real de um produto e aplicá-lo, simultaneamente, neste trabalho, uma vez que, além de contar com a improvável disponibilidade de um projeto adequado ainda em seu início, seria necessário dispor de todo o tempo demandado pelo processo. Estes fatos resultariam em um prazo

5.3.1. OBJETIVOS

O início da execução do estudo de caso está na definição do objetivo das ACVs a serem realizadas para os componentes que serão parte de alguma família de veículos comerciais do fabricante. Para tanto, vale recorrer ao exposto no capítulo 3, onde os objetivos a serem realizados através desta proposta foram declarados:

- Informar a equipe de projeto sobre o desempenho ambiental dos produtos durante o seu processo desenvolvimento;
- Entregar subsídios para a tomada de decisões técnicas durante o processo desenvolvimento do produto.

5.3.2. FUNÇÃO

O próximo passo ainda com relação à ACV é a determinação da função e da unidade funcional do produto. A função da Ancoragem para Amortecedor pode ser definida como a de prover a conexão entre dois componentes de um veículo, o dispositivo de amortecimento da suspensão primária (amortecedor) e a estrutura de seu chassi (longarina).

5.3.3. UNIDADE FUNCIONAL

Para o estabelecimento da unidade funcional deste componente, deve-se considerar o fato deste ser parte de um produto que possui uma função específica (transportar uma carga total estimada em 32,2 toneladas durante a sua vida útil de 1.250.000 km). Por consequência, a unidade funcional, construída sobre estes parâmetros, pode ser descrita como “prover a conexão entre dois componentes de um veículo durante 1.250.000 km sob a carga de 32,2 toneladas”.

5.3.4. DADOS PARA O INVENTÁRIO DOS LEIAUTES PRELIMINAR E DEFINITIVO

Uma vez consensado o objetivo e algumas etapas para a definição do escopo da ACV (outras foram pré-definidas pela metodologia, conforme indicado no capítulo 3), o estudo tem sua continuação na parte da metodologia voltada ao projeto do produto. Nesta etapa, o produto em desenvolvimento encontra-se instalado no ambiente em que será empregado, conforme pode ser visto nas figuras 5.4 e 5.5.

Estas figuras ilustram a montagem de um veículo onde as duas alternativas já citadas para o componente são empregadas, ambas cumprindo a função de conectar o amortecedor da suspensão primária à estrutura do chassi. Estas versões diferem em sua concepção, sendo uma integral (código 3987284, indicada na figura 5.4) e outra simplificada, a ser montada separadamente em cada longarina do chassi do veículo (código 3986639, indicada na figura 5.5).

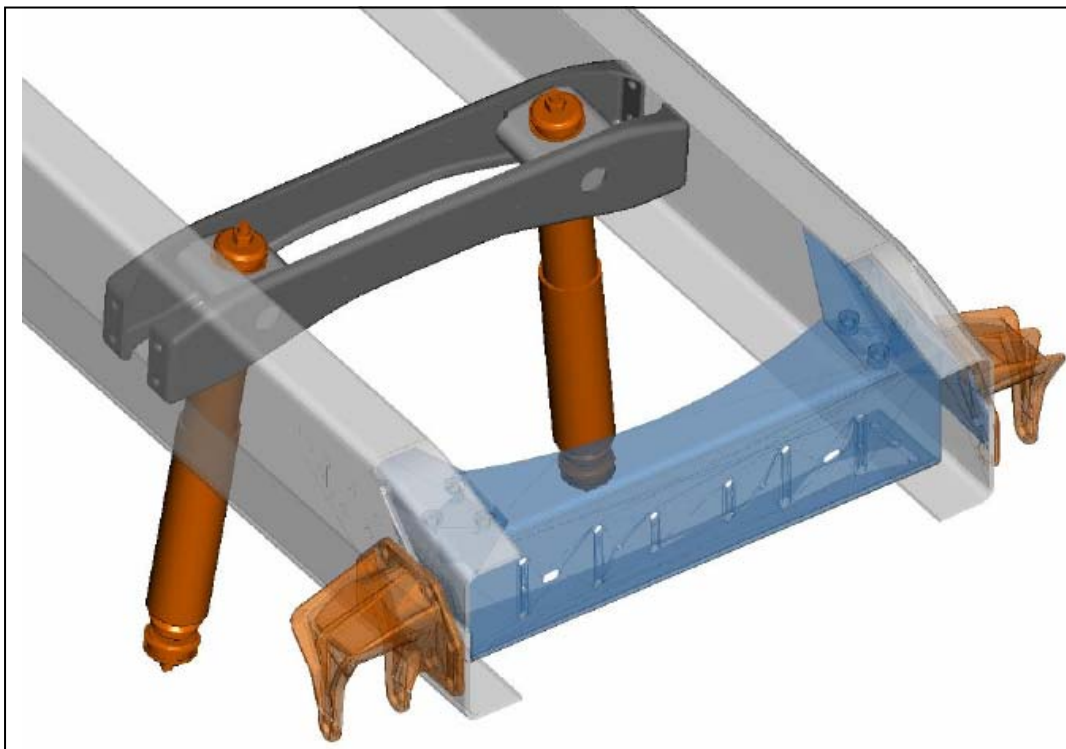


Figura 5.4 – Instalação da ancoragem código 3987284

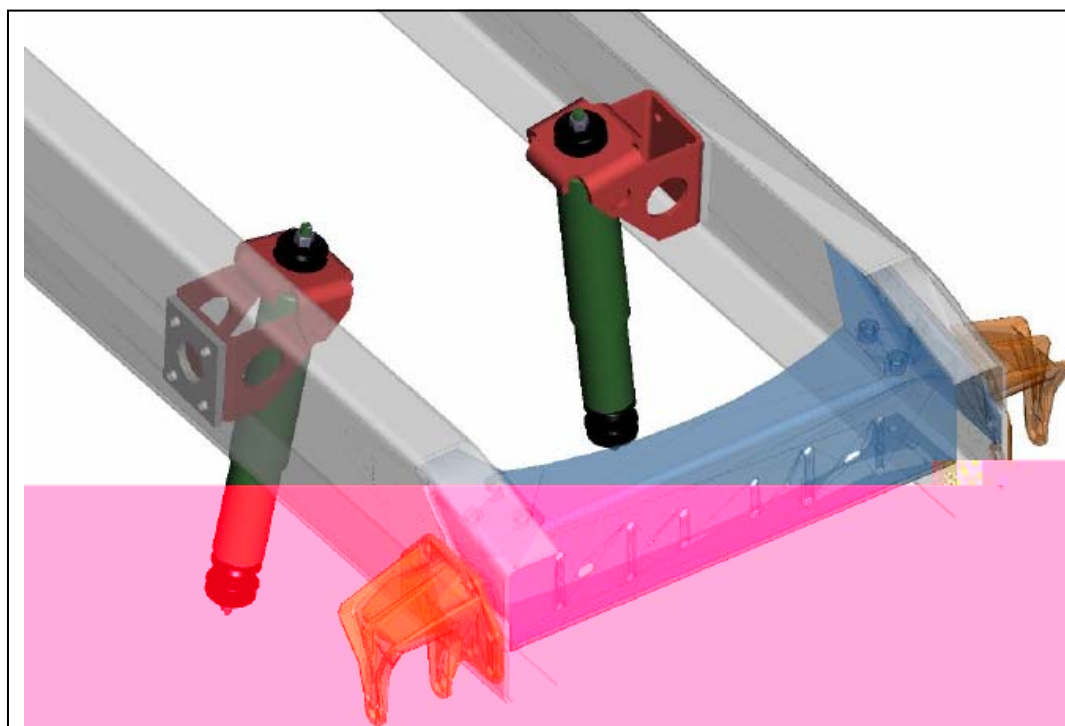


Figura 5.5 – Instalação da ancoragem código 3986639

Mais detalhadamente, os modelos matemáticos destas peças são representados nas figuras 5.6 (código 3987284) e 5.7 (código 3986639):

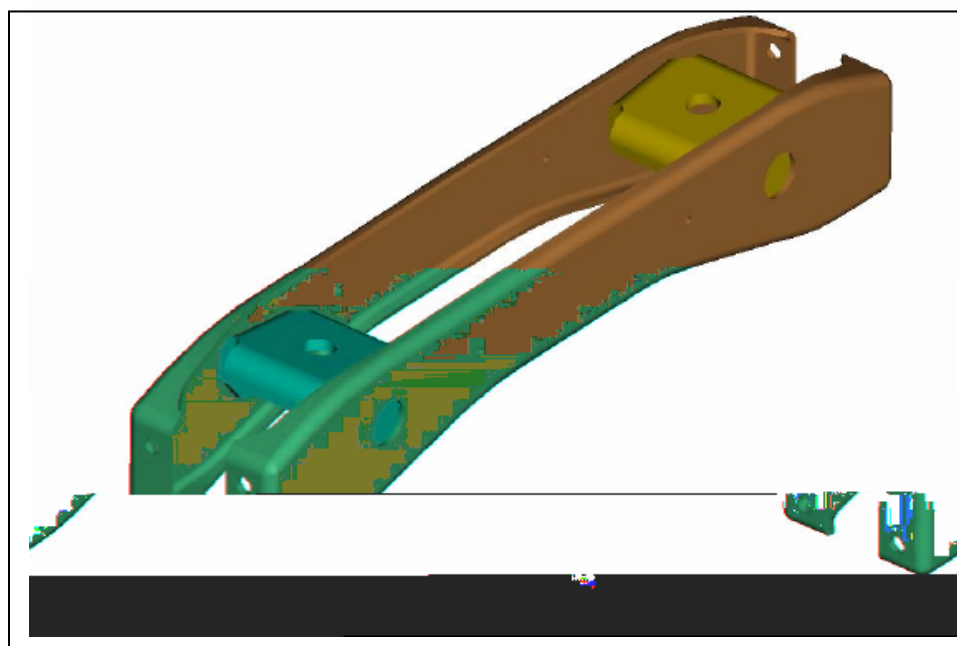


Figura 5.6 – Modelo matemático do componente código 3987284



Figura 5.7 – Modelo matemático do componente código 3986639

Além da forma e das dimensões básicas, observadas em ambos os modelos matemáticos, decisões preliminares acerca da matéria-prima a ser utilizada, bem como do tratamento superficial requerido, são também tomadas nesta etapa e apresentados na tabela 5.1:

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Material	Aço SAE J1392.070XLF	Aço SAE J1392.070XLF
Espessura	8,00 ± 0,4 mm	8,00 ± 0,4 mm
Tratamento superficial	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275

Tabela 5.1 – Dados dos componentes no leiaute preliminar (e definitivo)

A partir dos modelos matemáticos e das definições relativas à matéria-prima a ser utilizada, alguns dados complementares podem ser calculados, ainda sob a

responsabilidade do grupo de projetistas. Estes dados, apresentados na tabela 5.2, são basicamente a massa e a área dos componentes.

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Massa	13,7 kg	5,3 kg
Área Superficial	0,625 m ²	0,169 m ²

Tabela 5.2 – Dados dos componentes no leiaute preliminar (e definitivo)

Com estes dados em mãos, torna-se possível o preenchimento das fichas técnicas dos componentes no nível de “Leiaute Preliminar”, ou seja, basicamente a seção relativa à Engenharia do Produto, conforme pode ser visto nas figuras 5.8 (para o componente código 3987284) e 5.9 (para o componente código 3986639).

É importante notar que o preenchimento do campo “destinação final” é uma escolha do grupo de projetistas, a ser feita com base em diversos critérios que não são abordados neste trabalho, como meios de recuperação e desmontagem, por exemplo. Neste estudo de caso, mesmo sendo o material em questão o aço (SAE J1392.070XLF), um material naturalmente apto à reciclagem, a estimativa apresentada é de que ele tenha o aterro como destinação final.

Com relação ao campo “relação da vida esperada do componente e vida esperada do produto”, a indicação “1/1” significa que somente uma unidade do componente em questão será necessária para executar a função requerida durante a vida do produto. Caso este fosse um componente de desgaste, como a lona de freio, por exemplo, ou um componente de baixa durabilidade funcional, como um amortecedor, por exemplo, a relação seria de 4/1, 2/1 e assim por diante.

A maneira como se chegou à conclusão acerca da durabilidade do componente está indicada como uma das três opções oferecidas pela ficha técnica. Neste caso, verificações permitem afirmar que a vida útil do componente é igual à vida útil do produto.

CÓDIGO	EDIÇÃO	NOME
3987284	01	Ancoragem superior para amortecedor traseiro
ENG. RESPONSÁVEL	APROVAÇÃO	DATA
Rafael J. Barreto	Rafael J. Barreto	12/9/2007
ETAPA		
<input type="checkbox"/> LEIAUTE PRELIMINAR	<input checked="" type="checkbox"/> LEIAUTE DEFINITIVO	<input type="checkbox"/> DESENHO PARA PRODUÇÃO
ENGENHARIA DO PRODUTO		
MATERIAL	Aço SAE J1392.070XLF	
MASSA (kg)	13,7 kg	
<input type="checkbox"/> ESTIMADA		
<input checked="" type="checkbox"/> CALCULADA		
<input type="checkbox"/> PESADA		
TRATAMENTO SUPERFICIAL	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275	
ÁREA (m²)	0,625 m²	
VOLUME (m³)	Não informado	
DESTINAÇÃO FINAL		
<input type="checkbox"/> REUTILIZAÇÃO		
<input type="checkbox"/> REMANUFATURA		
<input type="checkbox"/> RECICLAGEM		
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO		
MANUTENÇÃO	Não requerida	
RELAÇÃO VIDA ESPERADA COMPONENTE / VIDA ESPERADA PRODUTO	1 / 1	
<input checked="" type="checkbox"/> VERIFICAÇÃO		
<input type="checkbox"/> CÁLCULO		
<input type="checkbox"/> ESTIMATIVA		
COMPRAS		
NOME DO FORNECEDOR		
LOCALIZAÇÃO DO FORNECEDOR	CIDADE	
	ESTADO	
	PAÍS	
VOLUME (peças / ano)	3.500	
ASPECTOS AMBIENTAIS DO FORNECEDOR	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	
	CONSUMO DE GASES (kg)	
	CONSUMO DE DIESEL (l)	
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (kg)	
	EMIÇÃO DE EFLUENTES (m³)	
EMIÇÃO DE GASES (kg)		
LOGÍSTICA		
DISTÂNCIA FORNECEDOR - MONTADORA		
TIPO DE TRANSPORTE		
EMBALAGEM		
<input type="checkbox"/> RETORNÁVEL	NÚMERO DE UTILIZAÇÕES:	
<input type="checkbox"/> NÃO-RETORNÁVEL	MATERIAL:	
PRODUÇÃO		
VOLUME (produtos / ano)	12.000	
ASPECTOS AMBIENTAIS DA MONTADORA	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	
	CONSUMO DE GASES (kg)	
	CONSUMO DE DIESEL (l)	
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (kg)	
	EMIÇÃO DE EFLUENTES (m³)	
EMIÇÃO DE GASES (kg)		

Figura 5.8 – Ficha Técnica do componente 3987284

CÓDIGO	EDIÇÃO	NOME
3986639	01	Ancoragem superior para amortecedor traseiro
ENG. RESPONSÁVEL	APROVAÇÃO	DATA
Rafael J. Barreto	Rafael J. Barreto	12/9/2007
ETAPA		
<input type="checkbox"/> LEIAUTE PRELIMINAR	<input checked="" type="checkbox"/> LEIAUTE DEFINITIVO	<input type="checkbox"/> DESENHO PARA PRODUÇÃO
ENGENHARIA DO PRODUTO		
MATERIAL	Aço SAE J1392.070XLF	
MASSA (kg)	5,3 kg	
<input type="checkbox"/> ESTIMADA		
<input checked="" type="checkbox"/> CALCULADA		
<input type="checkbox"/> PESADA		
TRATAMENTO SUPERFICIAL	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275	
ÁREA (m²)	0,169 m²	
VOLUME (m³)	Não informado	
DESTINAÇÃO FINAL		
<input type="checkbox"/> REUTILIZAÇÃO		
<input type="checkbox"/> REMANUFATURA		
<input type="checkbox"/> RECICLAGEM		
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO		
MANUTENÇÃO	Não requerida	
RELAÇÃO VIDA ESPERADA COMPONENTE / VIDA ESPERADA PRODUTO	1 / 1	
<input checked="" type="checkbox"/> VERIFICAÇÃO		
<input type="checkbox"/> CÁLCULO		
<input type="checkbox"/> ESTIMATIVA		
COMPRAS		
NOME DO FORNECEDOR		
LOCALIZAÇÃO DO FORNECEDOR	CIDADE	
	ESTADO	
	PAÍS	
VOLUME (peças / ano)	7.000	
ASPECTOS AMBIENTAIS DO FORNECEDOR	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	
	CONSUMO DE GASES (kg)	
	CONSUMO DE DIESEL (l)	
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (kg)	
	EMISSÃO DE EFLUENTES (m³)	
EMISSÃO DE GASES (kg)		
LOGÍSTICA		
DISTÂNCIA FORNECEDOR - MONTADORA		
TIPO DE TRANSPORTE		
EMBALAGEM		
<input type="checkbox"/> RETORNÁVEL	NÚMERO DE UTILIZAÇÕES:	
<input type="checkbox"/> NÃO-RETORNÁVEL	MATERIAL:	
PRODUÇÃO		
VOLUME (produtos / ano)	12.000	
ASPECTOS AMBIENTAIS DA MONTADORA	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	
	CONSUMO DE GASES (kg)	
	CONSUMO DE DIESEL (l)	
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (kg)	
	EMISSÃO DE EFLUENTES (m³)	
EMISSÃO DE GASES (kg)		

Figura 5.9 – Ficha Técnica do componente 3986639

O fato de ambas as soluções possuírem a mesma durabilidade e massas diferentes, já é um indicativo de que a de menor massa causa impactos ambientais menores em comparação à solução de maior massa. Esta conclusão, entretanto, só poderá ser validada ao final da avaliação ambiental.

A fim de se concluir o inventário para a avaliação de impactos ambientais, é preciso incluir as informações relativas à fase de uso do produto. Em princípio, o componente em questão pode parecer um componente “passivo”, ou seja, que não gera impactos ambientais durante a sua fase de uso. Entretanto, deve-se considerar as principais características do produto onde o componente será utilizado:

- Veículo comercial com capacidade total de carga de 40 toneladas;
- Carga útil de 26 toneladas;
- Fator de carga igual a 70% (carga total corrigida igual a 32,2 toneladas);
- Consumo médio de 0,35 litros de Diesel por quilômetro;
- Vida útil de 1.250.000 km.

Recorrendo à equação da figura 4.4, pode-se determinar, através da alocação por massa (massa do componente em função da massa total corrigida), o quanto o componente colabora no consumo de energia (neste caso, no consumo de Diesel), ao longo de toda a vida útil do produto. Os resultados obtidos são indicados na tabela 5.3:

		COMPONENTE	
		3987284	3986639
Consumo de Diesel		186,1 litros	144 litros

Tabela 5.3 – Consumo de Diesel devido aos componentes

Assim, percebe-se que o componente, de fato, colabora com o consumo total de combustível utilizado na vida útil do produto, sendo, portanto, um componente “ativo”, ou seja, aquele cuja fase de uso do seu ciclo de vida colabora com a geração de impactos ambientais.

Esta definição de inventário para a fase de uso é válida para todas as etapas de projeto desta solução.

Os dados agregados e consolidados conforme indicado nas figuras 5.8 e 5.9 são utilizados como o inventário para esta primeira avaliação de impactos ambientais. Pode-se notar que alguns campos ainda não estão aptos a serem preenchidos nesta etapa, uma vez que as respectivas informações não estão ainda disponíveis.

Os primeiros cálculos de impacto ambiental foram realizados através do *software* SIMAPRO 7 (Pré consultants, <http://www.pre.nl>), utilizando-se do inventário da sua base de dados “ecoinvent”⁵ e com uso do método de ACV “ecoindicator 99”⁶. Estes cálculos, executados exclusivamente com os dados oriundos da área de engenharia, portanto considerando apenas as fases de fabricação da matéria prima e uso, ofereceram, neste estudo de caso, os resultados comparativos indicados nas figuras 5.10 a 5.13.

A primeira figura (5.10) indica a caracterização dos impactos, ou seja, são indicados os impactos associados ao ciclo de vida do produto em estudo, dentre: cancerígenos, respiração de inorgânicos, respiração de orgânicos, mudanças climáticas, radiação, camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação / eutrofização, uso do solo, minerais e combustíveis fósseis).

Nota 5: É importante ressaltar que os dados de eletricidade desta base de dados foram alterados para representar melhor a realidade brasileira, tendo em vista que a geração de energia elétrica na Europa possui grande componente nuclear e térmico.

Nota 6: O método de ACV “ecoindicator 99” faz uso de dados internacionais.

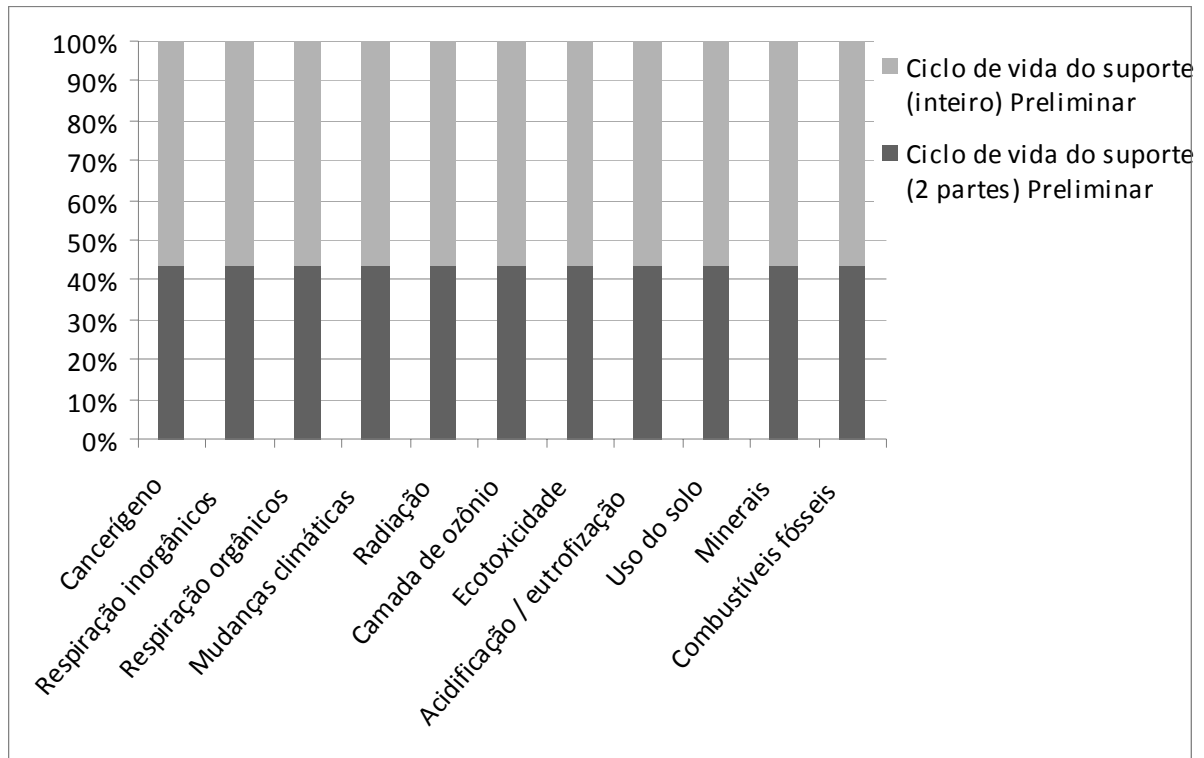


Figura 5.10 - Comparação (caracterização) na fase de Projeto Preliminar (SIMAPRO7, Ecoindicador 99 I/A)

O resultado indicado na figura 5.10 não permite indicar quais são os impactos mais significativos, porém permite a conclusão de que um dos componentes (o Suporte 2 Partes) está associado a impactos ambientais de menor grandeza de que o outro (o Suporte inteiro) em todas as categorias de impacto. Esta conclusão comprova a indicação de que, neste caso, a solução de menor massa causa impactos ambientais menores em comparação à solução de maior massa.

Quando se refere à normalização, ou seja, à relação entre a caracterização e uma referência (neste caso a referência é o próprio eco-indicador 99), os resultados demonstram que os principais impactos normalizados são o consumo de combustíveis fósseis, a respiração de orgânicos e as mudanças climáticas, conforme pode ser visto na figura 5.11.

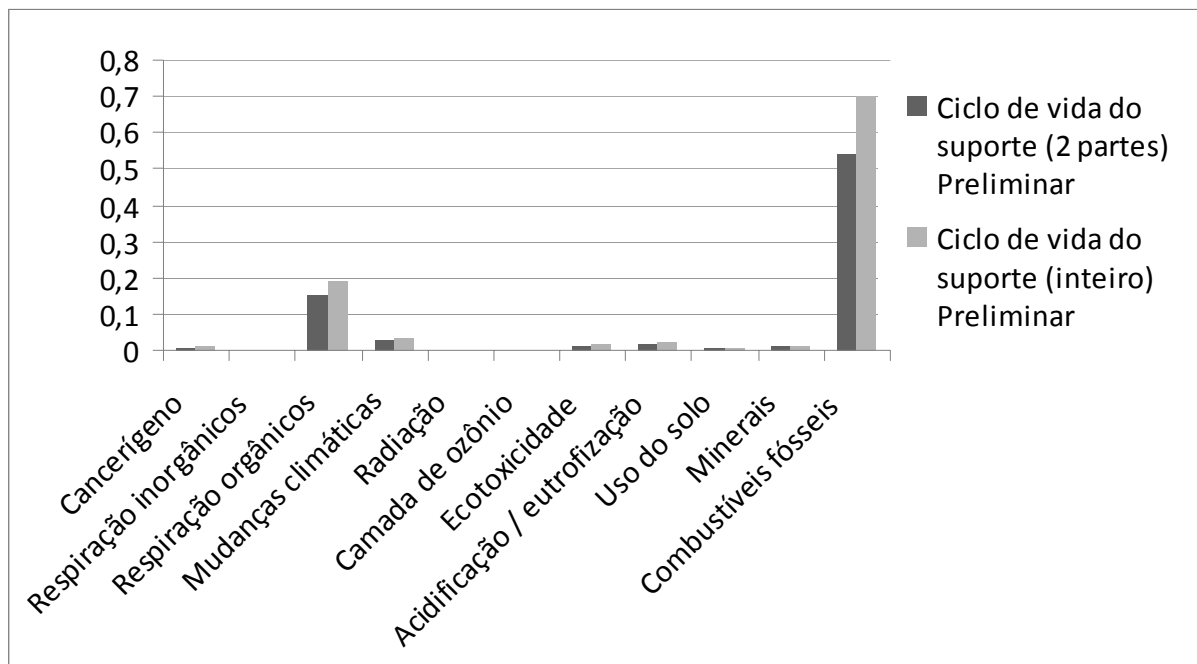


Figura 5.11 - Comparação (normalização) na fase de Projeto Preliminar (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

Quando se pondera os resultados apresentados até este ponto, ou seja, quando valores são atribuídos às categorias de impacto, os resultados obtidos são os indicados na figura 5.12.

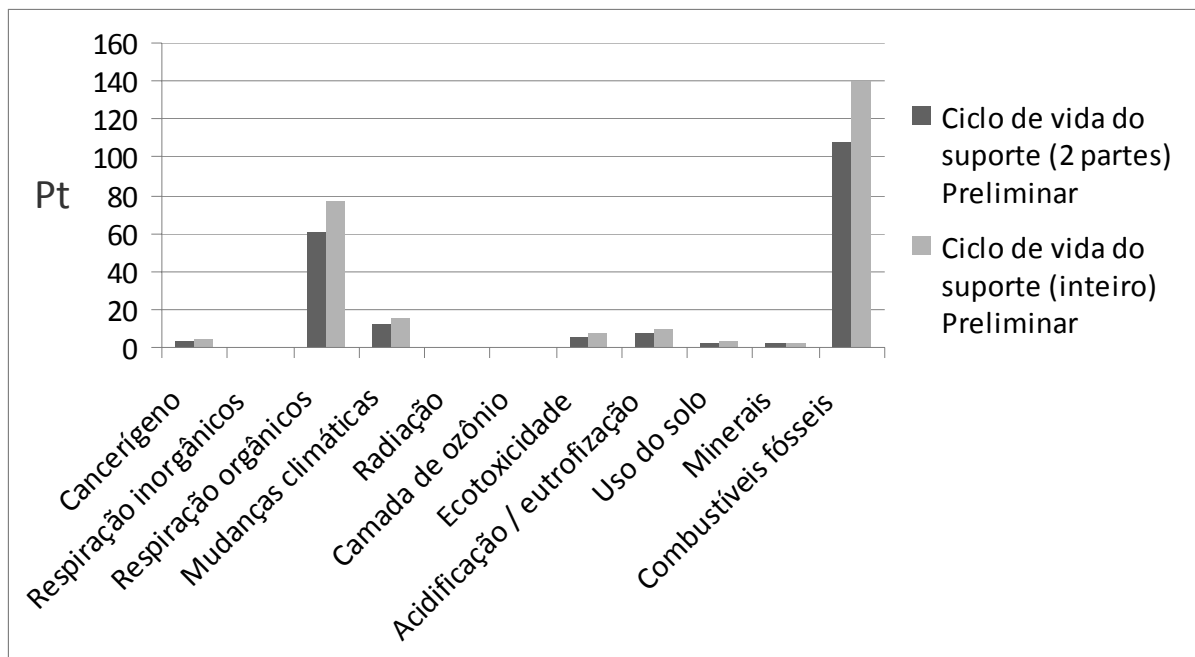


Figura 5.12 - Comparação (ponderação) na fase de Projeto Preliminar (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

Outra maneira de se demonstrar quais as categorias de impacto ambiental são, proporcionalmente, as mais representativas para cada solução está indicada na figura 5.13.

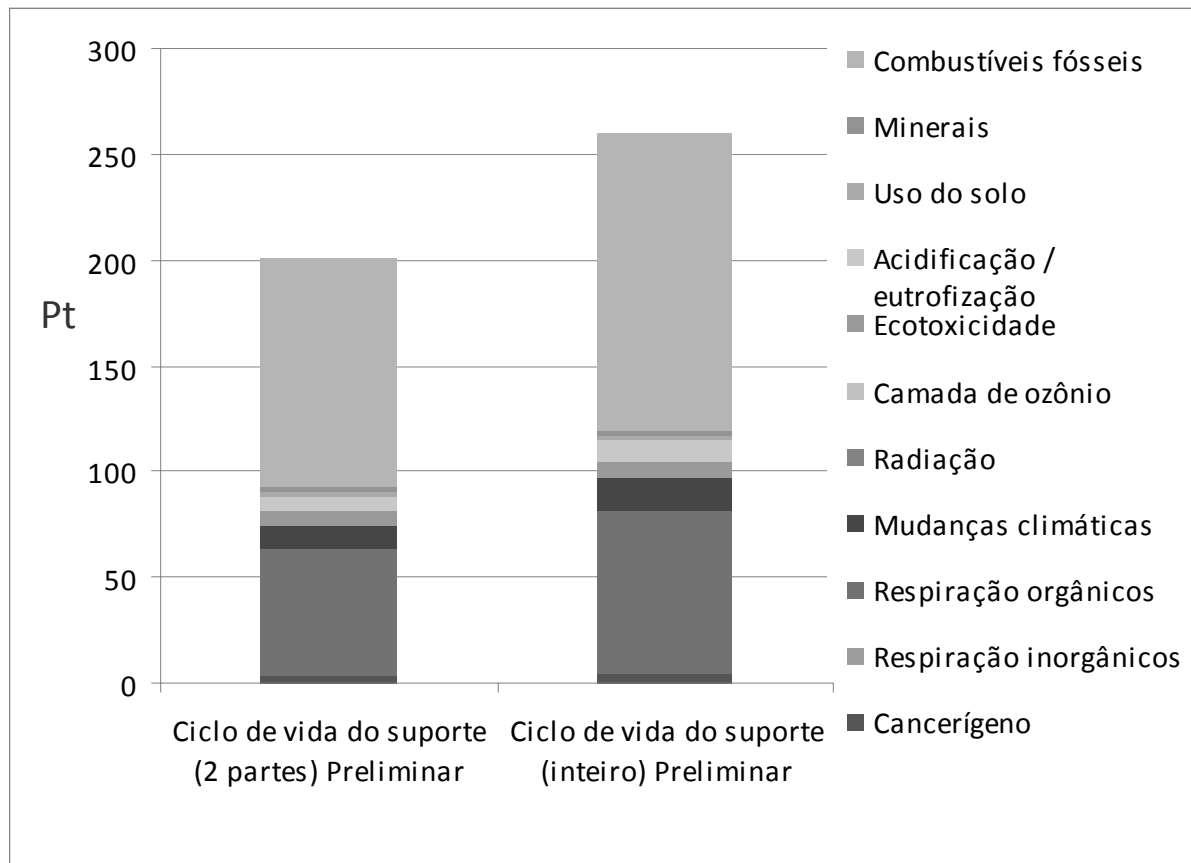


Figura 5.13 - Comparação (*single score*) na fase de Projeto Preliminar (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

É bastante importante notar o fato de que as avaliações ambientais executadas para as duas soluções entregam resultados que podem perfeitamente ser utilizados pela equipe de projeto para a tomada de decisão com relação àquela mais adequada em termos ambientais. Neste exemplo, mesmo com poucos dados disponíveis nas duas etapas propostas da fase de Projeto Preliminar, pode-se perceber claramente nas figuras 5.10 a 5.13 que a solução de código 3986639 causa impactos ambientais de menores dimensões do que aqueles causados pela solução de código 3987284.

Não é pretensão desta metodologia fazer com que todos os dados oriundos de uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais sejam detalhadamente interpretados pela equipe de projeto. Entretanto, mesmo com todas as limitações já expostas a respeito das dificuldades da compreensão dos conceitos ambientais por

uma equipe técnica, os dados, conforme indicados nas figuras 5.10 a 5.13, podem ser considerados de grande valia para a tomada das decisões necessárias.

Uma vez que os resultados tenham sido comparados contra os requisitos do projeto e consensados dentro da equipe, o desenho da solução pode, então, ser oficializado como o “Leiaute Preliminar”.

Vale lembrar o fato de que a metodologia propõe duas oportunidades na fase do Projeto Preliminar para que os dados sejam submetidos a avaliações de impactos ambientais, sendo a segunda a etapa de “otimização e finalização de desenhos”. Desta, é esperado o mesmo volume de dados oriundos da etapa de “desenvolvimento dos leiautes e desenhos preliminares”, porém com um nível de informações mais apuradas no sentido da finalização da solução.

Conforme já citado, porém, para efeito deste estudo de caso, os dados que darão origem ao “Leiaute Definitivo” serão idênticos aos dados que deram origem ao Leiaute Preliminar. Por consequência, as respectivas fichas técnicas, apesar de assinaladas na opção “Leiaute Definitivo”, conterão exatamente os mesmos dados da ficha técnica para o “Leiaute Preliminar” e os cálculos de impacto ambiental desta etapa oferecerão os mesmos resultados obtidos para a etapa anterior.

O próximo passo proposto pela metodologia é a submissão dos dados da etapa de “finalização dos detalhes e compilação dos desenhos detalhados” para a avaliação ambiental da etapa referente aos “desenhos para produção”. Nesta etapa, além dos dados provenientes da engenharia, as informações referentes a todo o ciclo de vida do componente em desenvolvimento devem estar consolidadas, com base no fato de que, nesta fase do desenvolvimento, todo o sistema industrial estará preparado tanto para a entrega do componente quanto para a sua montagem no produto final.

As principais informações oriundas da engenharia são apresentadas na tabela 5.4:

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Material	Aço SAE J1392.070XLF	Aço SAE J1392.070XLF
Espessura	8,00 ± 0,4 mm	8,00 ± 0,4 mm
Tratamento superficial	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275
Destinação final	Aterro	Aterro
Vida componente / Vida produto	1 / 1	1 / 1

Tabela 5.4: Dados dos componentes nos desenhos para produção

Os modelos matemáticos e as definições acerca da matéria-prima continuarão a servir de base, também nesta etapa, para a geração de dados complementares, ainda sob responsabilidade do grupo de projetistas. Estes modelos entregam os dados que podem ser vistos na tabela 5.5:

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Massa	13,7 kg	5,3 kg
Área Superficial	0,625 m ²	0,169 m ²

Tabela 5.5: Dados dos componentes no projeto detalhado

5.3.5. DADOS PARA O INVENTÁRIO DOS DESENHOS PARA PRODUÇÃO

As informações apresentadas nesta seção farão parte do inventário responsável pela avaliação ambiental mais completa dentre as três fases propostas por este trabalho. Por este motivo, este inventário será complementado por

informações de outras áreas relacionadas ao projeto, além da Engenharia. Estas áreas são: Produção, Compras e Logística.

A área da Compras, para os componentes em questão, tem a oferecer naturalmente os dados mostrados na tabela 5.6. Estas informações já constam do cadastro do fornecedor no sistema de compras da companhia montadora, portanto não requerem esforço significativo para serem prospectados:

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Nome do Fornecedor	Fornecedor S.A.	Fornecedor S.A.
Localização: Cidade	São José dos Pinhais	São José dos Pinhais
Localização: Estado	Paraná	Paraná
Localização: País	Brasil	Brasil
Volume (peças / ano)	3.500	7.000

Tabela 5.6: Dados oriundos da área de Compras

As informações referentes ao impacto ambiental causado pela produção do componente no fornecedor Tier 1, por sua vez, são informados pelo próprio fornecedor. Estes dados são mostrados na tabela 5.7, e são geralmente obtidos através das medições já realizadas para a certificação e para a manutenção do certificado ISO 14000 (1996). Para que os mesmos traduzam os impactos causados somente pelo componente em estudo, é preciso que haja cálculos de alocação, conforme a equação da figura 4.4.

Estes cálculos devem considerar o volume anual de produção do componente (uma vez que as informações constantes dos relatórios da ISO 14000 são declaradas em base anual), e também devem levar em consideração os processos de alocação por massa (para todos os aspectos, exceto emissão de gases COV) e por área (para a emissão de gases COV).

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Emissão de ruído	Não informada	Não informada
Consumo de água	0,0336 m ³	0,0130 m ³
Consumo de energia elétrica	5,9032 kWh	2,2839 kWh
Consumo de GLP (*)	0,8944 kg	0,3460 kg
Consumo de Diesel (**)	0,1824 l	0,0704 l
Geração resíduos sólidos recicláveis	0,0561 kg	0,0217 kg
Geração resíduos sólidos classe I	0,3600 kg	0,1391 kg
Emissão de efluentes	0,0145 m ³	0,0056 m ³
Emissão de gases - COV	0,0190 kg	0,0051 kg
Emissão de gases - MP	2,2747 g	0,8800 g
Emissão de gases - CO	118,1671 g	45,7143 g

(*) Massa específica média GLP Brasil: 540 kg/m³ (Fonte: Agência Nacional de Petróleo, www.anp.gov.br)

(**) Massa específica média Diesel Brasil: 840 kg/m³ (Fonte: Agência Nacional de Petróleo, www.anp.gov.br)

Tabela 5.7 - Dados oriundos do processo de manufatura (fornecedor)

Podem-se notar, mesmo antes de qualquer cálculo de impacto ambiental, as diferenças relativas à produção dos dois componentes.

Já os dados a serem fornecidos pelo grupo de Logística, relacionados ao transporte e à embalagem, são os seguintes, indicados na tabela 5.8:

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Distância fornecedor montadora	30 km	30 km
Tipo de transporte	Caminhão 17 ton	Caminhão 17 ton
Embalagem	Madeira retornável	Madeira retornável

Tabela 5.8: Dados oriundos da área de Logística

Os dados relativos à produção na montadora são os mostrados na figura 5.9. Do mesmo modo com que foram calculadas as informações pertinentes à produção dos componentes no fornecedor (processos de alocação por área e por massa), os dados relacionados à montadora precisam ser trabalhados, também com base nas informações oriundas do relatório anual de manutenção do certificado ISO 14000 (1996).

	COMPONENTE	
	3987284	3986639
Emissão de ruído	Não informado	Não informado
Consumo de água	0,0079 m ³	0,0023 m ³
Consumo de energia elétrica	1,7733 kWh	0,6860 kWh
Consumo de GLP (*)	0,0153 kg	0,0059 kg
Consumo de Diesel (**)	0,0390 l	0,0151 l
Geração resíduos sólidos recicláveis	0,1520 kg	0,0588 kg
Geração resíduos sólidos classe I	0,0023 kg	0,0009 kg
Emissão de efluentes	0,0035 m ³	0,0013 m ³
Emissão de gases - COV	1,2839 g	0,4967 g
Emissão de gases - MP	Não informado	Não informado
Emissão de gases - CO ₂	0,2424 kg	0,0938 kg

(*) Massa específica média GLP Brasil: 540 kg/m³ (Fonte: Agência Nacional de Petróleo, www.anp.gov.br)

(**) Massa específica média Diesel Brasil: 840 kg/m³ (Fonte: Agência Nacional de Petróleo, www.anp.gov.br)

Tabela 5.9: Dados oriundos do processo de montagem (montadora).

Todos estes dados, agregados e consolidados conforme indicado nas fichas técnicas dos componentes para a fase de projeto detalhado, (figuras 5.14 e 5.15), podem ser considerados como o inventário final para a terceira e última avaliação de impactos ambientais.

CÓDIGO	EDIÇÃO	NOME
3987284	01	Ancoragem superior para amortecedor traseiro
ENG. RESPONSÁVEL	APROVAÇÃO	DATA
Rafael J. Barreto	Rafael J. Barreto	12/9/2007
ETAPA		
<input type="checkbox"/> LEIAUTE PRELIMINAR	<input type="checkbox"/> LEIAUTE DEFINITIVO	<input checked="" type="checkbox"/> DESENHO PARA PRODUÇÃO
ENGENHARIA DO PRODUTO		
MATERIAL	Aço SAE J1392.070XLF	
MASSA (kg)	13,7 kg	
<input type="checkbox"/> ESTIMADA	<input checked="" type="checkbox"/> CALCULADA	
<input type="checkbox"/> PESADA		
TRATAMENTO SUPERFICIAL	Pintura de acordo com procedimento interno 1579275	
ÁREA (m²)	0,625 m²	
VOLUME (m³)	Não informado	
DESTINAÇÃO FINAL		
<input type="checkbox"/> REUTILIZAÇÃO	<input type="checkbox"/> REMANUFATURA	
<input type="checkbox"/> RECICLAGEM	<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	
MANUTENÇÃO	Não requerida	
RELAÇÃO VIDA ESPERADA COMPONENTE / VIDA ESPERADA PRODUTO	1 / 1	
<input checked="" type="checkbox"/> VERIFICAÇÃO	<input type="checkbox"/> CÁLCULO	
<input type="checkbox"/> ESTIMATIVA		
COMPRAS		
NOME DO FORNECEDOR	Fornecedor S.A.	
LOCALIZAÇÃO DO FORNECEDOR	CIDADE	São José dos Pinhais
	ESTADO	Paraná
	PAÍS	Brasil
VOLUME (peças / ano)	3.500	
ASPECTOS AMBIENTAIS DO FORNECEDOR	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	0,0336
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	5,9032
	CONSUMO DE GASES (kg)	0,8944
	CONSUMO DE DIESEL (l)	0,1821
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS (kg)	0,0561
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE I (kg)	0,3600
	EMIÇÃO DE EFLUENTES (m³)	0,0145
	EMIÇÃO DE GASES - VOC (kg)	0,0190
	EMIÇÃO DE GASES - MPT (g)	2,2747
	EMIÇÃO DE GASES - CO (kg)	0,1181
LOGÍSTICA		
DISTÂNCIA FORNECEDOR - MONTADORA	30 km	
TIPO DE TRANSPORTE	Caminhão 17 ton	
EMBALAGEM		
<input checked="" type="checkbox"/> RETORNÁVEL	NÚMERO DE UTILIZAÇÕES: Indefinidas	
<input type="checkbox"/> NÃO-RETORNÁVEL	MATERIAL: Madeira	
PRODUÇÃO		
VOLUME (produtos / ano)	12.000	
ASPECTOS AMBIENTAIS DA MONTADORA	CONSUMO DE ÁGUA (m³)	0,0079
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	1,7733
	CONSUMO DE GASES (kg)	0,0153
	CONSUMO DE DIESEL (l)	0,039
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS (kg)	0,152
	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSE I (kg)	0,0023
	EMIÇÃO DE EFLUENTES (m³)	0,0035
	EMIÇÃO DE GASES - VOC (kg)	1,2839
	EMIÇÃO DE GASES - MPT (g)	Não informado
	EMIÇÃO DE GASES - CO2 (kg)	0,2424

Figura 5.14 – Ficha Técnica do componente 3987284

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

Por fim, os cálculos de impacto ambiental, nesta oportunidade realizados com os dados oriundos de todas as áreas envolvidas no projeto, oferecem os resultados apresentados nas figuras 5.16 a 5.21.

Na tabela 5.10 são mostrados os materiais e processos selecionados na base de dados “ecoinvent” que serviram como base para os cálculos de impacto ambiental.

MATERIAL PROCESSO RECURSO	MATERIAIS OU PROCESSOS NO ECOINVENT
Água	Tap water / RER U
Aço	Steel, converter, low-alloyed, at plant / RER U
Transporte	Transport, lorry 28t / CH U
Uso	Transport, lorry 40t / CH U
Diesel	Diesel, at refinery / RER U
GLP (*)	Gas, petroleum, 35MJ per m3, in ground
Eletricidade (**)	Electricity, low voltage, production UCTE BR, at grid/BR U

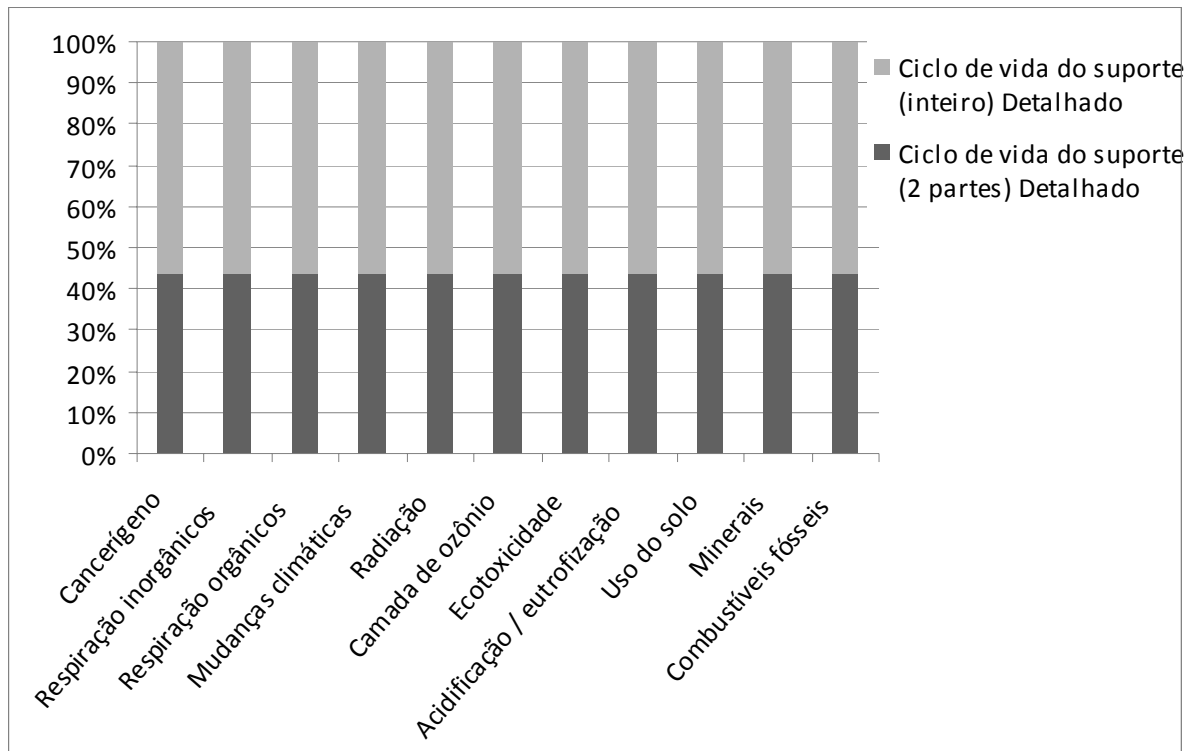


Figura 5.16 - Comparação (caracterização) na fase de Projeto Detalhado (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

A mesma conclusão pode ser obtida quando os dados de normalização, indicados na figura 5.17, onde os principais impactos normalizados são o consumo de combustíveis fósseis, a respiração de orgânicos e as mudanças climáticas.

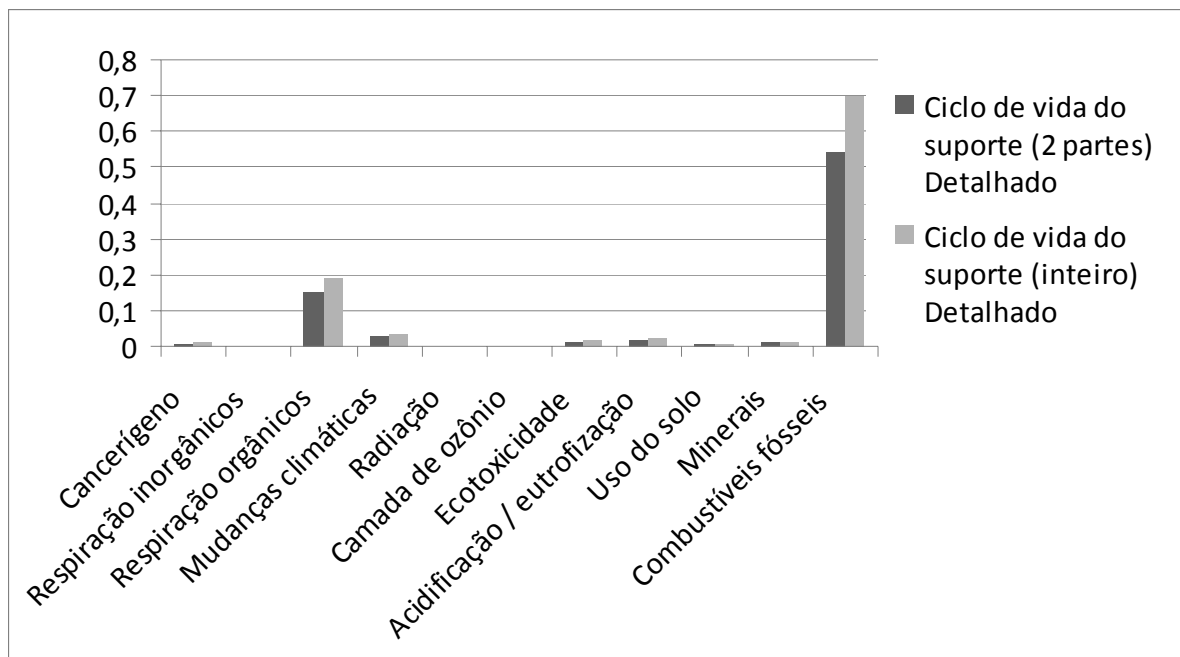


Figura 5.17 - Comparação (normalização) na fase de Projeto Detalhado (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

Os dados oriundos da análise de ponderação são indicados na figura 5.18, também com resultados bastante similares aos indicados na figura 5.13 para a fase de projeto preliminar.

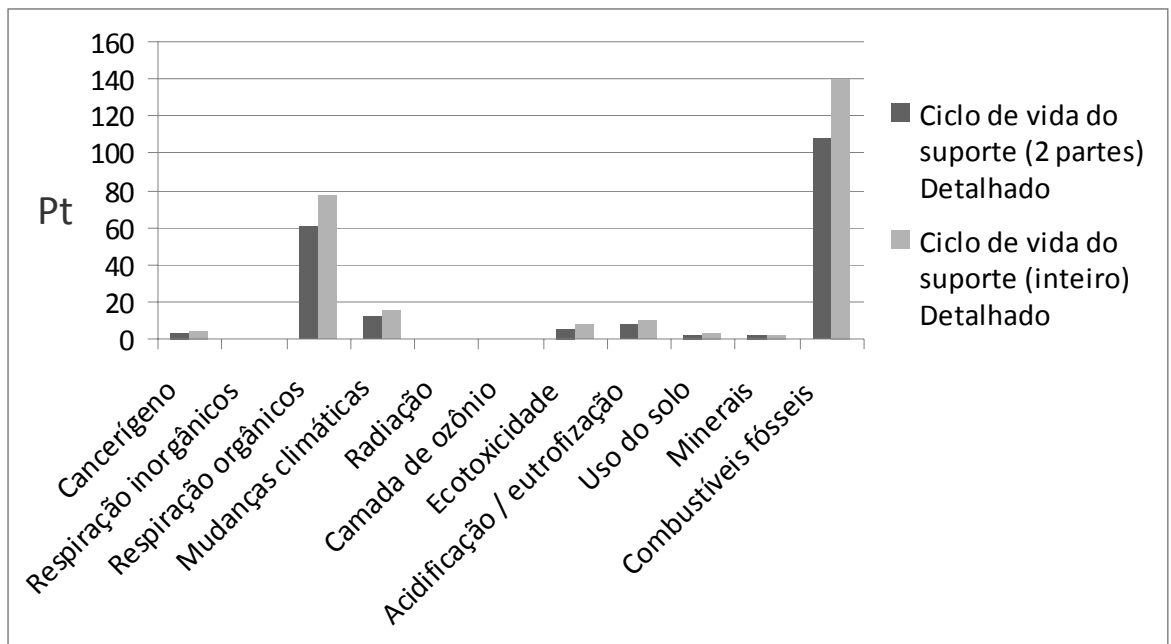
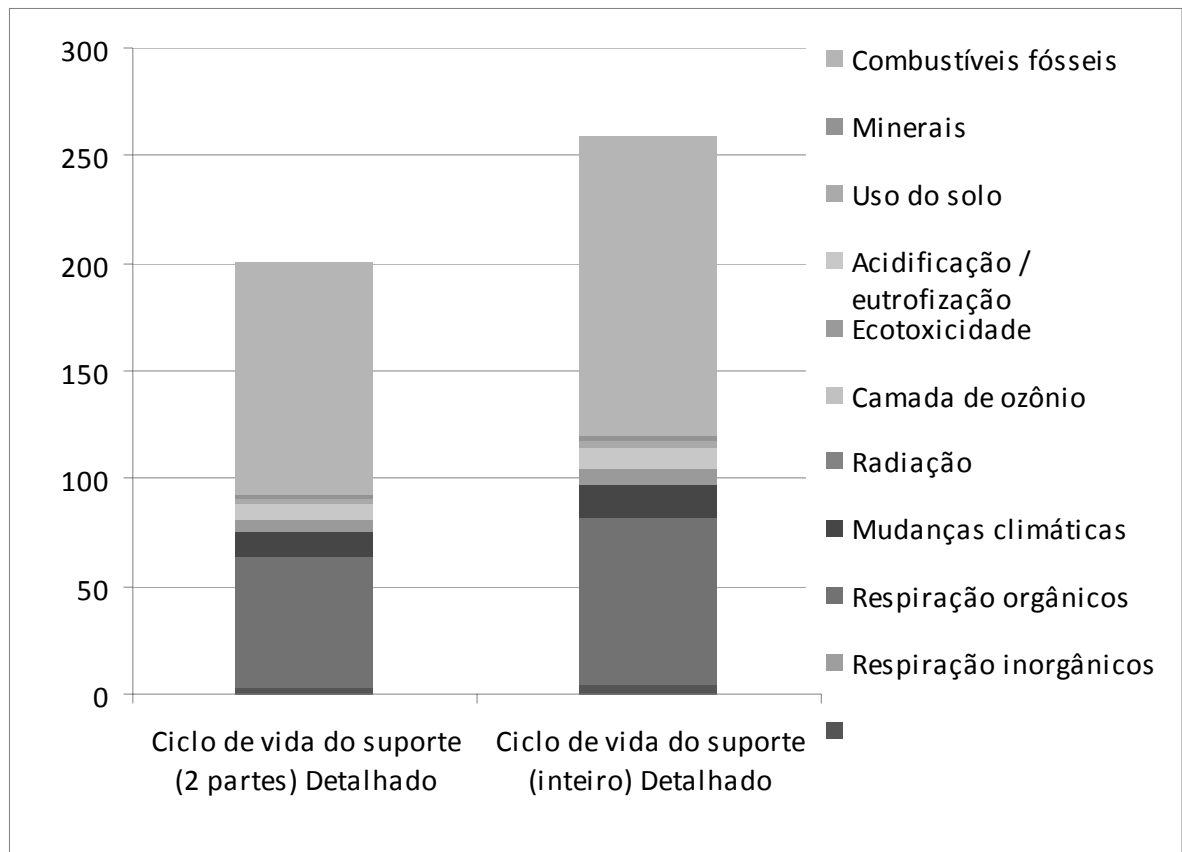


Figura 5.18 - Comparação (ponderação) na fase de Projeto Detalhado (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 I/A)

A proporção das categorias de impacto ambiental associadas às duas soluções está indicada na figura 5.19.



A figuras 5.20 e 5.21 apresentam diagramas em que são apontados apenas 5% dos processos, justamente os mais importantes e representativos para a análise do ciclo de vida dos componentes estudados.

Pode-se notar, em ambos os diagramas (figuras 5.20 e 5.21), que os impactos gerados são devidos, em grande parte, à fabricação do combustível (Diesel) que é utilizado durante a fase de uso do componente. Esta representação confirma a conclusão anterior de que esta é a fase mais importante do ciclo de vida destes componentes.

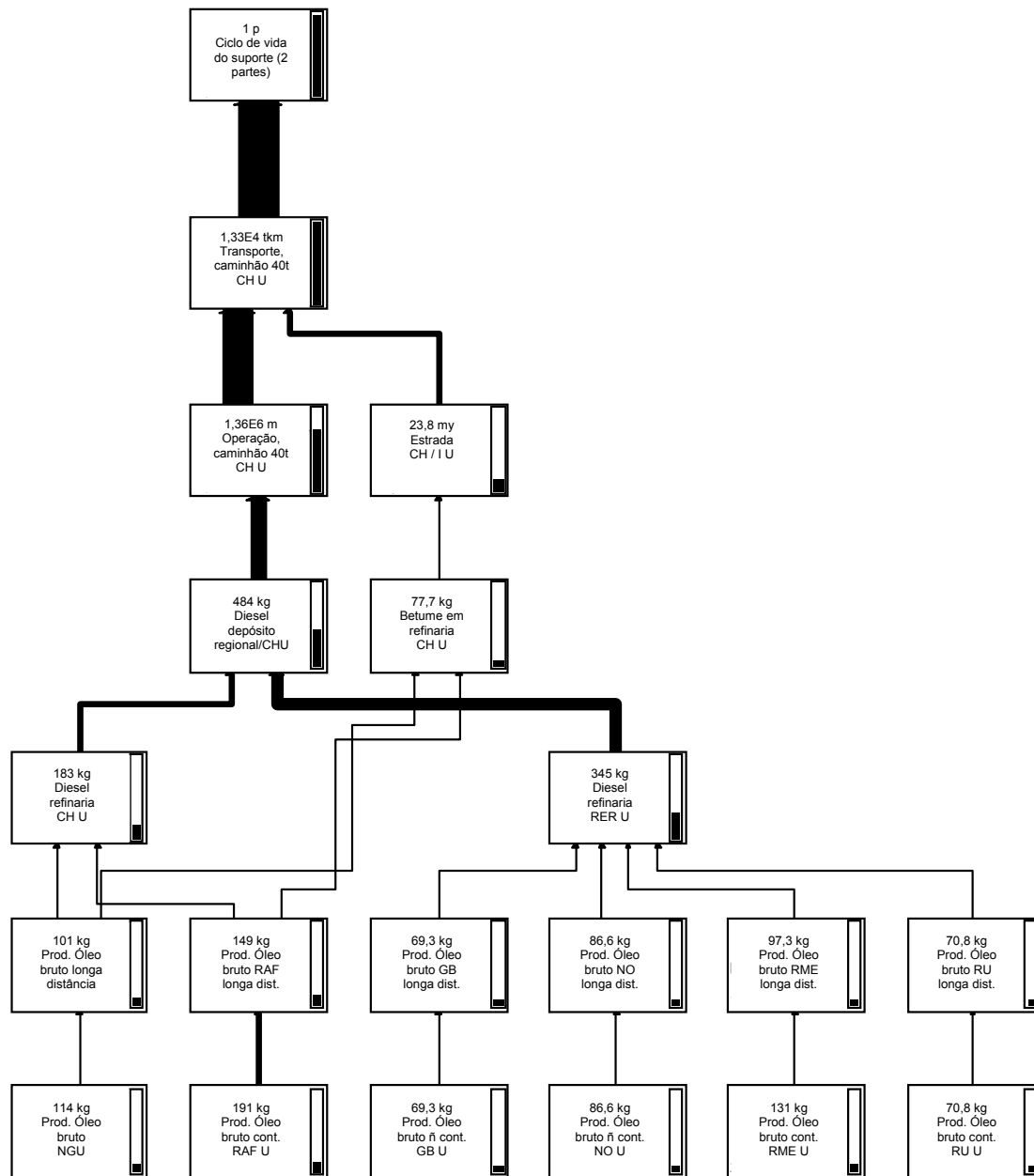


Figura 5.20 - Diagrama de rede do suporte 2 partes (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 A)

Aumentar o nível de detalhamento destes diagramas para mais de 5% dos processos mais importantes poderia levar à indicação de outros processos, referentes às fases de manufatura do produto. Entretanto, o valor de 5% é considerado um corte padrão para estudos de ACV, e entrega resultados em um nível considerado suficientemente detalhado.

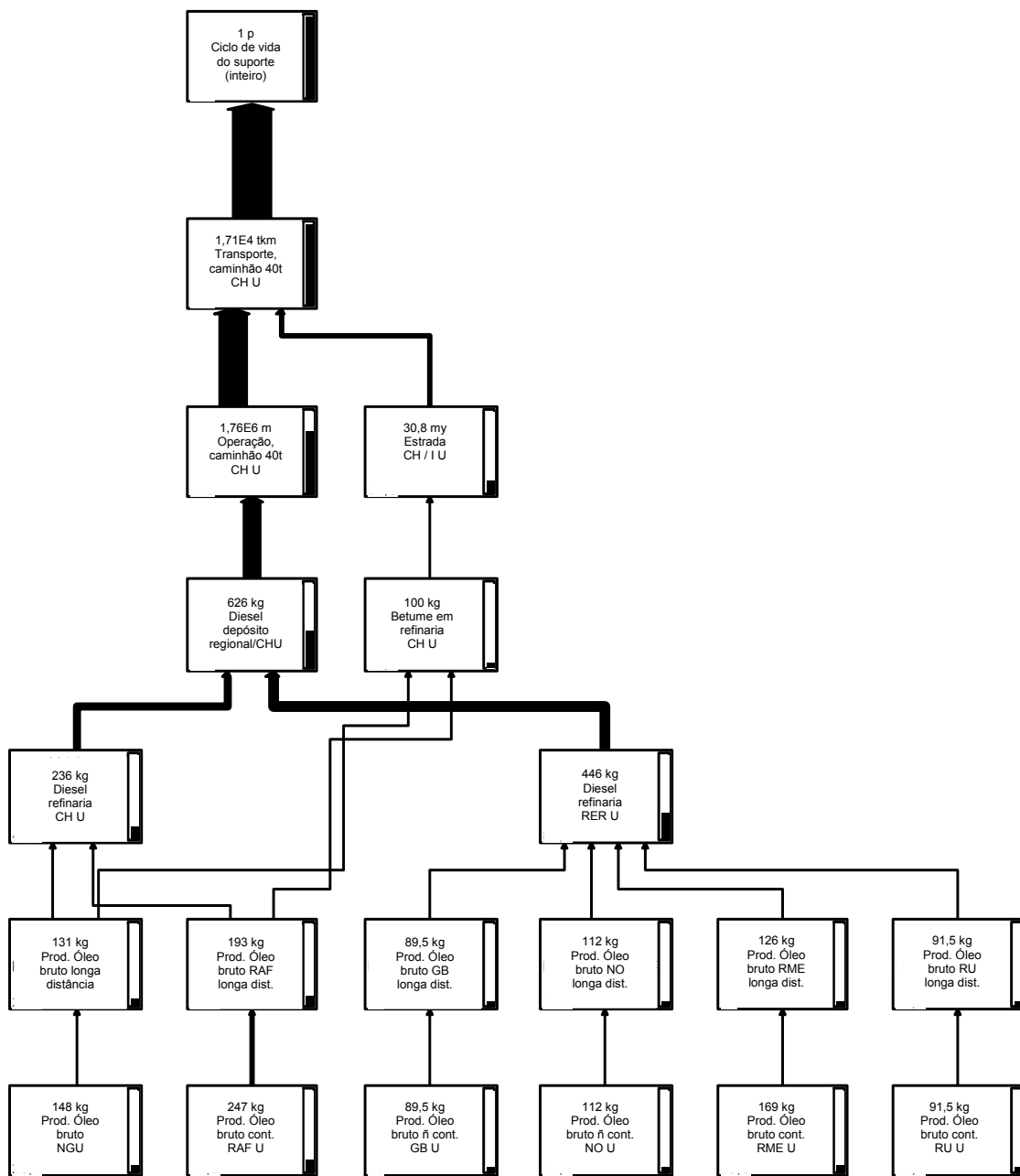


Figura 5.21 - Diagrama de rede do suporte inteiro (SIMAPRO7, Ecoindicator 99 A)

Estes diagramas configuram-se como mais uma alternativa para se concluir sobre a solução que oferece o melhor desempenho ambiental associado ao seu ciclo de vida.

Dois fatos bastante importantes foram notados neste estudo de caso. O primeiro deles diz respeito à similaridade dos diagramas para as fases de projeto preliminar e projeto detalhado, seguindo a tendência já mostrada pelas demais

figuras já apresentadas (figuras 5.10 a 5.13 similares às figuras 5.16 a 5.19). O segundo fato é a indicação bastante clara, tanto no diagrama 5.20 quanto no diagrama 5.21, de que a fase de uso é realmente a que causa maior impacto ambiental para ambas as soluções, sendo este fator desproporcionalmente maior a ponto de tornar os impactos gerados pelas demais fases do ciclo de vida desprezíveis.

Conforme anteriormente citado, todos os cálculos de impacto ambiental apresentados neste trabalho utilizaram o método de AICV “Ecoindicador 99”. Porém, a fim de avaliar quais seriam as respostas caso outros métodos tivessem sido utilizados, cálculos foram realizados com dois outros métodos (Impact 2002+ e EDIP), e os resultados podem ser observados na tabela 5.11, de acordo com seus respectivos graus de importância (de 1 a 3).

MÉTODO DE AICV	GRAU DE IMPORTÂNCIA: 1		GRAU DE IMPORTÂNCIA: 2		GRAU DE IMPORTÂNCIA: 3	
	CATEGORIA DE IMPACTO	ASPECTO AMBIENTAL	CATEGORIA DE IMPACTO	ASPECTO AMBIENTAL	CATEGORIA DE IMPACTO	ASPECTO AMBIENTAL
ECO INDICADOR 91HA	Combustíveis fósseis	Petróleo de solo	Respiração Inorgânicos	NO _x	Mudança climática	CO ₂
IMPACT 2002+	Respiração Inorgânicos	NO _x	Energia não-renovável	Petróleo de solo	Aquecimento Global	CO ₂
EDIP	Ecotoxicidade aquática crônica	Estrôncio	Ecotoxicidade aquática aguda	Estrôncio	Toxicidade humana no solo	Benzeno

Tabela 5.11 – Categorias de impacto e aspectos ambientais segundo três métodos de avaliação de impacto ambiental

Nesta tabela são indicadas as principais categorias de impacto associadas às soluções técnicas, bem como os principais aspectos ambientais a elas associadas. Pode-se perceber que os métodos “Ecoindicador 99” e “Impact 2002+” entregam resultados bastante similares, tendo apenas a ordem de importância variado do primeiro para o segundo método.

Já o método EDIP oferece respostas bastante distintas dos dois primeiros.

6. DISCUSSÃO

O objetivo deste capítulo é discutir a efetividade das soluções propostas por este trabalho frente aos quatro problemas relacionados no capítulo introdutório, resumidamente listados abaixo:

i) A pouca (ou total falta de) compreensão demonstrada por engenheiros ligados às áreas específicas do desenvolvimento acerca dos conceitos ambientais e de seu inter-relacionamento com os produtos em desenvolvimento (FIKSEL, 1996);

ii) A não-inclusão dos parâmetros ambientais como parte dos requisitos para o desenvolvimento de produtos (KAEBERNICK *et al.*, 2003);

iii) A percepção negativa dos aspectos ambientais como itens de baixa prioridade no processo de desenvolvimento (KAEBERNICK *et al.*, 2003);

iv) A característica meramente qualitativa das ferramentas e métodos disponíveis para “projetos para o meio ambiente” (TSOUFLAS e PAPPIS, 2005).

6.1. FALTA DE COMPREENSÃO

Uma vez que as equipes de projeto são tradicionalmente compostas por indivíduos ligados a áreas de concentração específicas, devido tanto à formação acadêmica quanto ao escopo das atividades rotineiras, a introdução de um parâmetro alheio ao seu conhecimento é passível de causar, se não a inviabilização do desenvolvimento como um todo, pelo menos, a inviabilização do atingimento dos objetivos associados ao mesmo.

A proposta deste trabalho, de criar uma metodologia que transporte os dados intrínsecos de um projeto (com os quais a equipe de projetistas já está naturalmente acostumada a tratar) para uma ferramenta de cálculo de impactos ambientais, e que devolva o resultado para a equipe, permite que as conseqüências ambientais de uma solução possam ser conhecidas pelos projetistas. Entretanto, é importante ressaltar que a presença de especialistas ambientais na equipe pode ser bastante útil na determinação das fases do ciclo de vida que contribuem com maior peso na

geração de impactos ambientais, facilitando aos projetistas a identificação dos parâmetros técnicos de maior relevância em cada fase do ciclo de vida do produto.

Em havendo a possibilidade de estes dados serem transportados de maneira rápida entre os sistemas envolvidos, mais ágil será a ação da equipe frente às decisões a serem tomadas com relação às conseqüências ambientais da solução. Ainda que a interface entre sistemas não seja o escopo deste trabalho, pode-se notar que o problema apresentado pode ser devidamente endereçado através da metodologia proposta.

Desta maneira, pode-se afirmar que o problema apresentado encontra solução na metodologia.

6.2. NÃO-INCLUSÃO NOS REQUISITOS

A falta de motivação de uma equipe de projetistas pode ser explicada, em parte, pela falta de um objetivo claramente definido. Segundo MASLOW (1974), o surgimento de uma necessidade provoca no indivíduo um estado de tensão e ansiedade, o qual dá origem a um comportamento motivado para a busca da consecução de um determinado objetivo.

A tarefa de incluir os parâmetros ambientais como um objetivo a ser cumprido por uma equipe de projeto trará a motivação necessária para que este item seja considerado no projeto, porém, esta inclusão só pode ser executada caso sejam conhecidos os limites dentro dos quais a solução deve estar localizada. Uma vez que dados históricos tenham sido obtidos como referência (seja a partir de produtos similares prontos, seja através de estimativas), os limites para os impactos ambientais de um futuro projeto podem ser estipulados. Para que os diversos grupos de desenvolvimento possam receber objetivos condizentes com os componentes ou sistemas sob sua responsabilidade, desdobramentos devem ocorrer a partir do objetivo principal.

A rotina proposta por este trabalho permite que objetivos sejam estabelecidos, bem como que interações aconteçam em três oportunidades ao longo das fases de

Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Deste modo, pode-se afirmar que este problema pode ser resolvido com a introdução desta rotina.

6.3. BAIXA PRIORIDADE

Com relação ao terceiro problema citado, a percepção de que a introdução de parâmetros ambientais às tarefas ordinárias de um grupo de projeto é apenas um gerador de novos problemas, pode-se afirmar que ele seja parcialmente superado à medida que a equipe de projeto perceba-o como um objetivo a ser cumprido, e possa então atuar sobre os parâmetros ambientais associados ao produto em desenvolvimento.

A habilitação de uma equipe no sentido de torná-la apta para a resolução de um problema é o requisito básico para que a necessidade seja atendida, mas quando se trata de percepção e priorização, faz-se necessário que o grupo seja conscientizado quanto à importância de suas ações no controle dos impactos ambientais associados a cada solução.

Este fator está mais conectado às políticas de cada companhia do que, efetivamente, à rotina de projeto. Deste modo, parte deste problema pode ser endereçada pela rotina apresentada neste trabalho (o controle sobre os parâmetros ambientais), porém outra parte é bastante dependente das ações de cada companhia com relação à conscientização acerca da importância da diminuição dos impactos associados ao produto.

Este problema, portanto, é apenas parcialmente resolvido através da metodologia apresentada.

6.4. FERRAMENTAS QUALITATIVAS

A característica qualitativa apresentada pelas iniciativas indicadas no capítulo 2 deste trabalho não permitem que resultados oriundos de duas ou mais alternativas diferentes sejam comparados entre si de maneira numérica. Comparações

qualitativas como aquelas relacionadas ao pensamento do ciclo de vida (capítulo 3) encontram aplicação potencial nas fases de Planejamento e Clarificação da Tarefa e Projeto Conceitual (PAHL e BEITZ, 1996), entretanto não podem ser convertidas de maneira objetiva em números.

A metodologia apresentada neste trabalho propõe que, através de uma ferramenta de cálculo de impactos ambientais (neste caso, o SIMAPRO 7), valores numéricos sejam gerados a partir dos dados normalmente disponíveis em algumas etapas do processo de desenvolvimento de produtos. Este processo permite ao grupo de desenvolvimento realizar comparações quantitativas entre grandezas físicas equivalentes (como energia, massa e volume, por exemplo), oferecendo, portanto, uma resposta bastante adequada ao problema inicialmente apresentado.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como pode ser visto no capítulo anterior, a metodologia proposta é capaz de endereçar, potencialmente, grande parte dos problemas apresentados no início deste trabalho. No entanto, para que isso aconteça, é necessário que a mesma seja implementada em ambientes de desenvolvimento que requerem prazos cada vez menores para entrega de projetos, com custos cada vez mais reduzidos.

Devido ao fato desta proposta buscar, sempre que possível, a utilização de dados disponíveis no processo regular do desenvolvimento do produto, poucos recursos adicionais parecem ser necessários para sua implementação, desta maneira onerando o mínimo possível as equipes de projeto. Esta decisão acarreta conseqüências na interpretação dos resultados da ACV.

Conforme pode ser visto no capítulo 5, durante o estudo de caso, as interpretações acerca dos cálculos do impacto ambiental das soluções visando à tomada de decisão são bastante diretas e pouco profundas. É preciso considerar esta metodologia, portanto, ainda que não ideal do ponto de vista da interpretação da ACV, como um primeiro passo no sentido de integrar de maneira sistemática os conceitos ambientais às atividades de desenvolvimento do produto.

Os resultados do estudo de caso indicam uma semelhança muito grande na avaliação de impacto ambiental entre as fases de Projeto Preliminar (leiaute preliminar e leiaute definitivo) e Projeto Detalhado (desenho para a produção), com grande peso para a fase de uso do ciclo de vida deste produto. Para futuras avaliações de impacto ambiental neste produto em específico, pode-se sugerir que os dados oriundos das demais fases de seu ciclo de vida sejam suprimidos.

Esta racionalização diminuiria de maneira significativa os esforços para a composição do inventário das fases de manufatura, montagem e transportes, aumentando a agilidade para a execução de avaliações ambientais ao longo do processo de desenvolvimento do produto. Por outro lado, os dados referentes à fase de uso podem ser mais precisos, uma vez que esta é a fase mais importante do ciclo de vida deste produto.

Entretanto, é importante esclarecer que a semelhança nos resultados entre as fases de Projeto Preliminar e Projeto Detalhado é uma condição particular deste produto. Outros produtos podem demonstrar diferenças significativas entre as fases citadas, e dados oriundos de todas as fases de seu ciclo de vida podem ser necessários para as suas avaliações ambientais.

Alguns pontos importantes visando aumentar a aplicabilidade desta metodologia residem na informatização dos sistemas envolvidos. A criação de interfaces entre a metodologia proposta (mais especificamente a ficha técnica, figura 4.6) e a ferramenta de avaliação de impactos utilizado (SIMAPRO7) é algo que precisa ser desenvolvido.

A transferência dos dados a partir das fichas técnicas para o programa computacional SIMAPRO7 foi feita de maneira manual no estudo de caso do capítulo 5, mas esta atividade não é viável em um ambiente real de desenvolvimento do produto.

Também existem possibilidades para a transferência de dados entre os sistemas atualmente utilizados pela engenharia para a alimentação da ficha técnica. Um exemplo claro apresenta-se na transferência automática de dados dos sistemas de projeto auxiliado por computador (*CAD Computer Aided Design*), como massa, volume e área do componente em desenvolvimento, por exemplo. Uma das recomendações para futuros trabalhos em áreas correlatas à apresentada neste reside justamente na necessidade da automação na interface entre os sistemas envolvidos.

Este trabalho foi possível graças à existência de uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais (SIMAPRO7), ainda que esta utilize banco de dados internacionais. Outra recomendação para futuros trabalhos trata da elaboração e do aperfeiçoamento da base de dados regionais, mais especificamente para o Brasil.

8. BIBLIOGRAFIA

ALTING, L., HAUSCHILD, M., WENZEL, H. *Elements in a new sustainable industrial culture. Environmental assessment in product development*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 14. 1998.

BACK, N. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Ed. Guanabara Dois. Rio de Janeiro. 1983.

BARRETO, R.J., UGAYA, C.M.L. *Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Processo de Desenvolvimento de Produtos*. I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável. 2007.

BHANDER, G. S., HAUSCHILD, M., MCALOONE, T. *Implementing Life Cycle Assessment in Product development*. Environmental Progress. 2003.

EPA, Environmental Protection Agency. *Life Cycle Design Framework and Demonstration Projects*. 1995.

EPA, Environmental Protection Agency. *Life Cycle Design Guidance Manual. Environmental Requirements and the Product System*. 1993.

FAVA, J.A. *Life Cycle Thinking: Application to Product Design*. IEEE. 1993.

FIKSEL, J., WAPMAN, K. *How to design for environment and minimize Life Cycle Cost*. IEEE. 1994.

FIKSEL, J. *Design for environment: creating eco-efficient products and processes*. McGraw-Hill. 1996.

GIUDICE, F., LAROSA, G., RISITANO, A. *Materials selection in the life-cycle design process: a method to integrate mechanical and environmental performances in optimal choice*. Materials and Design. 2005.

GRAEDEL, T.E., ALLENBY, B.R. *Industrial Ecology*. Pearson Education Inc. 1995.

HEISKANEN, E. *The Institutional Logic of Life Cycle Thinking*. Journal of Cleaner Production. 2002.

ISO 14000. *Environmental Management*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 1996.

ISO 14040. *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2006.

ISO 14044. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2006.

ISO 14062. *Environmental management – Integrating environmental aspect into product design and development*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2002

KAEBERNICK, H., KARA, S., SUN, M. (2003). *Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements*. Robotics and Computer Integrated Manufacturing . 2003.

KEOLEIAN, G. A., KOCH, J. E., MENEREY, D. *Life Cycle Design Framework and Demonstration Projects. Profiles of AT&T and AlliedSignal*. Environmental Protection Agency. 1995.

KEOLEIAN, G. A., MENEREY, D. *Life Cycle Design Manual – Environmental Requirements and the Product System*. Environmental Protection Agency. 1994.

KEOLEIAN, G. A., MENEREY, D. *Sustainable Development by Design: Review of Life Cycle Design and Related Approaches*. Journal of Air and Waste Management. 1994.

KOBAYASHI, H. *Strategic evolution of eco-products: a product life cycle planning methodology*. Research in Engineering Design. 2005

KUO, T., HUANG, S. H., ZHANG, H. C. *Design for manufacture and design for "X": concepts, applications, and perspectives*. Computers & Industrial Engineering. 2001.

LEE, S.G, XU, X. *Design for the environment: life cycle assessment and sustainable packaging issues*. International Journal of Environmental Technology and Management. 2005.

LEFEBVRE, E., LEFEBVRE, L.A., TALBOT, S. *Life Cycle Design Approach in SMEs*. International Journal of Life Cycle Assessment. École Polytechnique de Montréal, Mathematics and Industrial Engineering Department, Montréal, Canada. 2001.

LENOX, M., KING, A., EHRENFELD, J.. *Incorporating Environmental Considerations into Product Design Decisions*. Interfaces. 1999.

LINDAHL, M. *Engineering designer's experience of design for environment methods and tools – requirement definitions from an interview study*. Journal of Cleaner Production. 2005.

LOWE, E. A., EVANS, L. K. *Industrial Ecology and Industrial Ecosystems*. Journal of Cleaner Production. 1995.

MARQUES, A. C. C. *Reprojeto para o meio ambiente: eco-ferramenta para pequenas e médias empresas no setor moveleiro*. Dissertação de Mestrado. CEFET-PR. 2004.

MASLOW, A. H. *Uma teoria da motivação humana*. In: BALCÃO, Y. F., CORDEIRO, L. L. *O comportamento humano na empresa*. 2a. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. 1975.

MASUI, K., SAKAO, T., KOBAYASHI, M., INABA, A. *Applying Quality Function Deployment to environmentally conscious design*. International Journal of Quality and Reliability Management. 2003.

NBRISO 10209-2. *Documentação técnica de produto - Vocabulário - Parte 2: Termos relativos aos métodos de projeção*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005.

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. 2002.

O'CONNOR, F., BLYTHE, D. *Designing Environmental Considerations in to Products – A Novel Qualitative Life Cycle Approach*. IEEE. 1997.

O'ROURKE, D., CONNELLY, L., KOSHLAND. C.P. *Industrial Ecology: A Critical Review*. International Journal of Environment and Pollution. 1996.

PAHL, G., BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. Springer-Verlag London Limited, Second Edition. 1996.

PEDERSEN, S., WILSON, C., PITTS, G., STOTESBERY, B. *Electronics Industry Environmental Roadmap*. Environmentally Conscious Electronics System Manufacturing. 1996.

SHAPIRO, K. G., WHITE, A. L. *Life-Cycle Design Practices at Three Multi-National Companies*. IEEE. 1999.

STUART, J.A., SOMMERVILLE, R.M. *Materials Selection for Life Cycle Design*. Ohio State University, Department of Industrial, Welding and Systems Engineering. Columbus, OH. 1998.

SYAN, C., MENNON U. *Concurrent engineering. Concepts, implementation and practice*. London, UK. Chapman & Hall. 1994.

TSOUFLAS, G.T., PAPPIS, C.P. *Environmental principles applicable to supply chains design and operation*. Journal of Cleaner Production, 2005

UGAYA, C.M.L. *Análise de ciclo de vida de produtos: estudo de caso para materiais e componentes em automóveis no Brasil*. Tese de doutorado. 2001.

VEZZOLLI, C., SCIAMA, D. *Life Cycle Design: From General Methods to Product Type Specific Guidelines and Checklists: A Method Adopted to Develop a Set of Guidelines/Checklist Handbook for the Eco-Efficient Design of NECTA Vending Machines*. Journal of Cleaner Production. 2006.

VTC. *GDP Guide - Global Development Process*. 2004.

APÊNDICE A – CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO

Segundo citado por KEOLEIAN (1994), o livro "*Introduction to Design*", publicado por Asimow em 1962, apresentou pela primeira vez a estrutura básica para o ciclo de vida de um produto. Nesta obra, o projeto foi organizado em sete fases, divididas em projeto primário (I a III) e planejamento para a produção e consumo (IV a VII), que inclui produção, distribuição, consumo e disposição ou recuperação dos materiais. Asimow afirmou explicitamente a importância da inclusão das questões sócio-ecológicas no projeto, e sua inter-relação com o ciclo produção-consumo.

O conceito de "ciclo de vida" perpetuou-se como o estudo do balanço de material de um produto (fluxos de material e energia, da aquisição da matéria-prima ao destino final do produto), construído a partir dos seguintes estágios:

- Aquisição de matéria-prima;
- Processamento de material bruto;
- Produção de materiais;
- Manufatura e montagem;
- Uso e serviço;
- Aposentadoria;
- Disposição.

A aquisição da matéria-prima geralmente envolve mineração de material não-renovável e/ou colheita de biomassa; estes recursos brutos são processados em materiais de base através de separação e purificação, e alguns destes materiais de base são devidamente tratados (física e quimicamente), sendo manufaturados e finalmente montados para adquirir sua forma final.

Os produtos então são consumidos ou utilizados, talvez reparados e, finalmente após o fim de sua vida, descartados. Após o descarte, os produtos podem ser reutilizados, remanufaturados, ou reciclados.

Resíduos, nocivos e não-nocivos, gerados ao longo de todos os estágios são lançados diretamente ao meio-ambiente, na forma de emissões para o ar ou para a água, ou na forma de resíduos sólidos em aterros municipais, sendo que os efeitos destes impactos podem ser imediatos ou de longo prazo, podendo ser sentidos local, regional, ou globalmente (EPA, 1993).

Pode-se perceber, portanto, que os atores envolvidos no ciclo de vida de um produto vão desde os mineradores para a matéria-prima, até os coletores e recicladores, passando pelos projetistas e usuários. Todos estes atores são afetados pelo projeto do produto e, portanto, têm um papel importante a cumprir quanto às definições dos critérios de projeto (O'CONNOR, 1997).

De uma maneira geral, o ciclo de vida de um produto é circular: projetar e utilizar produtos consome recursos e os convertem em resíduos que se acumulam na terra e na biosfera (EPA, 1993).

APÊNDICE B – SISTEMA DO PRODUTO

Segundo citado por KEOLEIAN (1994) Sistema do Produto é composto basicamente por quatro itens: o próprio produto, o processo de sua manufatura, sua distribuição e o gerenciamento. A definição do sistema de um produto é uma atividade fundamental, e ele pode ser considerado como a ligação mais básica entre as necessidades da sociedade e os ecossistemas globais (Keoleian, 1994).

Ainda segundo KEOLEIAN (1994), os componentes do sistema do produto consistem:

- Produto: um sistema de produto consiste de todos os materiais do produto final, somado a todas as formas de entrada em cada estágio do ciclo de vida. É caracterizado tanto por um fluxo físico de material e energia, quanto por um fluxo de informações através de cada estágio do ciclo de vida.

- Processo: é a transformação de material e energia em uma variedade de produtos intermediários ou finais, incluindo materiais diretos e indiretos utilizados para fazer um produto.

- Distribuição: este componente considera toda a transferência de materiais e energia entre os estágios do ciclo de vida e locações físicas. A distribuição consiste dos sistemas de embalagens e das redes de transporte usados para conter, proteger e transportar produtos e materiais relativos ao processo.

- Gerenciamento: As responsabilidades do gerenciamento incluem serviços administrativos, gerenciamento financeiro, pessoal, compras, vendas, serviços ao consumidor e programas de treinamento e educação.

APÊNDICE C – ESTRATÉGIAS AMBIENTAIS SEGUNDO EPA

Nesta seção as principais estratégias ambientais citadas pelo EPA (1993) aplicáveis à indústria serão apresentadas e brevemente comentadas.

Aumento da vida do produto

O termo "vida do produto" é a medida de quanto um sistema pode operar com segurança e desempenho adequado quando devidamente tratado (KEOLEIAN, 1994). Aumentar a vida útil de um produto, de modo geral, reduz diretamente os impactos ambientais a ele associados, uma vez que, em muitos casos, recursos são economizados e menos resíduos são gerados ao final de sua vida. Basicamente, menos unidades são necessárias para cumprir as mesmas funções e para atender às mesmas necessidades. As principais medidas associadas a este conceito são:

- Número de operações ou ciclos de trabalho;
- Duração da operação;
- Tempo (para produtos perecíveis).

A aposentadoria é o evento que marca o final da vida útil de um produto. Os motivos pelos quais os produtos são aposentados são:

- Obsolescência técnica;
- Obsolescência de moda;
- Degradação do desempenho ou fadiga estrutural;
- Degradação química ou ambiental;
- Danos causados por acidentes ou má utilização.

Compreender os motivos pelos quais produtos são aposentados ajuda os projetistas a aumentar sua vida útil. Fatores importantes para esta compreensão

são: durabilidade, adaptabilidade, confiabilidade, serviceabilidade, manutenibilidade, reparabilidade e remanufaturabilidade.

Extensão da vida dos materiais

De um modo geral, a reciclagem pode ser considerada como a reforma, ou o reprocessamento, de um material recuperado. Segundo definido pelo EPA (1993), reciclagem é a “série de atividades, incluindo coleta, separação e processamento, através das quais produtos ou outros materiais são recuperados, ou de outra maneira separados a partir do lixo sólido, para uso na forma de matéria-prima na manufatura de outros produtos”.

Os materiais disponíveis para reciclagem podem ser divididos, segundo o EPA (1993) em três classes:

- Lixo doméstico: materiais e produtos gerados e usualmente reciclados dentro de um processo original de manufatura;
- Pré-consumo: consistem de sobras, rejeitos, ou resíduos gerados durante qualquer estágio de produção fora do processo original de manufatura;
- Pós-consumo: aqueles que serviam a um uso e foram descartados antes da recuperação.

A reciclagem, dentro de um projeto, pode ser uma ferramenta bastante efetiva para o gerenciamento de recursos ligados à extensão da vida dos materiais. Mesmo assim, o “Projeto para a Reciclabilidade” não é a estratégia mais importante para se atender a todos os requisitos ambientais.

A reciclagem pode ser potencializada quando, no produto, existe:

- Facilidade de desmontagem;
- Identificação de materiais;
- Simplificação de peças;
- Compatibilidade e seleção de materiais.

Seleção e redução de materiais

Tradicionalmente, os critérios para a seleção de materiais incluíam prioritariamente aspectos geométricos, mecânicos, físicos, econômicos e de manufatura. Tais critérios tinham como foco os estágios de manufatura e uso do produto (STUART e SOMMERVILLE, 1998).

Contudo, a crescente ênfase dada à sustentabilidade, ao aumento da responsabilidade ambiental das indústrias, às legislações de caráter ambiental, e ao apelo comercial de produtos recicláveis, colaborou com o desenvolvimento dos princípios do *LCD*.

A seleção de materiais é uma parte fundamental em qualquer projeto, e oferece várias oportunidades para a redução dos impactos ambientais associados a um produto.

No *LCD*, a seleção de materiais começa pela identificação da natureza e das fontes de matéria-prima. Então, os impactos causados pela aquisição de matéria-prima, processos, uso e aposentadoria são estimados.

A profundidade da análise e o número de estágios considerados variam de acordo com o escopo do projeto.

Finalmente, os materiais propostos são comparados para se obter a melhor escolha.

A seleção de materiais tem impactos em todo o ciclo de vida do produto, como pode ser visto na figura C.1, proposta por STUART e SOMMERVILLE (1998).

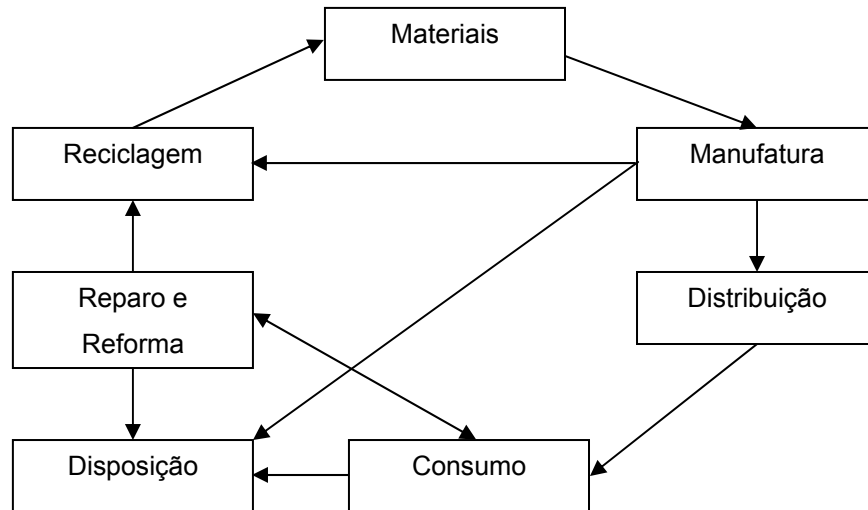


Figura C.1 – Ciclo de vida segundo STUART (1998)

Quanto à conservação de recursos, esta é uma estratégia que pode colaborar diretamente para a diminuição dos impactos ambientais. Entretanto, projetar para conservar recursos nem sempre é tarefa fácil, principalmente porque a redução de materiais pode afetar outros requisitos de maneira bastante complexa.

Gerenciamento do Processo

Uma grande variedade de estratégias de gerenciamento de processos pode ser usada para reduzir impactos ambientais, sendo que as melhorias de processo podem ocorrer tanto dentro quanto fora da fase de projeto. São exemplos:

- Troca de processos: a substituição de processos ambientalmente mais danosos por processos menos agressivos ao meio-ambiente;
- Eficiência de energia: escolha de soluções visando a conservação de energia, como equipamentos de alto desempenho, e o dimensionamento adequado de motores elétricos, por exemplo;

- Eficiência de material: processos ajustados para o uso de materiais de maneira adequada reduzem tanto a entrada de materiais quanto as saídas em forma de resíduos;

- Controle de processos: um sistema de controle bem projetado pode prevenir poluição e conservar recursos. Os requisitos básicos de um sistema de controle são: suprimir a influência de distúrbios internos, assegurar a estabilidade do processo, manter o desempenho do processo dentro dos padrões ambientais, controle do inventário, tratamento de resíduos e disposição final.

Eficiência na Distribuição

Tanto o transporte quanto a embalagem para a transferência de bens entre duas localizações podem colaborar para a diminuição dos impactos ambientais.

Os impactos relacionados aos transportes, por exemplo, podem ser reduzidos de várias maneiras:

- Escolha de um modo eficiente em termos de energia;
- Redução das emissões de poluentes;
- Maximização da capacidade dos veículos;
- Adequação de contenção de materiais perigosos.

Quanto à embalagem, sua função é conter e proteger bens durante o transporte e manipulação, e as principais estratégias para reduzir os impactos associados são:

- Redução das embalagens;
- Substituição dos materiais das embalagens.

Em sendo o *LCD* uma metodologia que deve ser customizada para cada corporação onde é aplicada (SHAPIRO e WHITE 1999), as estratégias ambientais podem ser desdobradas e adaptadas em diretrizes mais específicas, objetivando o maior desempenho da ferramenta. VEZZOLI e SCIAMA (2006) exemplifica este fato

citando os critérios adotados pela Unidade de Pesquisa do Centro Politécnico de Milão (Itália) em suas atividades didáticas e de consultoria:

- Redução do consumo de materiais;
- Redução do consumo de energia;
- Redução da toxicidade;
- Bio-compatibilidade e conservação de recursos;
- Otimização da vida de produtos e componentes;
- Aumento da vida dos materiais;
- Projeto para desmontagem;
- Facilitação da manutenção.

APÊNDICE D – ANÁLISES DE INCERTEZA E SENSIBILIDADE

A análise de incerteza tem por objetivo estimar o quanto o resultado de uma ACV pode variar, e deve ser executada em cada uma das fases, ou seja, definição do escopo, inventário e avaliação de impacto.

- Definição do escopo (definição do escopo do sistema de produtos, escolha do modelo de alocação, definição do escopo tecnológico)

Na definição do escopo, um modelo deve ser escolhido para o ciclo de vida total do produto, e uma avaliação deve ser feita acerca de quanto o sistema do produto se encaixa no processo. As suposições feitas na construção do modelo são repletas de incertezas, que devem ser avaliadas.

Com relação ao inventário, as incertezas relacionadas aos processos individuais devem ser estimadas em conexão com a análise de inventário de todos os processos do sistema de produtos, e uma distribuição estatística pode ser suposta para a magnitude das conseqüências.

A fase de avaliação de impacto também introduz incertezas no resultado da ACV, através do uso de fatores de equivalência, de referências normalizadas e nas ponderações.

As incertezas relacionadas ao uso de fatores de equivalência podem ser atribuídas às dúvidas ligadas a definição dos próprios fatores de equivalência ou aos modelos e suposições usadas no seu cálculo.

Não há maneira sistemática para se estimar as incertezas de uma ACV.

Com relação à análise de sensibilidade, os objetos avaliados são basicamente a significância da falta de dados nos processos dos sistemas do produto, e a significância das incertezas indicadas na análise de incertezas.

A sensibilidade da ACV a mudanças é investigada através da atribuição de diferentes valores em posições-chave seguida pela execução de novos cálculos, enquanto outros fatores são mantidos com os mesmos valores. A variação proposta deve ser feita com base na incerteza intrínseca de cada figura.

A análise de sensibilidade pode ser bastante complexa e demorada se for feita manualmente, mas como o auxílio de ferramentas computacionais, o processo torna-se bastante mais simples e ágil.

Os principais pontos onde análises de sensibilidade devem acontecer são:

- Modelamento: ao se revisar as escolhas individuais feitas durante a definição do escopo, uma análise deve ser feita acerca de quão significativos os impactos ocasionados a todo o sistema do produto. Se uma escolha ou uma suposição mostra-se de grande significância para o resultado total, as escolhas relacionadas devem ser bastante criteriosas.

- Dados faltantes: se existem processos no sistema de produtos onde não seja possível gerar dados acerca das trocas ambientais, uma ordem de grandeza realista deve ser estimada e uma avaliação deve ser feita quanto à possibilidade de causar alterações significativas no resultado final da ACV.

- Dados para os processos individuais: em uma revisão de todo o inventário, deve-se concentrar nos processos que, à luz dos resultados da avaliação de impacto, contribuem de maneira significativa no resultado final para o sistema do produto. A análise de sensibilidade implica em uma nova revisão de definição de escopo e de inventário. Conforme descrito, o propósito da análise de sensibilidade é a clarificação das fontes de variação e a avaliação de sua significância relativa.

- Fatores de Avaliação: depois da análise de sensibilidade da definição do escopo e do inventário, uma análise de sensibilidade dos fatores de equivalência, normalização e ponderação deve ser executada, também a fim de se identificar os fatores de maior influência no resultado final.

Com relação às fases do ciclo de vida onde as análises de incerteza e de sensibilidade devem ocorrer, são elas:

- Matéria-Prima: o estágio de extração da matéria-prima frequentemente resente-se da falta de informações acerca das trocas ambientais relativas a substâncias químicas para a composição do inventário. Se uma substância entra na composição de um sistema de produto em larga escala, ou se é particularmente danosa ao meio ambiente, esta falta pode ser considerada de alta significância.

Entretanto, é frequente que as emissões ocorridas nas fases mais prematuras do ciclo de vida sejam consideradas como desprezíveis frente às emissões no estágio de uso do produto (NIELSEN e WENZEL, 2002).

- **Manufatura:** a significância das escolhas relativas ao princípio de alocação devem ser investigadas quanto a trocas ambientais na fase de manufatura do produto, e número de pessoas alocadas em cada um dos vários produtos.

- **Uso:** existe um número de suposições para o estágio de uso que, dependendo da natureza do produto, podem ser de maior significância para o resultado da ACV e devem ser estudados com maior profundidade:

Tipos de veículos;

Padrões de uso;

Vida do produto;

Eficiência;

Tipo de combustível

Manutenção

Quebras

Óleos e aditivos

Componentes de desgaste

Para produtos que utilizam energia ou substâncias químicas na sua fase de uso, tais trocas frequentemente encontram-se entre as mais significativas para o sistema do produto. É importante, então, realizar análise de sensibilidade para os cenários de uso em que estejam envolvidos o consumo de energia ou de substâncias químicas.

- **Disposição Final:** dentre as suposições para o estágio de disposição que podem ser significativas, e que devem ser investigadas quanto à análise de sensibilidade, estão:

- A distribuição do produto entre rotas diferentes de disposição

- O grau de eficiência da utilização de energia liberada em incineração

- O percentual dos vários materiais no produto para os quais a reciclagem é esperada
- O grau médio de recuperação de materiais a partir da sociedade.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)