

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE
REPROJETO DE PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANTÔNIO CARLOS PEIXOTO BITENCOURT

FLORIANÓPOLIS, MAIO DE 2001

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE REPROJETO
DE PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE

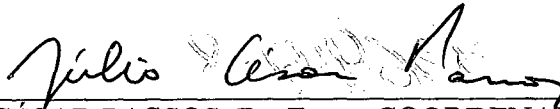
ANTÔNIO CARLOS PEIXOTO BITENCOURT

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Florianópolis, 25 de maio de 2001.



Prof. JÚLIO CÉSAR PASSOS, Dr. Eng. - COORDENADOR DO CURSO



Prof. ANDRÉ OGLIARI, Dr. Eng. - ORIENTADOR

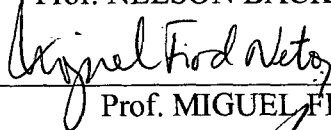


Prof. FERNANDO A. FORCELLINI, Dr. Eng. - CO-ORIENTADOR

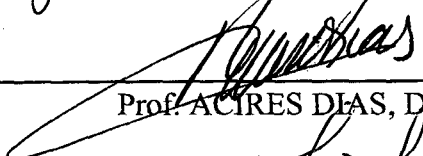
BANCA EXAMINADORA:



Prof. NELSON BACK, Ph. D. - PRESIDENTE



Prof. MIGUEL FIOD NETO, Dr. Eng



Prof. ACIRES DIAS, Dr. Eng.



Prof. SEBASTIÃO ROBERTO SOARES, Dr.

Em homenagem ao meu Pai, grande mestre, que faleceu durante
a execução deste trabalho,
à minha Mãe, mulher guerreira e
às minhas irmãs e irmão
pela vida, ensinamentos, apoio e compreensão.
À minha filha, sentido da minha vida.

Agradecimentos

Ao Pai Criador-Filho Salvador-Espírito renovador que disponibilizou as condições necessárias à realização deste trabalho;

Aos professores André Ogliari e Fernando Forcellini pela orientação, compreensão e apoio;

À minha família: Antônio, Edeltrudes, Carla, Andréa, Welligton e Maria Letícia;

À Comunidade de Vida Cristã (CVX), principalmente a comunidade de Florianópolis, que me deu todo carinho e acolhida de amigos e amigas no Senhor;

Às novos e eternos amigos e amigas: Luis, Sandro, Marcos, Ana Cláudia, Márcia, Josiane, Carol e Priscila, pelo carinho e compreensão com o *Baiano* chato, reclamão e cheio de neuras;

Aos colegas e amigos do NeDIP por toda ajuda e convivência;

Às pessoas que se relacionaram diretamente com este trabalho, principalmente no estudo de caso: Leonardo, Alexandre, Valdeon, André Wilbert, prof. Ahrens, Airton e Ângelo, pela preciosa ajuda;

À UFSC e ao Departamento de Engenharia Mecânica pela confiança na realização deste trabalho e a CNPq pelo apoio financeiro.

*“Tomai, Senhor, e recebei toda a minha liberdade, minha memória também,
o meu entendimento e toda a minha vontade.
Tudo que tenho e possuo vos me destes com amor.
Todos os dons que me destes, com gratidão vos devolvo.
Disponde deles Senhor, segundo a vossa vontade.
Dai-me somente o vosso amor e vossa graça, isto me basta, nada mais quero pedir.”*

Santo Inácio de Loyola

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

Charles de Foucauld

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	viii	
LISTA DE FIGURAS	ix	
LISTA DE TABELAS E QUADROS	xi	
RESUMO	xiii	
ABSTRACT	xiv	
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO		
1.1	Generalidades	1
1.2	Objetivos e contribuições	2
1.3	Delimitação do escopo da pesquisa	3
1.4	Premissa e hipótese	3
1.4.1	Premissa	3
1.4.2	Hipótese	4
1.5	Justificativas	4
1.5.1	Pressão da demanda ambiental	4
1.5.2	Importância do reprojeto de produtos	9
1.6	Metodologia de pesquisa	13
1.7	Estrutura do texto	14
CAPÍTULO 2 ESTADO DA ARTE		
2.1	Introdução	15
2.2	Metodologias de reprojeto de produtos	15
2.2.1	Abordagens para o reprojeto de produtos	16
2.2.2	Comparação entre as abordagens para o reprojeto de produtos	20
2.3	Questão ambiental no setor produtivo da sociedade	22
2.4	Projeto para o meio ambiente – PPMA	26
2.4.1	EcoReDesign	27
2.4.2	Evolução sistemática de produtos (ESP)	28
2.5	Considerações finais	30
CAPÍTULO 3 FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA		
3.1	Introdução	32
3.2	Metodologia de projeto	32
3.3	Reprojeto de produtos	35
3.4	Projeto para o meio ambiente	39
3.4.1	Aplicação de metodologias de PPMA	42
3.4.2	Eco ferramentas	42
3.5	Considerações finais	44
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA DE REPROJETO PARA O MEIO AMBIENTE - REPMA		
4.1	Introdução	47
4.2	Descrição geral da RePMA	47
4.3	Determinação da realização do reprojeto para o meio ambiente	54
4.4	Fase 1.0 – Reprojeto informacional	57
4.4.1	Etapas 1.1 – Recuperação e aquisição das informações relacionadas ao produto	58
4.4.2	Etapas 1.2 – Elaboração de requisitos ambientais	65

4.4.3	Etapa 1.3 – Determinação do nível de reprojeto	66
4.4.4	Etapa 1.4 – Estabelecimento das especificações para o reprojeto	67
4.5	Fase 2.0 – Reprojeto conceitual	71
4.5.1	Etapa 2.1 – Recuperação e avaliação da concepção do produto	72
4.5.2	Etapa 2.2 – Estabelecimento e seleção da estrutura funcional modificada	73
4.5.3	Etapa 2.3 – Geração de concepções para a estrutura funcional selecionada	77
4.5.4	Etapa 2.4 – Seleção da melhor concepção modificada	79
4.6	Considerações finais	83

CAPÍTULO 5 ESTUDO DE CASO: REPROJETO DE UMA CAFETEIRA ELÉTRICA

5.1	Introdução	85
5.2	Definição do problema de reprojeto	85
5.3	Determinação da realização do reprojeto da cafeteira elétrica	85
5.4	Reprojeto informacional da cafeteira elétrica	86
5.5	Reprojeto conceitual da cafeteira elétrica	101
5.6	Considerações finais	112

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1	Introdução	114
6.2	Conclusões gerais	114
6.3	Recomendações para trabalhos futuros	116

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

118

Anexo A	– LiDS (<i>Lifecycle design strategies</i>) – Estratégias de projeto para o ciclo de vida	124
Anexo B	– Inverso da síntese funcional	129
Anexo C	– Análise do ciclo de vida e Eco indicador	132
Anexo D	– ACV-simplificada e elaboração dos requisitos ambientais	148
Anexo E	– Material do estudo de caso	159

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ABS.....	Terpolímero amorfo de acrilonitrila-butadieno-estireno
ACV.....	Análise do ciclo de vida
CAs	Concepções alternativas
CE	Comunidade europeia
CERES.....	Coalition for environmentally responsible eoomies – coalizão para uma economia ambientalmente mais responsável.
CFC.....	Cloro flúor carbono
CNI	Confederação nacional da indústria
CQ.....	Casa da qualidade
DFD	Design for disassembly – projeto para a desmontagem
DFE.....	Design for the environment
DFR.....	Design for recyclability – projeto para reciclabilidade
DFx's	Design for anything – projetar para algo
EI99	Eco indicador 99
ESP	Evolução sistemática de produtos
FOE.....	Friends of the earth
IBOPE.....	Instituto brasileiro de opinião pública e estatística
ISO	International organization for standardization – Organização internacional de normalização
LiDS.....	Lifecicle design strategies – estratégias de projeto para o ciclo de vida
LMP	Laboratório de mecânica de precisão
MMA	Ministério do meio ambiente
NeDIP/UFSC...	Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos da Universidade Federal de Santa Catarina
ONGs	Organizações não-governamentais
PL	Projeto de lei
PP.....	polipropileno
PP/WP	Pollution prevention/waste prevention
PPMA.....	Projeto para o meio ambiente
QFD	Quality function deployment – desdobramento da função qualidade
RePMA	Metodologia de reprojeção de produtos para o meio ambiente
RMIT	Royal melbourne institute of technology – instituto imperial de tecnologia de melbourne
US EPA	U.S. environmental protection agency – agência de proteção ambiental do EUA
WCED.....	United nations world commission on environment and development – comissão mundial das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento
WWF.....	World wildlife fund

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1	Influência do projeto de produtos no custo final de produção. Adaptado de ULLMAN (1992, p. 8)	10
Figura 2-1	Metodologia de reprojeto com base na engenharia reversa (Otto e Wood, 1998).	19
Figura 2-2	O reprojeto no processo de projeto (Hashim <i>et al</i> , 1994, p. 128).	20
Figura 2-3	Classificação das abordagens de inclusão da questão ambiental no setor produtivo. Adaptado de Bras (1997)	23
Figura 3-1	Reprojeto ao longo do ciclo de vida do produto	35
Figura 3-2	Curva de vendas e fluxo de caixa no ciclo de vida de um produto. Adaptado de Hogarth e Tabeshfar (1993)	36
Figura 3-3	Processo de determinação das políticas e estratégias para o reprojeto de produtos	36
Figura 3-4	Estrutura para o processo de reprojeto	38
Figura 4-1	Representação geral da RePMA	49
Figura 4-2	RePMA desdobrada – reprojeto informacional	50
Figura 4-3	RePMA desdobrada – reprojeto conceitual, preliminar e detalhado	51
Figura 4-4	Processo de determinação da realização do reprojeto para o meio ambiente	54
Figura 4-5	Estratégias de projeto segundo o ciclo de vida do produto. Adaptado de Hemel (2000)	55
Figura 4-6	Comparação entre as LIDS's do reprojeto e da empresa.	57
Figura 4-7	Fluxo de informações no reprojeto informacional	58
Figura 4-8	Escala de avaliação do produto com base na opinião do cliente. Adaptado de Amaro (1997)	64
Figura 4-9	Matriz de seleção do nível de reprojeto	67
Figura 4-10	Forma e principais elementos da casa da qualidade. Adaptado de Ogliari (1997, p. 6)	68
Figura 4-11	Fluxo de informações no reprojeto conceitual	72
Figura 4-12	Matriz de avaliação da concepção do produto	73
Figura 4-13	Desdobramento da função global de uma moenda de caldo de cana. Adaptado de Silva Junior <i>et al</i> (1999)	74
Figura 4-14	Matriz de seleção de alternativas de estrutura funcionais. Adaptado de Marinbondo (2000, p. 238)	77
Figura 4-15	Matriz morfológica	78
Figura 4-16	Combinação de princípios de solução na matriz morfológica	79
Figura 4-17	Matriz passa / não passa. Adaptado de Back e Forcellini (1999)	80

Figura 4-18	Matriz de avaliação. Adaptado de Back e Forcellini (1999, p. 6-4)	82
Figura 5-1	Objeto do estudo de caso: cafeteira elétrica	86
Figura 5-2	Ciclo de vida da cafeteira elétrica do estudo de caso	94
Figura 5-3	Estrutura funcional original da cafeteira elétrica	103
Figura 5-4	Estrutura funcional modificada da cafeteira	106
Figura 5-5	Concepção modificada da cafeteira elétrica	111
Figura 5-6	Detalhe do sistema de aquecimento da concepção modificada	112

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1-1	Causas que conduzem à prática de reprojeção de produtos industriais. Adaptado de Dufour (1996, p. 16).	12
Tabela 2-1	Metodologia de reprojeção de produto. Adaptada de Dufour (1996, pp. 31-37).	18
Tabela 2-2	Comparação entre as abordagens para o reprojeção de produtos segundo a apresentação sistemática do processo de reprojeção	21
Tabela 2-3	Comparação entre as abordagens para o reprojeção de produtos em relação à questão ambiental	22
Tabela 2-4	Comparação entre EcoReDesign e ESP	29
Tabela 3-1	Níveis de reprojeção de produtos.	39
Tabela 3-2	Obstáculos encontrados em relação ao PPMA (Huang, 1996, p. 84).	41
Tabela 3-3	Aspectos do PPMA segundo o processo de reprojeção	43
Tabela 3-4	Eco ferramentas nas fases do desenvolvimento de produtos. Adaptado de Caluwe (1997, p. 10).	44
Tabela 4-1	Documentos no ciclo de vida	59
Quadro 4-1	Registro de características provenientes de documentos do produto.	60
Tabela 4-2	Clientes e usuários no ciclo de vida	60
Tabela 4-3	Escala de valores para a opinião dos clientes	61
Tabela 4-4	Exemplo de questões aplicáveis à fase de uso de um liquidificador	62
Quadro 4-2	Requisitos de usuários para o reprojeção do produto	63
Tabela 4-5	Valores da avaliação da necessidade de melhoria do produto segundo um determinado requisito de usuário	64
Tabela 4-6	Escala de relacionamento entre requisitos e nível de reprojeção	67
Tabela 4-7	Indicativos para elaboração de requisitos de reprojeção ambiental	70
Quadro 4-3	Modelo típico para preencher as especificações de reprojeção. Adaptado de Fonseca (1996, p. 106).	70
Tabela 4-8	Escala para avaliação da concepção do produto.	73
Quadro 4-4	Quadro de avaliação ambiental das funções	75
Tabela 5-1	Clientes e usuários no ciclo de vida da cafeteira elétrica	87
Tabela 5-2	Lista das necessidades e requisitos de usuários	89
Tabela 5-3	Relação entre os requisitos e características da cafeteira	90
Tabela 5-4	Descrição física da cafeteira	92
Tabela 5-5	Avaliação do impacto ambiental da cafeteira segundo seus componentes	95
Tabela 5-6	Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida da cafeteira	96

Tabela 5-7	Perfil da produção de energia em bilhões de kWh, 1998. Adaptado do <i>World Net Electricity Generation by Type</i> , 1998 da EIA	97
Tabela 5-8	Requisitos ambientais elaborados da avaliação do desempenho ambiental	98
Tabela 5-9	Matriz de seleção do nível de reprojeto para a cafeteira elétrica	99
Tabela 5-10	Elaboração dos requisitos de reprojeto	100
Tabela 5-11	Especificações para o reprojeto original da cafeteira elétrica	102
Tabela 5-12	Avaliação da concepção original da cafeteira	104
Tabela 5-13	Quadro de avaliação ambiental das funções da cafeteira	105
Tabela 5-14	Matriz passa/não passa para o estudo de caso	108
Tabela 5-15	Primeira aplicação da matriz de avaliação no estudo de caso	109
Tabela 5-16	Segunda aplicação da matriz de avaliação no estudo de caso	110

RESUMO

A presente dissertação trata da proposição de uma metodologia de reprojeto de produtos para o meio ambiente (RePMA – Metodologia de ReProjeto para o Meio Ambiente), cuja aplicação foi exemplificada através de um estudo de caso do reprojeto de uma cafeteira elétrica. O desenvolvimento da RePMA foi motivado pela necessidade de considerar a demanda ambiental no desenvolvimento de produtos. Esta demanda origina-se de diferentes forças do mercado: legislação, normas, concorrentes e consumidores. Verificou-se que uma das principais formas de atendimento desta demanda é a oferta de produtos com menor impacto ambiental, e isso pode ser obtido pelo reprojeto de produtos. Diante destas constatações, realizou-se um estudo do estado da arte relacionado às metodologias de reprojeto de produtos e sobre a consideração da questão ambiental no setor produtivo com destaque às abordagens sistemáticas de reprojeto para o meio ambiente. Além disso, realizou-se estudos sobre metodologia de projeto, reprojeto de produto e projeto para o meio ambiente com o objetivo de estabelecer fundamentos e diretrizes para o desenvolvimento da RePMA. O desenvolvimento da RePMA resultou numa estrutura geral para o processo de reprojeto e desdobramento das duas primeiras fases em etapas e tarefas, prescrevendo orientações e métodos de suporte às atividades da equipe de reprojeto. Como contribuições nesse desenvolvimento pode-se destacar: levantamento e organização do conhecimento sobre o reprojeto de produtos e o projeto para o meio ambiente; sistematização do processo de reprojeto e inclusão da questão ambiental no desenvolvimento de produtos, possibilitando a identificação e redução do impacto ambiental.

ABSTRACT

The present dissertation proposes a redesign methodology for the environment (RePMA – Metodologia de ReProjeto para o Meio Ambiente), which application was exemplified through an electric coffee-pot redesign case study. The RePMA development has been motivated by the need take into consideration products development environmental demand. Such demand originates from different market aspects: laws, regulations, competitors and costumers. It has been verified that one way of meeting this demand is to offer products with smaller environmental impact. This can be obtained through the product redesign. A research on the state-of-the-art of redesign methodologies focusing on the environmental issue was realized, as well as studies on design methodology, product redesign and design for the environment. These studies supported the establishment of the guidelines for the RePMA. The development of the RePMA resulted in a general structure for the redesign process and the work breakdown structure for the first two phases in terms of stages and tasks, prescribing orientations and supporting methods. Contributions of the RePMA development can be pointed out: elicitation and organisation of the knowledge on product redesign and design for the environment; redesign process systematisation with the inclusion of the environmental demand issue in the product development.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

A preocupação com a defesa do meio ambiente teve um maior destaque nas duas últimas décadas. Na década de setenta, a questão ecológica era vista somente como um empecilho ao desenvolvimento tecnológico, sendo tratada através de legislações que regulamentavam apenas os efeitos ambientais no final do processo de alguns setores industriais, tais como: siderurgia, papel/celulose e petroquímica. Nas décadas de oitenta e noventa, percebeu-se o crescimento da consciência de que a sobrevivência atual e o futuro da humanidade estão vinculados à ampliação da demanda ecológica sobre todas as atividades produtivas e consumidoras da sociedade.

Esta tomada de consciência foi motivada pelas previsões pessimistas da saturação do meio ambiente como fornecedor dos insumos necessários para manter o padrão de consumo (Tipnis 1993). O meio ambiente passou a ser encarado como um fator importante à manutenção da espécie humana; por conseguinte, precisava ser considerado nos planos de desenvolvimento dos países.

É neste contexto que surgiu o desenvolvimento sustentável, cujo o conceito mais popular foi formulado pela WCED na publicação *Our common future*, que o definiu como sendo um desenvolvimento “que atenda as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (WCED 1987 *apud* Kinlaw, 1997, p. 82).

O desenvolvimento sustentável é uma abordagem mais direcionada ao planejamento estratégico em nível nacional e mundial, entretanto, para se conseguir resultados concretos, é necessário adotar princípios de desenvolvimento sustentável nas atividades das empresas.

A adoção destes princípios nas atividades das empresas, além de auxiliar na concretização do desenvolvimento sustentável, auxilia na sua sobrevivência num ambiente de

alta competitividade, no qual as pressões ambientais sobre a empresa estão aumentando. O desenvolvimento de produtos é uma das atividades mais apropriadas para adoção destes princípios, pois é onde a empresa busca dar forma as necessidades e desejos dos clientes (Kinlaw 1997 e Tipnis 1993). A consideração ambiental no desenvolvimento de produtos possibilita a diferenciação ambiental dos produtos no mercado.

Nesta dissertação propõe-se uma metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente, na qual a demanda ambiental é considerada desde a definição do problema e as alterações na concepção e configuração do produto até o detalhamento e a documentação final de reprojeto. Esta metodologia auxilia os projetistas na consideração e atendimento das necessidades relacionadas ao meio ambiente num processo de melhoria de produtos, apresentando princípios e métodos de apoio à equipe de reprojeto nas suas atividades.

No presente capítulo apresentam-se os objetivos e limites, as hipóteses consideradas, as justificativas, a metodologia adotada na realização da pesquisa e, por fim, a estrutura deste documento.

1.2 Objetivos e contribuições

O objetivo principal da pesquisa é propor uma metodologia de reprojeto de produtos que auxilie na diminuição do impacto ambiental dos produtos através de alterações no projeto. Para tal, são considerados os seguintes objetivos específicos:

- Proporcionar meios para que se possa identificar e definir claramente as estratégias ambientais da empresa em relação aos seus produtos;
- Proporcionar meios para a tomada de decisão sobre a realização do reprojeto;
- Orientar a identificação do nível de reprojeto mais adequado a um produto, através da verificação das potencialidades de melhorias ambientais deste;
- Disponibilizar métodos que auxiliem nas atividades de alterações no conceito do produto; e
- Proporcionar meios de mensuração do ganho ambiental obtidos no reprojeto, em relação ao produto existente.

Desta forma, pretende-se contribuir com os seguintes aspectos:

- Disponibilizar um documento que contenha a metodologia de reprojeto, com orientações para a inclusão da demanda ambiental na melhoria de produtos;
- Disponibilizar métodos que possam ser usados no reprojeto para o meio ambiente de

produtos;

- Organizar e gerar conhecimentos sobre projeto para o meio ambiente; e
- Cooperar com as iniciativas de desenvolvimento sustentável.

A concretização desses objetivos e as contribuições pretendidas são condicionados à delimitação do escopo desta pesquisa.

1.3 Delimitação do escopo da pesquisa

Devido à natureza complexa do desenvolvimento completo de uma metodologia de reprojetado de produto, estabeleceu-se os seguintes limites para esta pesquisa:

- Apresentar a estrutura geral da metodologia, descrevendo caminhos gerais do processo de reprojetado com enfoque na consideração ambiental; e
- Desdobrar os elementos da metodologia referentes ao levantamento de informações e esclarecimento do problema de reprojetado e à alteração do conceito do produto.

1.4 Premissa e hipótese

Tendo em vista o tema deste trabalho e seus objetivos, apresenta-se neste item a premissa e hipótese que orientarão, em termos gerais, o desenvolvimento da metodologia de reprojetado para o meio ambiente.

1.4.1 Premissa

Todo produto, em maior ou menor grau, causa impacto ambiental durante o seu ciclo de vida.

Sob esta premissa considera-se o impacto ambiental como todo efeito sobre o meio ambiente que de alguma forma prejudique a saúde humana, os ecossistemas¹ ou os recursos naturais. Nesse sentido, a simples existência física de qualquer produto já representa pelo menos

¹ Conjunto dos relacionamentos mútuos entre determinado meio ambiente e a flora, a fauna e os microrganismos que nele habitam, e que incluem os fatores de equilíbrio geológico, atmosférico, meteorológico e biológico – Dicionário Aurélio Eletrônico – V.2.0.

o consumo de recursos naturais e a emissão de inúmeros elementos que prejudicam a saúde humana ou os ecossistemas. No entanto, o impacto ambiental de produtos não se restringe à extração de matéria prima ou às emissões na fase de produção; pode-se relacionar aos impactos ambientais os fluxos de matéria e energia em todo o ciclo de vida do produto, desde a distribuição, passando pelo uso, até o descarte.

1.4.2 Hipótese

O impacto ambiental do produto pode ser reduzido com o reprojeto do mesmo.

A redução do impacto ambiental não implica na eliminação deste, pois a simples existência física do produto já representa um certo nível de impacto ambiental. No entanto, pode-se reduzir esse impacto a níveis aceitáveis (determinados pela legislação ou pela gerência) através de alterações no produto, que podem ser:

- no conceito do produto, por exemplo, adotando-se princípios de solução menos poluentes;
- na configuração do produto, por exemplo, adotando-se configurações que facilitem desmontagem do produto para a reciclagem; e
- nos parâmetros das características físicas do produto, por exemplo, reduzindo o peso e volume.

Sob esta hipótese, pretende-se orientar o desenvolvimento da metodologia de reprojeto e, ao final, através do estudo de caso, avaliar a validade da mesma.

1.5 Justificativas

As justificativas desta pesquisa são apresentadas em dois itens: o primeiro apresenta a pressão da demanda ambiental sobre o setor produtivo e o segundo refere-se à importância do reprojeto de produto na atividade de desenvolvimento de produtos.

1.5.1 Pressão da demanda ambiental

Atualmente a preocupação ecológica perpassa todas as atividades humanas. Os governos estão adotando legislações ambientais mais rigorosas e os cidadãos estão começando a exigir produtos e processos ecologicamente corretos. Essas atitudes decorrem da conscientização

de que é necessário preservar o meio ambiente para permitir às futuras gerações condições de sobrevivência no planeta Terra.

No início da década de oitenta, a preocupação ambiental era dirigida aos acidentes ambientais de indústrias notoriamente poluentes. Isso fazia com que as restrições fossem consideradas apenas no final dos processos produtivos, tentando inibir o lançamento de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Essa postura garante a segurança de alguns ecossistemas locais.

O principal aspecto relacionado a essa postura foi a desconsideração da natureza como um sistema complexo, no qual todos os ecossistemas são interligados. O meio ambiente também pode ser prejudicado por outros tipos de impactos, que podem parecer de menor dimensão, como, por exemplo, a utilização de recursos naturais não-renováveis, o alto consumo de energia na fase de produção, a geração de resíduos na fase de uso, o descarte do produto no final do seu ciclo de vida, entre outros.

Essa visão integrada do meio ambiente e de sua relação com as empresas é recente e deve-se, em parte, pelas diversas pressões ambientais do mercado que as empresas têm enfrentado nas duas últimas décadas. Em Kinlaw (1997, pp. 41-80), apresenta-se um conjunto dessas pressões, que tem levado as empresas a adotarem uma postura diferenciada diante da questão ecológica. Pode-se agrupar estas pressões em quatro categorias:

Das legislações: Esta é uma das principais categorias, pois o funcionamento das empresas pode depender do seu atendimento. As seguintes pressões estão relacionadas a esta categoria:

- O rigor cada vez maior das leis e regulamentos ambientais;
- As multas por não-cumprimento da lei e os custos incorridos como resposta aos acidentes e desastres estão crescendo em frequência e número;
- Indivíduos estão sendo multados e ameaçados de prisão por violar leis ambientais;
- O aumento do número de leis sobre crimes ambientais, que têm sido aprovadas, regulamentadas e aplicadas; e
- O surgimento de leis que ampliam a responsabilidade ambiental da empresa pelos seus produtos para além da fase de produção.

A legislação ambiental brasileira dedica-se principalmente à regulamentação de processos produtivos e à utilização de substâncias tóxicas em produtos. Percebe-se um crescente interesse legislativo em criar instrumentos para tratar da relação do setor produtivo com o meio ambiente, haja vista o número de leis e projeto de leis sobre o meio ambiente, exemplificado a seguir:

- LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pela LEI Nº 7.804, de 18 de julho 1989, regulamentada pelo Decreto Nº 99.274, de 6 de junho de 1990, alterado pelo Decreto Nº 99.355, de 29 de junho de 1990, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação;
- LEI. 9.605, 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, na qual se destaca que a responsabilidade legal jurídica não exclui a responsabilidade das pessoas físicas;
- Os componentes de ciência e tecnologia na legislação do meio ambiente apresentados na Agenda 21 Brasileira (Brasil, 2000, pp. 209-211); e
- Conjunto de projetos de lei sobre resíduos sólidos no Congresso Nacional em julho de 2000², dentro dos quais existe um que estabelece a obrigatoriedade de recompra, pelas indústrias em geral, das embalagens não biodegradáveis que acondicionam seus produtos (PL 2007/96).

Este crescente número de leis ambientais envolvendo o setor produtivo levou a CNI introduzir na sua Agenda Legislativa da Indústria – 2000³ o item Meio Ambiente, na seção de Regulamentação da Economia.

Dos consumidores: Os consumidores estão, cada vez mais, cultivando uma consciência de preservação do meio ambiente. Pode-se relacionar as seguintes pressões nesta categoria:

- Aumento no número de organizações ambientais e de suas propostas reformadoras. O grande número de ONGs que se dedicam a causa ecológica é um bom indicador deste aumento. Em termos numéricos⁴ são 15 000 ONGs no mundo, 726 ONGs no Brasil em 1996, com 50 milhões de associados e orçamento total anual das três maiores ONGs (Greenpeace, FOE e WWF) de US \$ 400 milhões;
- Os cidadãos estão se informando através da mídia e de outras fontes e tem buscado uma série de canais pelos quais possam expressar seus desejos e opiniões ao mundo

² Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sqa/brasiljl/doc/rplsrscn.pdf>>. Acesso em: 25 out. 00.

³ Disponível em: <<http://www.cni.org.br/produtos/src/agleg00.pdf>>. Acesso em: 25 out. 00.

⁴ Estes dados foram obtidos da apresentação do senhor Frederico Cabral, representante da ABNT, no II Seminário Experiências em Rotulagem Ambiental. Este seminário foi promovido pela Secretária de Desenvolvimento Sustentável do Ministério do Meio Ambiente. Os documentos deste evento estão disponíveis em <<http://www.mma.gov.br/port/sds/eventos/rotulage/iisemi.html>>. Acesso em: 08 mar. 01.

empresarial;

- Associações de classe, associações de comércio e várias coalizões estão fazendo pronunciamentos e dando início a programas que possam influenciar o comportamento das empresas;
- Os acionistas estão mais atentos ao desempenho e à posição ambiental das empresas. O desempenho ambiental das empresas e o risco financeiro potencial⁵ de um desempenho deficiente ajudarão a determinar o quão suas ações serão atraentes aos investidores; e
- Os consumidores estão em busca de empresas e produtos “verdes”⁶ e estão se tornando informados o bastante para questionar as campanhas maciças de propaganda ambiental.

Na pesquisa realizada pelo CNI/IBOPE em maio de 1998⁷ sobre a percepção ambiental do consumidor brasileiro concluiu-se, entre outras coisas, que em cada quatro pessoas três estariam dispostas a pagar mais por um produto com um diferencial ambiental. Este resultado é reforçado por uma outra pesquisa promovida pela Fundação Procon⁸, ligada a Secretária da Justiça de São Paulo, que constatou que a população reconhece a necessidade de um consumo sustentável. Estas pesquisas apresentam uma tendência dos consumidores em adotar uma postura ambiental mais ativa através do seu poder de compra, apesar de que esta postura ainda não se reflita na prática diária⁹.

As empresas que desejam sobreviver no mercado devem ter cuidado especial com as pressões originadas nos clientes, pois o não atendimento de suas necessidades e exigências pode implicar em queda nas vendas de seus produtos.

Dos concorrentes: Os concorrentes, por sua vez, podem apresentar os certificados ambientais sobre os processos de produção e/ou rótulos ambientais dos produtos como um diferencial ecológico.

⁵ Esses riscos financeiros podem ser representados pelos altos valores das apólices de seguro ambiental.

⁶ A expressão “verdes” indica que procuram uma melhoria ambiental contínua.

⁷ Disponível em: <http://www.uol.com.br/ambienteglobal/site/consumidor_verde/consumidor_pesquisa1.htm>. Acesso em: 25 out. 00.

⁸ Disponível em: <http://www.uol.com.br/ambienteglobal/site/consumidor_verde/consumidor_pesquisa2.htm>. Acesso em: 25 out. 00.

⁹ Observação da senhora Vera Marta Junqueira, diretora da Fundação Procon de São Paulo. Disponível em: <<http://www.globo.com/noticias/arquivo/brasil/20000602/4kwe46.htm>>. Acesso em: 25 out. 00.

Esta pressão é mais perceptível quando se deseja exportar produtos para mercados com mais tradição em exigências ecológicas como a CE. A influência dos programas de certificação ambiental existentes na CE nas exportações brasileiras para este mercado apresenta-se, segundo Baena (2000, pp. 26-27), com os seguintes aspectos:

Potenciais reflexos positivos: melhora a competitividade dos produtos em relação aos concorrentes mais defasados no tratamento das questões ambientais, particularmente os asiáticos; promove o desenvolvimento de tecnologias próprias e a conseqüente comercialização de serviços ambientais; amplia o mercado para novos produtos desenvolvidos a partir do uso sustentável dos recursos naturais; possibilita a obtenção de preços diferenciados como compensação aos investimentos realizados; e promove a atração de investimentos em razão da melhor imagem do país no exterior; e

Potenciais reflexos negativos: dificulta a expansão das exportações das micro e pequenas empresas, incapazes de realizar os investimentos necessários para a mudança de seus processos produtivos; diminui a competitividade de exportadores que tenham de adaptar suas condições produtivas aos padrões ambientais de outros países; cristaliza a vocação do país em exportações de baixo valor agregado, sobretudo commodities e aumenta a dependência de tecnologia e serviços ambientais importados.

Outra atitude das empresas que demonstra o empenho em querer diferenciar-se em termos ambientais é a demanda por profissionais como advogado ambientalista, consultor ambiental, entre outras, (Rodrigues 2000).

Da normalização e acordos empresariais: Existe um número grande de normas que tratam sobre os impactos ecológicos de produtos. Na maioria dos casos, estas normas têm abrangências locais. Uma das principais normas internacionais que trata sobre a relação das empresas com o meio ambiente é a série ISO 14000.

A ABNT, filiada a ISO, tem disponível as seguintes normas da série ISO 14000:

- NBR ISO 14001/1996 – Sistemas de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso;
- NBR ISO 14004/1996 – Sistema de gestão ambiental – diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio;
- NBR ISO 14010/1996 – Diretrizes para a auditoria ambiental – princípios gerais;
- NBR ISO 14011/1996 – Diretrizes para a auditoria ambiental – procedimentos de auditoria; e
- NBR ISO 14012/1996 – Diretrizes para a auditoria ambiental – critérios de

qualificação de auditores ambientais.

Outro tipo de pressão desta categoria é o programa de rotulagem ambiental. O programa de rotulagem ambiental do Brasil está em processo de elaboração através de convênios entre o MMA e a ABNT. Para ajudar neste processo o MMA, através da Secretária de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável promoveu dois seminários internacionais sobre experiência em rotulagem ambiental.

Estes seminários tiveram como objetivo a divulgação de programas de rotulagem ambiental bem sucedidos em outros países e coletar subsídios fundamentais para um processo de discussão visando a implantação do Programa Brasileiro de Rotulagem Ambiental¹⁰.

Estas iniciativas também estão partindo de uma variedade de acordos entre organizações e fóruns internacionais, tais como WCED e a CERES.

Diante do exposto anteriormente, percebe-se que existe um conjunto de pressões que levam as empresas a desejarem estabelecer diferenciais ambientais em seus produtos e processos. Uma das principais formas de se conseguir este diferencial é oferecendo produtos “verdes”. Para tanto é necessário incluir a questão ambiental no desenvolvimento de produtos, suportando a equipe de projeto com instrumentos de desenvolvimento de produtos (metodologia, métodos, ferramentas, entre outros), que lhes auxiliem na identificação e atendimento dessa demanda em suas atividades.

No próximo item apresentam-se as justificativas relacionadas à condução de pesquisa sobre metodologia de reprojeto de produtos.

1.5.2 Importância do reprojeto de produtos

O desenvolvimento de produtos é uma das mais importantes atividades da empresa. Nesta fase a empresa procura dar forma às necessidades dos clientes através de seus produtos. Conseqüentemente, torna-se necessário que essa atividade seja repensada a partir da questão ambiental, para que se possa atender as pressões apresentadas no item 1.5.1, e se possível antecipá-las.

O desenvolvimento de produtos engloba os processos de projeto e de produção. O

¹⁰ Disponíveis em: <<http://www.mma.gov.br/port/sds/eventos/rotulage/corpo.html>>. Acesso em: 08 mar. 01.

primeiro é mais adequado para mudanças a um menor custo e com maior abrangências dos efeitos das decisões. Em Ullman (1992, p. 8), por exemplo, apresenta-se o custo do processo de projeto e sua influência no custo total de produção, conforme ilustrado na Figura 1-1.

Estes valores são baseados em dados da *Ford Motor Company*, correspondentes ao custo total de produção de um carro. Pode-se verificar que apenas 5% deste custo é devido ao projeto e que a sua influência chega a ser 70% do custo total, (Ullman, 1992, p. 8). Mesmo sendo dados de um setor industrial específico, pode-se extrapolar esse resultado para outros setores.

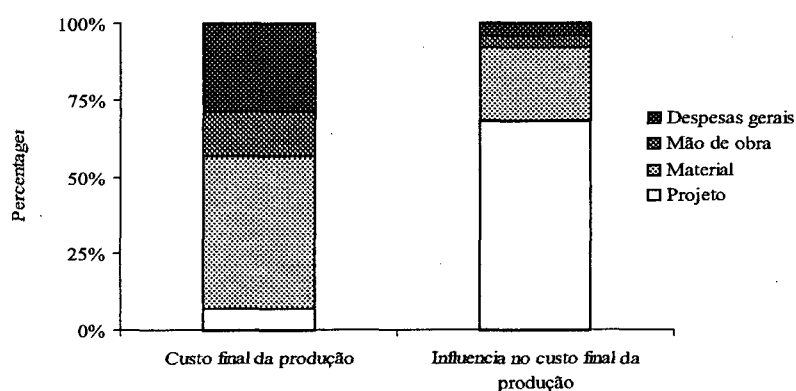


Figura 1-1 - Influência do projeto de produtos no custo final de produção.
Adaptado de Ullman (1992, p. 8).

Outro aspecto do projeto é a possibilidade de consideração da influência mútua de diferentes características do produto. Nas fases iniciais de projeto, por exemplo, trabalha-se com idéias, em geral, apresentadas de forma abstratas, o que possibilita maior liberdade para a resolução de conflitos. Vários exemplos de melhorias em diferentes características do produto, obtidas por decisões no projeto de produto, podem ser observadas em Ullman (1992, pp. 8-12) e Kinlaw (1997, pp. 1-6).

Um destes exemplos corresponde ao programa de reprojeto de embalagens da *Hewlett-Packard Company*. A empresa promoveu mudanças na embalagem de seus produtos, substituindo o material que era utilizado por outro com maior taxa de material reciclado e também substituiu a tinta que era utilizada para outra menos tóxica. Estas mudanças levaram a empresa estimar uma economia de 5 milhões de dólares por ano (*Business and the Environment*, 20 dez. 1991, p. 3 *apud* Kinlaw, 1997, pp. 2-3).

Pelo exposto anteriormente, o desenvolvimento de produto, em sua fase de projeto, apresenta-se como uma boa oportunidade de auferir melhorias significativas no desempenho ambiental do produto, sem negligenciar outras características de qualidade. Isso se deve ao

menor custo e maior liberdade para a resolução de conflitos nesta fase. Portanto as atividades do desenvolvimento de produto devem ser repensadas para que possam atender as demandas ambientais.

A “maioria das atividades do desenvolvimento de produto podem ser consideradas na forma de um processo de reprojeto”, (Dufour, 1996, p. 1). O reprojeto de produtos pode ser visto como um meio de execução das estratégias competitivas da empresa. Estas estratégias são expressas na forma de causas que levam as organizações adotarem o reprojeto de produtos, conforme apresentadas na Tabela 1-1.

A preocupação ambiental na Tabela 1-1 é referenciada somente nas causas legais, o que demonstra uma postura típica de estratégias reativas¹¹ frente às demandas ambientais. No entanto, pode-se observar que a demanda ambiental relaciona-se com as outras causas, que podem por em prática o processo de reprojeto.

Por exemplo, quando se reprojeta um produto visando à sustentabilidade potencializa-se uma melhor condição de reparo, o que proporciona um acréscimo no tempo do ciclo de vida do produto. Isso evita, em parte, que um novo produto seja construído, o que levaria a repetir todo o processo de retirada de matéria-prima a partir de recursos naturais e geração de resíduos durante a fase de produção.

No entanto, o ciclo de vida de alguns tipos de produtos está cada vez mais curto devido à contínua necessidade de lançamento de novos produtos no mercado. Neste caso, a característica de sustentabilidade do produto não teria tanta influência, mas a demanda ambiental ainda pode ser atendida através do reprojeto dos componentes ou sub-montagens, com a possibilidade de reuso destas em novos produtos e na adoção de princípios que favoreçam características de fácil reciclagem.

Por outro lado, a necessidade de produtos ambientalmente corretos não é somente legal, e sim da pressão de todas as forças do mercado. As empresas que desejam ser competitivas são levadas a adotarem uma postura pró-ativa¹² diante da demanda ecológica, que se dá através da adequação dos seus produtos as exigências ambientais, conforme apresentadas no item 1.5.1.

¹¹ A estratégia reativa caracteriza-se por uma postura passiva, na qual a empresa evolui somente de pressões externas (legislação, normalização, concorrentes e consumidores).

¹² A estratégia pró-ativa caracteriza-se por uma postura ativa, na qual a empresa procura antecipar-se as pressões externas.

Tabela 1-1 - Causas que conduzem à prática de reprojeção de produtos industriais. Adaptado de Dufour (1996, p. 16).

Causas	Fator	Definição
Causas técnicas	Aplicação inadequada de meios (recursos) durante o projeto	Idéias, habilidades e informações não utilizadas durante a fase de concepção do produto.
	Custos excessivos	Durante o projeto a viabilidade técnica foi provada e estava adequada; análises de custos posteriores revelam a presença de custos excessivos.
	Questionamento de especificações	As tolerâncias foram super-especificadas em função de julgar impróprias as especificações dos usuários.
	Avanços na tecnologia	Incorporação de novos materiais, componentes, técnicas ou processos que não foram devidamente avaliados durante o projeto.
	Avaliações de testes	Modificações de projetos baseados em avaliações de testes que indicaram parâmetros exagerados de especificações e até erros.
	Aplicação inadequada de processos de fabricação	Novos processos de fabricação que não são usados e que repercutem nos custos do produto acabado.
	Método inadequado de montagem	Durante o projeto não se considerou como deveria ser a montagem mais adequada.
	Problemas de manutenção	Durante o projeto não se considerou como deveria ser a manutenção.
	Deficiência do projeto	Performance inadequada, deficiência técnica, má qualidade, etc..
Causas de mercado	Introdução em novos nichos de mercado	Nichos de mercado não considerados durante o projeto ou novos mercados que aparecem por mudanças culturais, políticas, comerciais, sociais, etc..
	Perda de mercado	Porque a concorrência baixou os preços de seus produtos, porque existe uma queda constante de vendas do produto atual, ou porque o produto está saindo de moda para o mercado consumidor ou o produto concorrente é melhor.
	Mudanças nas necessidades do consumidor	Modificações ocorridas nas necessidades do consumidor com o decorrer do tempo, obsolescência.
Causas de segurança	Deficiência no manuseio do produto	Quando o produto possui alguma característica que pode ser perigosa para o usuário.
	Aplicação inadequada de materiais	Quando o produto contém substâncias ou materiais tóxicos.
	Deficiência do projeto no aspecto ergonômico	Quando o produto não contempla aspectos ergonômicos.
Causas Legais	Cumprimento de normas	Não foram consideradas ou surgem novas normas de produtos, para exportação, Segurança, etc..
	Motivos ecológicos	Porque o produto é agressivo ao meio ambiente
	Situações específicas regulamentadas	Se obriga a cumprir com especificações próprias de produtos infantis, deficientes físicos, etc..
	Surgimento de novas leis	No projeto inicial não se considerava a reciclagem, descarte, etc..

Uma metodologia de reprojeção de produto com enfoque ambiental deve ter o propósito

de viabilizar a adequação de um produto existente às exigências ambientais, através da proposição de princípios, métodos e orientações, que auxiliem na incorporação das necessidades ambientais no processo de melhoria do produto.

No próximo item, apresenta-se a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho de dissertação.

1.6 Metodologia de pesquisa

Este trabalho de dissertação está inserido no âmbito das produções científicas do NeDIP/UFSC, o qual possui uma linha de pesquisa de desenvolvimento de metodologias de projeto. Sendo assim, este trabalho de dissertação foi realizado segundo as orientações descritas a seguir:

1) Esclarecimento da tarefa, que se constitui de:

- Análise das propostas de metodologias de projeto e de reprojeto existentes;
- Estudo de o que já está sendo realizado no desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos; e
- Estudo das eco ferramentas mais adequadas ao reprojeto de produtos.

2) Desenvolvimento da metodologia de reprojeto de produto com enfoque ambiental:

- Estudos das diretrizes gerais para o desenvolvimento de metodologia de projeto;
- Definição das fases e etapas do processo de reprojeto, indicando o objetivo de cada uma, e as ferramentas relacionadas;
- Configuração da metodologia, detalhando entradas e saídas de cada fase e etapa; e
- Detalhamento da utilização das ferramentas de apoio às atividades dos projetistas.

3) Estudo de Caso:

- Pesquisa do produto para a aplicação da metodologia;
- Aplicação da metodologia proposta; e
- Análise dos resultados e das dificuldades no reprojeto do produto observados na aplicação da metodologia.

A partir destas orientações, elaborou-se esta dissertação de mestrado, cuja estrutura está apresentado no próximo item.

1.7 Estrutura do texto

Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo tem por finalidade localizar o tema da pesquisa apresentando suas generalidades, os objetivos e as contribuições pretendidas, a hipótese considerada e as justificativas para a realização do trabalho. Também apresenta-se a metodologia de trabalho e a estrutura desta dissertação.

Capítulo 2 – Estado da arte

Este capítulo detém-se em uma análise do estado da arte relacionada a metodologia de reprojeto para meio ambiente. Apresenta-se e compara-se propostas de metodologias de reprojeto, e mais especificamente abordagens sistemáticas de reprojeto para o meio ambiente.

Capítulo 3 – Fundamentos para o desenvolvimento da metodologia

Neste capítulo apresenta-se um conjunto de fundamentos e definições sobre metodologia de projeto, reprojeto de produto e projeto para o meio ambiente. Este capítulo, bem como o anterior, serve de base à proposição da metodologia de reprojeto para o meio ambiente.

Capítulo 4 – Metodologia de reprojeto para o meio ambiente - RePMA

Este capítulo é o cerne da pesquisa, nele apresenta-se a metodologia proposta para o reprojeto de produto para o meio ambiente. Destacando-se a estrutura e as ferramentas que compõem a metodologia.

Capítulo 5 – Estudo de caso: reprojeto de uma cafeteira elétrica

Este capítulo corresponde a aplicação das orientações e métodos da RePMA através de um estudo de caso do reprojeto de uma cafeteira elétrica.

Capítulo 6 – Conclusões e recomendações

Neste capítulo apresenta-se as conclusões do trabalho de desenvolvimento da metodologia, como também da aplicação desta no estudo de caso. Recomendações são feitas para trabalhos futuros no campo de desenvolvimento de produtos voltado ao meio ambiente.

Capítulo 2

ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar o estado da arte relativo ao reprojeto de produto para o meio ambiente. Inicialmente é feito um estudo de trabalhos relacionados à metodologia de reprojeto de produtos. Ulteriormente, faz-se um estudo sobre abordagens que tratam da inclusão da questão ambiental no setor produtivo da sociedade, dando destaque ao projeto para o meio ambiente. Apresenta-se, também, a análise de duas abordagens que tratam especificamente sobre reprojeto para o meio ambiente.

Ao final estabelece-se um conjunto de considerações sobre as propostas existentes, visando obter subsídios para o desenvolvimento da metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente, conforme os objetivos do presente trabalho.

2.2 Metodologias de reprojeto de produtos

O reprojeto de produtos, em linhas gerais, consiste no processo de melhoramento de um produto já desenvolvido pela empresa. Essa atividade tem uma natureza complexa, pois abrange diversas atividades, desde o levantamento das informações do produto existente, identificação de oportunidades de melhorias, até a proposição de mudanças que podem compreender os aspectos funcionais, os princípios de solução, até a configuração e detalhes do produto alvo.

As melhorias do produto numa atividade de reprojeto podem ser relacionadas à inclusão de diferentes características da qualidade, tais como desenvolvimento rápido, custos baixos, facilidade para fabricar e montar, confiável e com baixo impacto ambiental, sem negligenciar a funcionalidade.

O atendimento destas exigências necessita de grande quantidade de informações oriundas de diversas disciplinas, tais como economia, processos de fabricação, montagem e

ecologia. Essas informações deverão ser consideradas pela equipe de projeto durante todo o processo de reprojeto. A grande quantidade e multidisciplinalidade das informações envolvidas é uma das principais justificativas para a sistematização do processo de reprojeto, que se dá principalmente pela adoção de metodologias apropriadas.

Na bibliografia existente, encontram-se bons estudos sobre as metodologias de projeto. Algumas das principais contribuições são mencionadas em trabalhos, conforme a seguir:

- As proposições de classificação das correntes filosóficas em escolas (semântica, sintática e experiências passadas) e em modelos (prescritivo, descritivo e computacional) de metodologias de projeto, (Yoshikawa, 1989 e Evbuomwan *et al*, 1996); e
- Esclarecimento do processo de projeto, tendo como base a análise de diferentes propostas de metodologia de projeto, (Finkelstein e Finkelstein, 1983) e (Ogliari, 1999, pp. 21-28).

Nestes trabalhos encontra-se pouca referência sobre o processo de reprojeto, considerando-o como um dos problemas de projeto (Evbuomwan *et al*, 1996, p. 303), mas sem apresentar meios que considerem suas especificidades, uma vez que a maioria dos autores tratam sobre o projeto de produtos novos para a empresa¹³.

A seguir apresenta-se uma análise de propostas de metodologias de reprojeto de produtos com o objetivo de identificar as principais características do processo de reprojeto e o tratamento do impacto ambiental dos produtos. Esta análise consiste em apresentar as propostas e compará-las entre si, segundo um modelo de consenso para o projeto sistemático de produto (Ogliari, 1999, p. 26)¹⁴ e sobre a inclusão da demanda ambiental no reprojeto de produtos.

2.2.1 Abordagens para o reprojeto de produtos

Em Dufour (1996), tem-se um estudo do processo de reprojeto de produtos industriais, assim como das ferramentas que podem ser utilizadas pelas indústrias como suporte às

¹³ Produtos novos para a empresa são aqueles que a empresa desenvolve pela primeira vez, podendo já haver similares no mercado, ou não. O desenvolvimento destes produtos pode ser pela utilização de uma nova tecnologia ou pela integração de sistemas existentes (Dufour, 1996, p. 11).

¹⁴ Este modelo deriva da análise de modelos prescritivos de metodologias de projeto. Neste modelo, compreende-se o processo de projeto segundo quatro fases principais: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Este modelo corresponde à linha de desenvolvimento de metodologia no NeDIP/UFSC.

estratégias de manutenção da competitividade de seus produtos no mercado.

O autor define o processo de reprojeção de um produto industrial como “a criação de melhorias em um sistema físico destinado a atender às necessidades do cliente, qualquer que seja ele” (Dufour, 1996, p. 11). Essa definição pode ser generalizada para a questão ambiental, considerando-se os clientes como todos aqueles envolvidos nas categorias de pressões descritas no item 1.5.1.

A sistematização proposta por este autor consiste numa seqüência de fases, desde o levantamento das informações sobre o produto existente até a configuração final do produto modificado, como indicado na Tabela 2-1. Em cada fase são prescritas atividades e recomendações para orientar e auxiliar o projetista.

Uma outra abordagem é o reprojeção baseado na engenharia reversa, ilustrada na Figura 2-1, (Otto e Wood, 1998). A metodologia de reprojeção proposta por estes autores é dividida em três fases principais: engenharia reversa¹⁵, análise e modelagem e reprojeção.

A fase de **engenharia reversa** é composta por dois conjuntos de atividades. O primeiro consiste em tratar o produto como uma “caixa-preta”, fazer experimentos com os parâmetros de operação, estudar o atendimento das necessidades dos clientes, prever e/ou fazer hipóteses sobre a funcionalidade do produto, verificar os componentes do produto e seus princípios físicos. O segundo grupo de atividades corresponde aos experimentos da funcionalidade e forma do produto atual, incluindo a completa desmontagem, análise do projeto para manufatura, análise funcional completa, e a geração das especificações de reprojeção.

Na fase de **análise e modelagem** prevê-se o desenvolvimento e a execução de modelos, emprego de estratégias de análise, calibração de modelos e experimentos. É nesta fase que os autores situam a questão ambiental no reprojeção, com o objetivo de identificar oportunidades de melhorias ambientais, a partir da modelagem e simulação ambiental do mesmo.

Na fase de **reprojeção**, os autores prescrevem a possibilidade de três níveis de reprojeção do produto: paramétrico, adaptativo e original. A escolha do nível de reprojeção depende dos resultados encontrados nas fases anteriores, contudo não se apresentam elementos de suporte a esta tomada de decisão.

A linha tracejada na Figura 2-1, indica que em alguns casos é melhor realizar uma

¹⁵ Engenharia reversa é uma técnica de desenvolvimento de produtos que parte do reconhecimento das características de um produto existente, através da desmontagem, teste e avaliação. O objetivo é identificar as propriedades do produto além do que está documentado.

mudança prévia para um melhor entendimento do problema antes da modelagem e simulação. Por exemplo, a equipe de reprojeto pode não compreender os parâmetros envolvidos num determinado princípio físico, utilizado no produto existente e para um melhor entendimento modifica-se o princípio físico para se obter as informações necessárias para o seu entendimento.

Tabela 2-1 – Metodologia de reprojeto de produto. Adaptada de Dufour (1996, pp. 31-37).

Fases	Atividades/recomendações
Base de conhecimento	Recompilação das informações referentes à concepção inicial do produto. Recomenda-se ordenar as informações cronologicamente e criar catálogos dos pontos fortes e fracos do produto.
Elaboração da nova lista de requisitos	Elaborar a nova lista de requisitos e o estabelecimento das especificações de reprojeto, a partir da base de conhecimento formulada. Utilizar lista de perguntas sobre o produto, análise do ambiente do produto, análise das fases do ciclo de vida do produto e QFD.
Abstração da estrutura funcional	Estabelecer a nova estrutura funcional do produto, ou seja, formular o problema da maneira mais abstrata possível, para possibilitar a criação de estruturas funcionais variantes. Pode-se utilizar o inverso da síntese funcional.
Reprojeto conceitual	Procurar soluções para as estruturas funcionais variantes. É recomendado fazer uso dos métodos que são mais apropriados para a geração de soluções de melhoria, adaptações, etc., tais como: Matriz morfológica e Análise do valor.
Reprojeto preliminar	Estabelecer qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção para o reprojeto, mediante um estudo de ordem de grandeza, para determinar quais delas são superiores às outras. Realizar as configurações básicas das variantes. Selecionar a melhor solução através da comparação com as outras opções e com o produto existente.
Reprojeto detalhado	Determinar a forma definitiva, dimensões, materiais, acabamentos, processos de fabricação, montagem, transporte, etc. Aplicação de ferramentas que ajudam a melhorar o desempenho do produto no atendimento às necessidades, sejam estas novas ou não, tais como: DFM (projeto para manufatura), DFA (projeto para montagem), PPMA (projeto para o meio ambiente), FMEA (análise do modo e efeito de falha), entre outras.

Encontrou-se outras abordagens para o reprojeto de produtos, que não se apresentam tão estruturadas como as apresentadas anteriormente, mas apresentam importantes contribuições, tais como:

- Abordagem funcional para o reprojeto. Esta proposta procura auxiliar o projetista na identificação de variantes de concepções, partindo-se da: Análise funcional e estrutural de um produto existente, representação funcional do produto usando grafos conceituais e questionamento de projeto baseado na abordagem de árvore funcional, (Hashim *et al*, 1994, p. 127). Segundo esta proposta o reprojeto situa-se no projeto conceitual, tendo como objetivo a geração de variantes ou a melhoria dos conceitos gerados, conforme a Figura 2-2; e

- Abordagem de adaptação de soluções existentes. Nesta proposta considera-se o reprojeto como a seleção e adaptação de soluções existentes para gerar novos produtos. Esta abordagem apresenta-se como um modelo descritivo do reprojeto de produto, representado por um algoritmo que descreve as atividades dos projetistas na seleção e adaptação de soluções existentes, (Dixon e Colton, 1998).

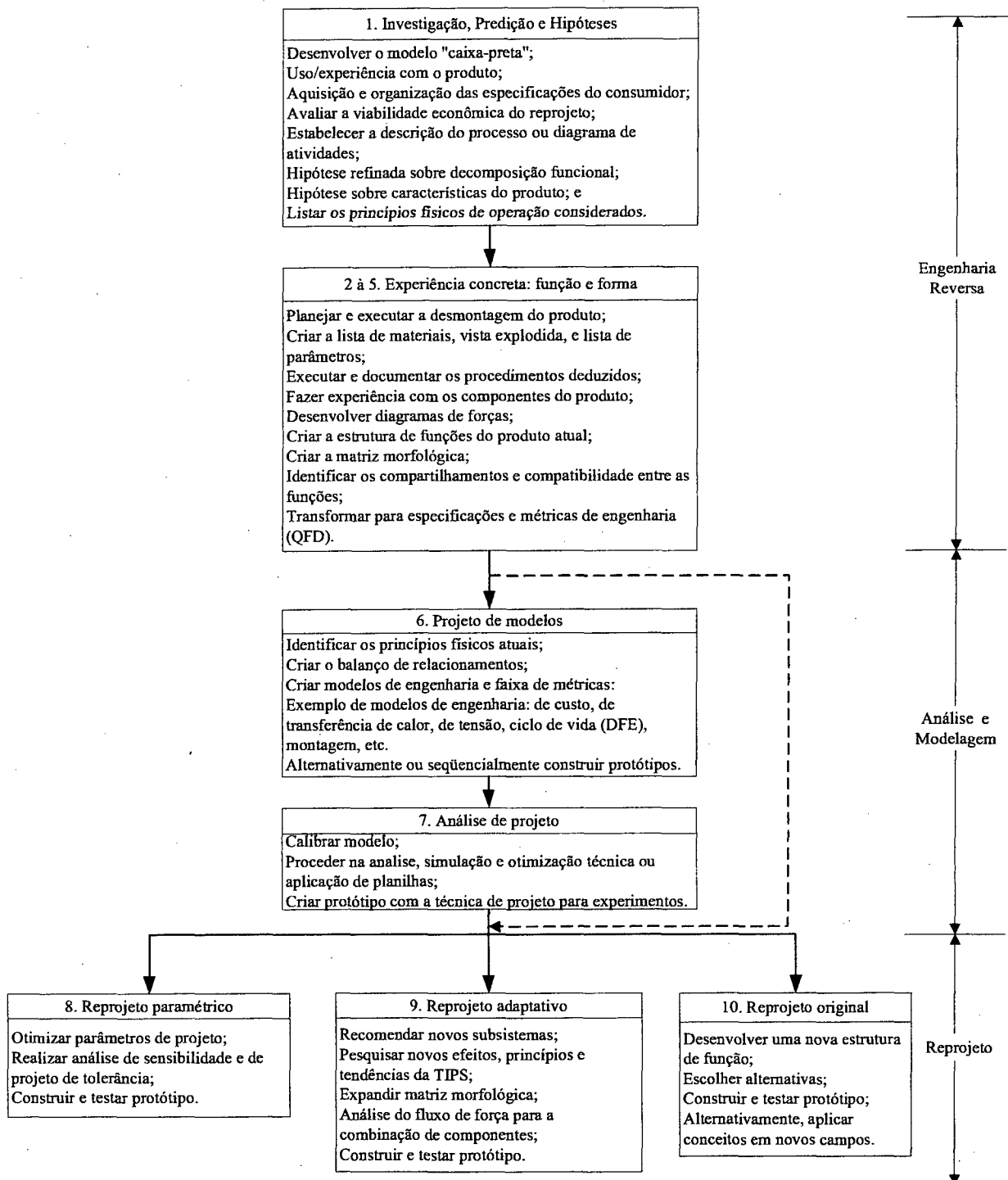


Figura 2-1 – Metodologia de reprojeto com base na engenharia reversa (Otto e Wood, 1998).

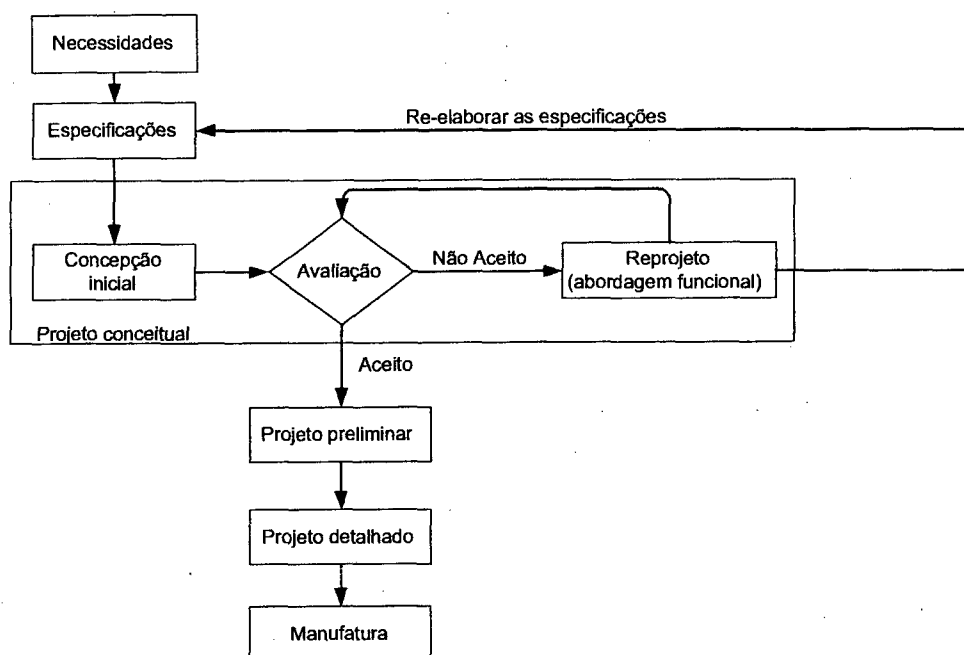


Figura 2-2 – O reprojeito no processo de projeto (Hashim *et al*, 1994, p. 128).

2.2.2 Comparação entre as abordagens para o reprojeito de produtos

A primeira comparação é realizada tendo como base a sistematização do processo de reprojeito na forma do modelo de consenso de metodologias prescritivas. Esta comparação é apresentada na Tabela 2-2.

A segunda comparação é realizada verificando de que forma a demanda ambiental é considerada nas propostas apresentadas. Esta comparação é apresentada na Tabela 2-3.

Em termos gerais, pode-se verificar destes trabalhos que as metodologias de reprojeito apresentam uma maior preocupação com o levantamento das informações do produto existente do que as de projeto de produtos novos. É uma preocupação justificável, pois, em parte, o que difere um reprojeito de um projeto é a existência prévia do produto.

Um outro ponto a destacar, é que todos estes autores concordam que as metodologias de projeto de produtos novos não atendem completamente as especificidades das atividades inerentes ao reprojeito de produtos. Este não atendimento é mais evidente nas fases iniciais, quando se deve esclarecer o problema de reprojeito.

Além disso, em relação à consideração ambiental no reprojeito de produtos, as propostas não indicam meios concretos para a redução do impacto ambiental do produto, fornecendo apenas indicações em que fases do processo de reprojeito esta consideração deve ocorrer. A falta de esclarecimento e detalhamento de como prover uma melhoria ambiental ao produto deve-se

ao fato de que estas abordagens são direcionadas para um reprojeto geral do produto.

No próximo item serão apresentadas iniciativas de tratamento da questão ambiental no setor produtivo, detendo-se naquelas que procuram atender as necessidades ambientais na atividade de reprojeto de produtos.

Tabela 2-2 – Comparação entre as abordagens para o reprojeto de produtos segundo a apresentação sistemática do processo de reprojeto.

Autores	Classificação ¹⁶	Apresentação sistemática do processo de reprojeto
Dufour	Prescritivo	<p>Esta proposta apresenta-se dentro do modelo de consenso entre as metodologias de natureza prescritiva, considerando que o projeto informacional compreende as fases de elaboração da base de conhecimento e da nova lista de requisitos. Considerando, também, que o projeto conceitual compreende as fases de abstração da estrutura funcional e o reprojeto conceitual.</p> <p>Além disto, o autor indica elementos de suporte às atividades da equipe de reprojeto, apesar de não indicar claramente a conexão entre estes elementos, que poderia ser feita apresentando a evolução das informações no processo de reprojeto.</p>
Otto e Wood	Prescritivo	<p>Esta proposta dedica-se principalmente à fase de projeto informacional, uma vez que as fases mais detalhadas pelos autores, as de 1 a 7, Figura 2-1, correspondem ao levantamento e organização de informações do produto a ser reprojetoado.</p> <p>Isso se deve ao destaque dado pelos autores na utilização da engenharia reversa como suporte ao reprojeto, por outro lado as etapas, que correspondem ao reprojeto propriamente dito, não são tão detalhadas como as anteriores.</p> <p>Uma contribuição importante desta proposta é considerar diferentes níveis de reprojeto. Entretanto não apresenta elementos de suporte a tomada de decisão sobre o nível de reprojeto mais adequado.</p>
Hashim <i>et al</i>	Prescritivo	<p>Esta abordagem apresenta-se como um elemento do projeto conceitual, ou seja, pode ser considerada como um método para orientar a elaboração de variantes de concepção, partindo de um reprojeto em termos funcionais.</p> <p>Uma contribuição importante é considerar e orientar o reprojeto partindo da descrição estrutural e funcional do produto.</p>
Dixon e Coulton	Descritivo	<p>Esta proposta é a que se apresenta mais distante do modelo de comparação utilizado, pois se configura como uma abordagem de natureza descritiva.</p> <p>Contudo tem uma contribuição importante, enquanto apresenta o reprojeto como a adaptação de soluções existentes para configurar um novo produto.</p>

¹⁶ Esta classificação é baseada em Evbuomwan *et al* (1996).

Tabela 2-3 – Comparação das abordagens para o reprojeto de produtos em relação à questão ambiental.

Autores	Comentários
Dufour	Conforme se observa na Tabela 2-1, o autor propõe que as considerações ambientais sejam tratadas na etapa de reprojeto detalhado, “onde os componentes são especificados, as capacidades são determinadas, as dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, as partes são detalhadas, as tolerâncias são estabelecidas, etc.”, (Dufour, 1996, p. 35). Esta abordagem limita o alcance das melhorias ambientais, pois as decisões nesta fase resultam em pequenas alterações, uma vez que o campo de modificações disponível para o projetista é limitado, pois a concepção e a configuração do produto foram estabelecidas nas fases anteriores.
Otto e Wood	Esta proposta não apresenta meios concretos de auxílio aos projetistas no atendimento das necessidades ambientais, mas tem uma contribuição importante quando apresenta o PPMA antes do reprojeto propriamente dito, servindo como um apoio à identificação de oportunidades de melhoria do mesmo.
Hashim <i>et al</i>	Não apresenta a inclusão da demanda ambiental na sua proposta.
Dixon e Coulton	Não apresenta a inclusão da demanda ambiental na sua proposta.

2.3 Questão ambiental no setor produtivo da sociedade

No Capítulo 1 destacou-se o aumento da consciência de que é necessário adotar um uso mais racional dos recursos naturais, para que se possa garantir a sobrevivência desta geração e das futuras. Esta questão atinge de maneira particular o setor produtivo da sociedade, uma vez que é o gerador da maioria dos bens e serviços, que atendem as necessidades da sociedade. Para tanto, torna-se o maior consumidor dos recursos naturais e o maior gerador de agressões ao meio ambiente.

Diante do quadro descrito pelas pressões ambientais do mercado, apresentadas no item 1.5.1, as empresas deverão cada vez mais se posicionar estrategicamente frente às demandas ambientais. A definição de estratégias ambientais auxiliará na inclusão das demandas ambientais nas atividades das empresas.

Esta inclusão não se dá de maneira simples e direta, pois a questão ambiental é inerentemente complexa e sistêmica, ainda mais se considerarmos que o setor produtivo tem outros objetivos que também devem ser alcançados (qualidade, tempo de desenvolvimento, custo baixo, atendimento da legislação e normalização técnica, concorrência, entre outros). Desta forma, empresas e academia têm procurado estabelecer e adotar abordagens de metodologias, métodos e ferramentas de desenvolvimento de produto, que auxiliem na incorporação destes princípios.

Estas abordagens podem ser classificadas segundo critérios de abrangências temporal e

organizacional. Estes critérios delimitam os campos ou domínios da inclusão da questão ambiental. Pode-se observar quatro classes principais, como indicado na Figura 2-3.

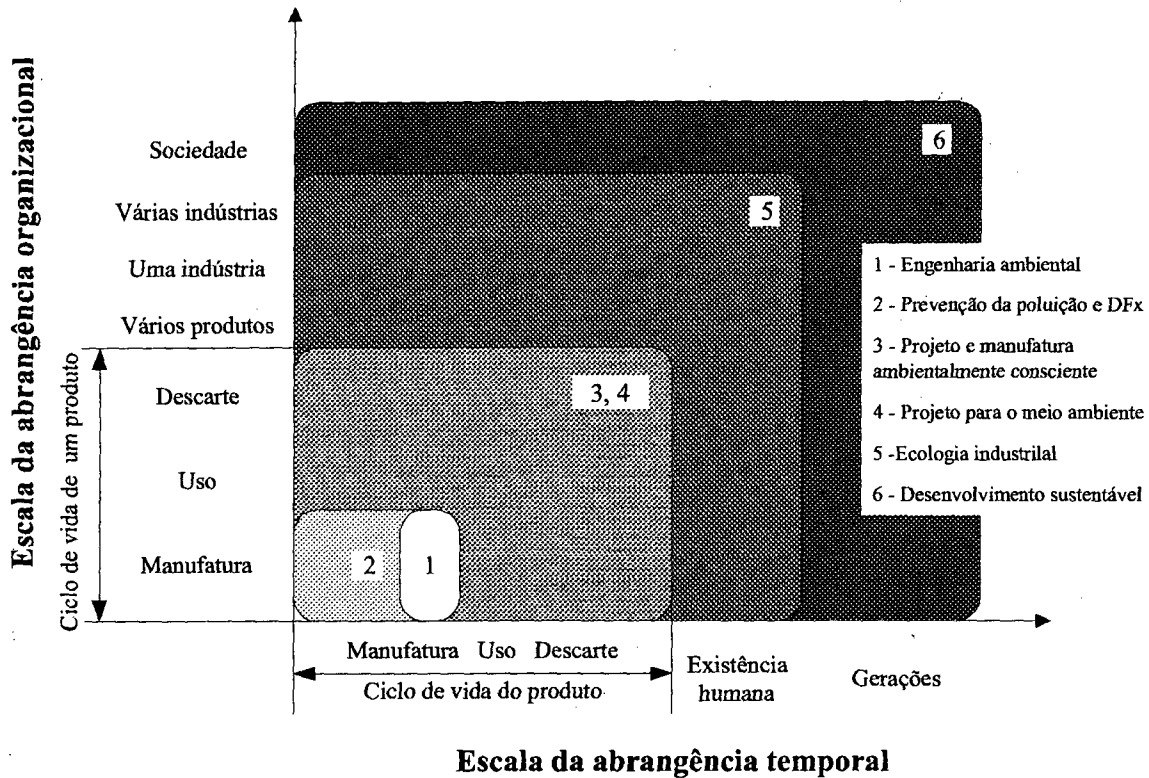


Figura 2-3 – Classificação das abordagens de inclusão da questão ambiental no setor produtivo. Adaptado de Bras (1997).

a) Abordagens que tratam de fases específicas do ciclo de vida de um produto

Essas abordagens, campos 1 e 2 da Figura 2-3, possuem três enfoques: a engenharia ambiental, que procura tratar o impacto ambiental depois que a agressão já foi gerada, a prevenção da poluição e aplicação de especialidades de projeto, que procuram prever e antecipar ações que melhorem características ambientais específicas.

Engenharia ambiental – São aquelas que tratam do problema ecológico no final dos processos de produção. Pode ser comparada com a visão antiga de controle de qualidade, onde este era realizado somente no final da linha de produção. Compreende, principalmente, o manejo de efluentes e resíduos produzidos pela indústria. Estas iniciativas têm importância fundamental nas indústrias de processos contínuos: petroquímica, papel-celulose, siderurgia, entre outras. Também, incluem-se neste grupo as iniciativas das empresas de processos discretos que

procuram reduzir o impacto ambiental causado pelos fluídos de corte dos processos de usinagens¹⁷.

Estas foram as primeiras abordagens industriais relacionadas à questão ambiental, e também o foco das primeiras legislações ambientais relacionadas ao setor produtivo.

Prevenção da poluição – Neste grupo encontram-se as iniciativas que procuram antecipar o surgimento de emissões de poluentes no ar, na água e no solo. Estas abordagens são direcionadas principalmente para os processos de fabricação, mas também influenciam no produto, quando tratam da substituição de materiais de características poluentes, por outros mais amigáveis ao meio ambiente.

Estas constituem a segunda geração de propostas de proteção ambiental no setor produtivo e, geralmente, são determinadas por legislações ou por normas e acordos, como foi o caso da substituição dos CFC's (cloro flúor carbonos), que auxiliam na destruição da camada de ozônio, por outras substâncias com menor impacto ambiental.

Especialidades de projeto relacionadas ao meio ambiente – São conhecidas como DFX's (*Design for anything* – projetar para algo). Estas abordagens são direcionadas principalmente aos produtos, propondo que no projeto destes sejam consideradas questões de determinadas fases do ciclo de vida ou de características ambientais específicas. Nesta classe estão as propostas de projeto para reciclagem, projeto para desmontagem, projeto para re-uso de material e componentes, projeto para re-manufatura, projeto para uma maior eficiência energética, entre outras.

Estas últimas abordagens podem proporcionar bons resultados pois antecipam a consideração de características ambientais dos produtos na fase de projeto. No entanto, quando se considera um só aspecto ambiental, pode-se estar transferindo o problema, em vez de solucioná-lo.

Por exemplo, se for considerada apenas a característica de boa reciclagem, o uso de termoplástico no lugar de termofixo seria uma boa decisão de projeto. Entretanto, para compensar a característica de resistência mais baixa do termoplástico, a quantidade de material poderia ser aumentada, o que provocaria um aumento na carga de trabalho na produção e na reciclagem. Isto geraria um maior consumo de energia e de material, que poderia ser mais prejudicial ao meio ambiente.

¹⁷ O LMP do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina tem a linha de pesquisa no Desenvolvimento da Usinagem Ecológica – DUECO.

Desta forma, há a necessidade de abordagens holísticas, que considerem os diferentes aspectos ambientais nas diversas fases do ciclo de vida.

b) Abordagens que tratam sobre o ciclo de vida completo de um produto

Essas abordagens, campos 3 e 4 da Figura 2-3, procuram proporcionar uma melhoria no aspecto ambiental do produto durante todo o ciclo de vida. Devido a esta visão holística da relação do produto com o meio ambiente, no início do desenvolvimento do produto, estas abordagens podem prestar melhor qualidade ambiental aos produtos do que as classes anteriores.

É nesta classe que se encontram as propostas de *Environmentally Conscious Design and Manufacturing* – Projeto e manufatura ambientalmente consciente (Baca, 1993 e Owen, 1993 *apud* Bras, 1997) e o projeto para o meio ambiente (PPMA).

O enfoque do presente trabalho de dissertação localiza-se nesta classe, mais especificamente como uma proposta de PPMA direcionada a auxiliar os projetistas no reprojeto de produto.

c) Abordagens que são aplicadas além do ciclo de vida de um produto

Essas abordagens, campo 5 da Figura 2-3, tratam sobre a ecologia industrial, na qual a questão ecológica é parte integral de todas decisões estratégicas. Os principais meios adotados são a análise da interação ecológica entre os ciclos de vida de diferentes produtos da empresa e a consequência ecológica da relação desta com outras componentes do setor produtivo (fornecedores, concorrentes, parceiras, etc.).

d) Abordagens relacionadas às políticas de desenvolvimentos transnacionais

Essas abordagens, campo 6 da Figura 2-3, são as mais amplas. Tratam do desenvolvimento sustentável, que propõe um conjunto de ações, acordos e propostas para o desenvolvimento das nações que compõe a geração atual, sem comprometer as gerações futuras.

Mesmo com a grande variedade e quantidade de propostas que procuram tornar o setor produtivo ambientalmente amigável, estas ainda não estão sendo bem aproveitadas. Em (Ishii, 1998) encontra-se um levantamento das iniciativas ligadas aos campos 3 e 4, da Figura 2-3, no EUA, afirmando que o setor produtivo deste país está muito lento na aplicação destas abordagens em relação à Europa e o Japão.

Por sua vez, as iniciativas ecológicas no setor produtivo do Brasil estão relacionadas em grande parte ao campo 1, da Figura 2-3, a menos de algumas indústrias que procuram atingir mercados em outros países, pois sofrem exigências ecológicas mais rigorosas. Mesmo assim, as iniciativas da inclusão da demanda ambiental no setor produtivo do Brasil como elemento de diferenciação das estratégias de produção ainda são muito recentes.

As iniciativas deste tipo, geralmente, estão relacionadas aos campos 3 e 4, nos centros de tecnologias limpas¹⁸. Exemplos destas experiências são a Produção Limpa, promovida pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini¹⁹ ligada a USP (Universidade Estadual de São Paulo) e o TECLIM²⁰ (Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos) ligado a Escola Politécnica da UFBA (Universidade Federal da Bahia).

Como a metodologia proposta está relacionada ao PPMA, no item 2.4 será apresentado uma revisão de propostas desta abordagem, com enfoque nas que tratam especificamente sobre reprojeto.

2.4 Projeto para o meio ambiente - PPMA

O termo PPMA, neste trabalho, compreende as abordagens de projeto que procuram auxiliar os projetistas na concepção de produtos com boas características ambientais, através da consideração da relação de cada fase do ciclo de vida destes com o meio ambiente.

Na pesquisa realizada defrontou-se com diferentes termos que podem ser considerados como abordagens de PPMA. Entres eles pode-se citar:

- Projeto para sustentabilidade, (Tipnis, 1993), apesar de que o termo sustentabilidade é mais apropriado para iniciativas relacionadas à políticas transnacionais, conforme a classificação apresentada no sub-item d) do item 2.3;
- *Life-cycle Design* – Projeto para o ciclo de vida, (EPA, 1993 apud Bras, 1997); e
- outros termos como *ecodesign* e *environmental product design* – projeto ambiental de produto.

Existem também definições que ampliam o termo PPMA para além do projeto de produtos, como por exemplo o programa DFE²¹ da EPA e a abordagem apresentada em Kinlaw (1997), que propõem o DFE como uma ferramenta gerencial de apoio ao sistema de gerenciamento ambiental.

¹⁸ Experiências desenvolvidas por empresas, órgãos patronais, governo, universidades. Algumas fazem parte de um relatório preparado pelo PNUMA TIE - Setor de Tecnologia, Indústria e Economia do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Um resumo destas experiências está disponível em: <<http://www.meioambiente.com.br/limpa2.htm>>. Acesso em 30 out. 00.

¹⁹ Informações sobre o produção limpa na Fundação Vanzolini está disponível em: <<http://www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producaolimpa/index.html>>. Acesso em 30 out. 00.

²⁰ Informações sobre o TECLIM estão disponíveis em: <<http://www.teclim.ufba.br>>. Acesso em 30 out. 00.

²¹ A utilização da sigla DFE (*design for the environment*) neste item pretende manter a fidelidade com as propostas da EPA e de Kinlaw (1997) que são de origem estadunidenses.

Na pesquisa realizada procurou-se analisar abordagens que apresentassem o PPMA integrado ao processo de reprojeto de produtos, principalmente, aquelas apresentadas de forma sistemática. Com esta delimitação encontrou-se duas propostas: o EcoReDesign (Gertsakis *et al*, 1997a, 1997b) e o *Systematic Product Evolution* – Evolução Sistemática de Produtos (Coulter e Bras, 1997), que são apresentadas nos itens 2.4.1 e 2.4.2, respectivamente.

2.4.1 EcoReDesign

O EcoReDesign é um programa fundado em 1993 pelo governo australiano, através do Centro de Projeto no RMIT com parceria de empresas situadas na Austrália. Até 1996, seis produtos passaram pelo programa e demonstraram redução no impacto ambiental, além da melhoria nas vendas e nos lucros das empresas, (Gertsakis *et al*, 1997a, 1997b).

O EcoReDesign procura prover uma sistemática para identificar a estratégia apropriada de melhoria ambiental para um determinado produto, bem como melhorias em outras características do produto que influenciam em seu sucesso no mercado. O EcoReDesign consiste de três fases, (Gertsakis *et al*, 1997b):

Fase 1 – A seleção e análise geral do produto: A seleção do produto é feita a partir da consideração das pressões do mercado e de uma análise geral da experiência com o produto. As informações relevantes para o reprojeto são registradas em forma de relatório e servem de base para as próximas fases.

Este relatório deve conter informações sobre o mercado, produtos concorrentes, capacidade e recursos da empresa, pressões ou oportunidades para mudança do produto e um amplo conjunto de informações sobre o produto (funções, componentes, processos de fabricação, árvore de processo, cultura de uso pelo cliente final, entre outras).

Fase 2 – Análise do impacto ambiental do produto e definição de direções de reprojeto: Nesta fase é realizado um estudo específico sobre as características ambientais do produto, para determinar quais estratégias de desenvolvimento ambiental de produto²² são mais apropriadas.

Para tanto, é proposta a utilização do método de ACV (Análise do Ciclo de Vida) simplificada do produto. Neste método são consideradas todas as entradas e saídas de cada fase

²² Estratégias de desenvolvimento ambiental de produtos é a denominação utilizada por este programa às especialidades de projetos conhecidas como DFx's. Um conjunto destas é descrito em Gertsakis *et al* (1997b).

do ciclo de vida do produto em relação ao meio ambiente. Este método proporciona à equipe de projeto a possibilidade de determinar as características mais críticas que necessitam de reprojeto.

O EcoReDesign propõe que se faça uma exposição dos resultados encontrados na ACV para um grupo de especialistas de diferentes áreas: processo de produção, materiais, marketing, meio ambiente, gerência e projeto. O objetivo desta exposição é completar a análise feita pela equipe de projeto com o conhecimento de especialistas de outras áreas. Para finalizar esta fase, é necessária uma avaliação crítica das idéias geradas sobre as necessidades de melhoria do produto.

Fase 3 – Geração de um produto novo e melhorado ambientalmente: A primeira tarefa é classificar as idéias geradas na fase anterior, segundo os critérios de viabilidade técnico-econômica e de ganho ambiental²³. Desta forma, ter-se-á uma escala de prioridades onde as primeiras idéias a serem executadas serão as que tiverem um maior ganho ambiental e uma maior viabilidade técnico-econômica. No entanto, antes de suas execuções é necessário avaliar os conflitos destas idéias, pois decisões que melhoram uma característica ambiental específica podem prejudicar outras, e isto deve ser evitado.

2.4.2 Evolução sistemática de produtos (ESP)

Esta proposta é resultado de uma tese de Ph.D., desenvolvida no *Systems Realization Laboratory of the Georgia Institute of Technology* – Laboratório de Realização de Sistemas do Instituto de Tecnologia da Georgia, (Coulter e Bras, 1997). O núcleo principal desta proposta é uma melhoria ambiental gradual do produto através de estratégias de multi-iterações programadas do produto. Desta forma, pode-se ter a inclusão da questão ambiental incrementalmente, harmonizando-a com outros requisitos da qualidade.

Em Coulter e Bras (1997), apresenta-se a proposição inicial do ESP, que compreende as seguintes fases:

Identificação dos fatores limitantes: fatores limitantes são características de um produto que impedem o cumprimento de determinados objetivos ambientais, por exemplo a grande variedade de material de um automóvel restringe a reciclabilidade do mesmo. A

²³ Entende-se ganho ambiental como a potencial diminuição do impacto ambiental no ciclo de vida do produto em decorrência de um reprojeto deste. Portanto, a identificação de um ganho ambiental está vinculado a uma análise do ciclo de vida do produto, para que se possa garantir uma verdadeira redução do impacto ambiental e não uma transferência deste para uma outra fase do ciclo de vida.

identificação destes fatores possibilita a equipe de projeto estabelecer as mudanças que podem incorrer em maiores ganhos ambientais.

Estabelecimento de metas: refere-se ao estabelecimento de valores metas para os fatores limitantes, que deverão ser alcançados em cada revisão do produto.

Estabelecimento de prioridades dos fatores limitantes: procura-se criar uma escala crescente de prioridades de atendimento dos fatores, onde os que possibilitam maiores melhorias devem estar no topo. Nota-se que esta tarefa pode ser auxiliada por ferramentas como QFD.

Inclusão de incertezas: refere-se à incerteza da redução do impacto ambiental do produto ao longo da vida do produto. Estas podem ser geradas devido a diferentes fatores tais como mudanças da tecnologia ou da legislação. O autor propõe a utilização da técnica de projeto robusto na consideração das incertezas. A previsão de diversas iterações, também, permite um maior controle da evolução destas incertezas ao longo do tempo.

As duas propostas apresentadas possuem pouco detalhamento, tanto de suas definições e princípios, como também da aplicação dos métodos sugeridos em cada fase. Mesmo assim, pôde-se elaborar uma comparação entre elas, apresentada na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 – Comparação entre EcoReDesign e ESP

	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
EcoReDesign	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evidencia a necessidade de esclarecimento da tarefa de reprojeto; ➤ Apresenta um melhor esclarecimento sobre os métodos de levantamento das necessidades de reprojeto, através da ACV; ➤ Ressalta a necessidade de uma contribuição multidisciplinar; ➤ Salienta a necessidade da consideração de diferentes características ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não apresenta detalhes sobre o processo de reprojeto propriamente dito; ➤ Não indica meios de avaliação e verificação dos ganhos ambientais.
ESP	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evidencia a necessidade de esclarecimento da tarefa de reprojeto; ➤ Incorpora o aspecto ambiental do produto como um processo estratégico de melhoria contínua e incremental; ➤ Procura prever e absorver as incertezas do cumprimento das metas, através da técnica de projeto robusto; ➤ Tenta integrar a questão ecológica com as outras restrições de projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não apresenta detalhes sobre o processo de reprojeto propriamente dito ➤ Não apresenta um método de identificação dos fatores limitantes; ➤ Não apresenta detalhamento da utilização dos métodos propostos; ➤ Não indica meios de avaliação e verificação dos ganhos ambientais.

2.5 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se um estudo sobre as propostas que tratam sobre o reprojeção de produtos e, principalmente, sobre a inclusão da questão ambiental no desenvolvimento dos produtos. Devido à escassez de informações sobre estes dois aspectos, simultaneamente, optou-se em fazer um estudo das metodologias de reprojeção e depois das iniciativas de consideração ambiental no desenvolvimento de produtos.

A maioria dos estudos e publicações na área de desenvolvimento de produto dedicam-se ao projeto de produtos novos, o que não atende satisfatoriamente as necessidades específicas do reprojeção, como por exemplo, no tratamento das informações do produto existente. Procurou-se, então, deter-se em propostas específicas de reprojeção, das quais pode se destacar elementos, que orientarão no desenvolvimento da metodologia de reprojeção para o meio ambiente, apresentados a seguir:

- Uma das etapas mais críticas no processo de reprojeção de produtos é o levantamento das informações do produto existente. É necessário, portanto, o estabelecimento de meios que auxiliem a equipe de projeto nesta etapa de esclarecimento da tarefa de reprojeção, para que se possa identificar as oportunidades de melhoria ambiental, bem como aproveitar as informações contidas no produto existente;
- As considerações ambientais devem estar presentes durante todo o processo de reprojeção e, para possibilitar um maior ganho ambiental, é necessário o estabelecimento de métodos que orientem a equipe de reprojeção na consideração ambiental; e
- Existem diferentes níveis de reprojeção de um produto: paramétrico, adaptativo e original, contudo não se encontraram elementos de suporte para determinar o nível de reprojeção mais adequado a um dado produto.

O estudo da inclusão da questão ambiental no setor produtivo, por sua vez, evidenciou que existem diversas iniciativas que podem auxiliar no estabelecimento de uma relação mais amigável entre setor produtivo e meio ambiente. Dentre estas iniciativas, destaca-se a redução do impacto ambiental dos produtos através de alterações no projeto destes. Esta constatação vai ao encontro da hipótese declarada no item 1.4.2.

Este estudo também possibilitou situar o objeto desta pesquisa em relação às iniciativas de desenvolvimento de produtos “verdes”. Dentre estas iniciativas apresentaram-se duas, que mais se assemelharam ao objeto desta pesquisa. A primeira é o programa australiano de

EcoReDesign e a segunda é a ESP. Destas duas propostas, também se pode destacar elementos que auxiliarão no desenvolvimento da metodologia, apresentados a seguir:

- É necessária uma equipe de projeto multidisciplinar para a identificação de oportunidades de reprojeto ambiental e na avaliação dos ganhos obtidos;
- Os métodos que sustentam a aplicação da metodologia devem ser bem detalhados para orientar a equipe na sua aplicação;
- O estabelecimento de metas auxilia no controle do processo de reprojeto para o meio ambiente;
- Existem incertezas no cumprimento das metas estabelecidas, devido às mudanças técnicas e legislativas. Estas incertezas devem ser previstas e se possível reduzidas;
- A preocupação ambiental deve ser integrada com as outras restrições de projeto; e
- Deve-se prever meios de avaliação dos ganhos ambientais obtidos em relação ao produto existente. Isto possibilita uma verificação contínua das melhorias alcançadas, evitando deixar esta análise para os testes finais com o protótipo.

No próximo capítulo apresentam-se alguns fundamentos sobre metodologia de projeto, reprojeto de produto e projeto para meio ambiente, que juntamente com as considerações realizadas no presente capítulo servirão de suporte para o estabelecimento da metodologia de reprojeto de produtos para o meio ambiente.

Capítulo 3

FUNDAMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

3.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar alguns fundamentos que se fazem necessários ao estabelecimento da metodologia de reprojeto de produtos para o meio ambiente.

O estudo descrito neste capítulo possibilitará a identificação de elementos característicos dos três campos de conhecimento relacionados a esta dissertação: metodologia de projeto, reprojeto de produtos e projeto para o meio ambiente.

No final do presente capítulo, apresentam-se considerações sobre estes campos de conhecimento que auxiliarão no estabelecimento da metodologia proposta no Capítulo 4.

3.2 Metodologia de projeto

O projeto de produto começa com o estabelecimento de um problema, cuja expressão mais comum é um conjunto de necessidades das pessoas (físicas ou jurídicas) que se relacionam com o problema apresentado. Ao final do projeto, elaboram-se informações sobre um objeto ou sistema, que atenda as necessidades identificadas.

O objetivo de estudos sobre o processo de projeto de produto é formalizar uma base de conhecimento que auxilie os projetistas na execução de suas atividades. Parte destes estudos envolve o estabelecimento de metodologias de projeto.

Metodologia de projeto pode ser definida como uma coleção de procedimentos, métodos e técnicas, com o objetivo de auxiliar os projetistas na atividade de desenvolvimento de produtos, (Egbuomwan *et al*, 1996). As metodologias são desenvolvidas para atender as necessidades de ensino em projeto, de organização e controle do processo de projeto, de auxílio

às equipes de projeto e de automação das informações de projeto, (Finkelstein e Finkelstein, 1983).

Existem diferentes propostas de metodologias de projeto, que procuram atender estas necessidades. Estas propostas podem ser agrupadas nas categorias, (Egbuomwan *et al*, 1996):

Prescritiva – prescrevem como o processo de projeto deve ser realizado. As propostas são apresentadas na forma de fluxograma, que descreve o processo de projeto, indicando procedimentos, orientações e métodos que procuram guiar os projetistas nas suas atividades; e

Descritiva – concentram-se nas atividades e ações dos projetistas durante o processo de projeto. Surgem da experiência de projetistas na resolução de problemas de projeto. Esta categoria está relacionada com a elaboração de base de conhecimento necessária ao desenvolvimento de ferramentas de apoio ao processo de projeto, a partir das técnicas de inteligência artificial, por exemplo.

Estudos realizados, a partir da análise e comparação entre diferentes propostas de metodologias prescritivas, identificaram aspectos comuns entre elas. Alguns destes aspectos são:

- O processo de projeto, numa visão abrangente, possui três atividades genéricas: análise do problema de projeto, síntese de soluções para o problema estabelecido e avaliação das soluções para verificar o grau de atendimento das soluções em relação ao problema de projeto. Existem outras atividades, como aquisição e comunicação de informações, que podem ser consideradas como sub-atividades das anteriores (Egbuomwan *et al*, 1996); e
- O processo de projeto pode ser descrito através de um modelo de consenso entre as metodologias de projeto, (Ogliari, 1999, pp. 26-27):
 - ◆ O ponto de partida é a definição do problema pelo conjunto das necessidades dos clientes. Estas necessidades são analisadas com o objetivo de esclarecer o problema de projeto, através da elaboração das especificações de projeto. Esta fase é chamada de projeto informacional, (Fonseca, 2000, p. 29);
 - ◆ A partir das especificações, busca-se a síntese e seleção de concepções que atendam o problema proposto. Esta fase é geralmente conhecida como projeto conceitual;
 - ◆ Com a concepção, que na maioria das vezes encontra-se na forma de descrições abstratas, encaminha-se para a fase de configuração, chamada de projeto preliminar. Nesta fase o objeto de projeto começa a tomar forma,

saindo do campo da abstração para o concreto, através da elaboração do leiaute do produto seguindo orientações que atendam as especificações de projeto. Realizam-se, nessa fase, atividades de modelagem e simulação para avaliar o desempenho da configuração elaborada; e

- ◆ Por fim, o objeto de projeto passa pela fase de detalhamento, onde são feitas as verificações finais, detalhamento de tolerância, acabamentos, especificação final de materiais e processos, testes de protótipos, entre outros.

Os elementos destacados anteriormente auxiliam na percepção de características que devem estar presentes na elaboração de uma metodologia.

Por sua vez, em Maribondo *et al* (1999), apresentam-se diretrizes para o desenvolvimento de metodologia de projeto. A importância desse trabalho reside na elaboração destas diretrizes a partir, dentre outros estudos, de entrevistas com possíveis usuários de metodologias de projetos. As diretrizes estabelecidas são:

Diretriz 1: Estabelecimento da forma de apresentação da metodologia de projeto por meio de fluxogramas de atividades;

Diretriz 2: Estabelecimento do nível de desdobramento do processo de projeto. A metodologia pode ser desdobrada em: fases, etapas, tarefas e passos;

Diretriz 3: Definição das ferramentas e métodos que serão utilizados no processo de projeto. Apresentando orientações para a sua aplicação dentro da metodologia proposta;

Diretriz 4: Definição dos mecanismos de avaliação dos resultados obtidos com o processo de projeto; e

Diretriz 5: Definição da forma de apresentação final dos resultados obtidos.

A maioria destes elementos sobre metodologias de projeto foi estabelecida a partir de estudos, ou proposições, de metodologias genéricas. Por serem genéricas não trazem informações sobre as especificidades das atividades de reprojeto e da consideração ambiental no projeto de produtos, por conseguinte necessita-se identificar elementos específicos do reprojeto de produto e do projeto para o meio ambiente. Os itens 3.3 e 3.4 apresentam estes elementos, respectivamente.

3.3 Reprojeto de produtos

Reprojeto é um processo de mudanças num produto existente, projetado anteriormente pela empresa, com o objetivo de capacitá-lo para o atendimento das demandas do mercado ou para a inclusão de características específicas. As causas que originam o reprojeto do produto, apresentadas na Tabela 1-1, podem surgir em qualquer fase do ciclo de vida do produto²⁴, como proposto na Figura 3-1.

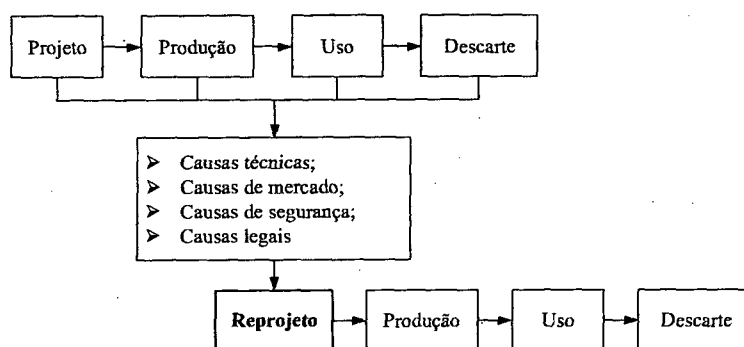


Figura 3-1 - Reprojeto ao longo do ciclo de vida do produto

Entretanto, a decisão pela realização do reprojeto depende das estratégias competitivas da empresa em relação aos seus produtos. A empresa pode adotar o reprojeto:

- Para a correção de algum erro cometido durante o desenvolvimento do produto;
- Para o atendimento de mudanças na legislação ou normas relacionadas ao produto;
- Como forma de prolongar as vendas do produto no mercado, como indicado na Figura 3-2, através do atendimento de novas demandas, garantindo a manutenção da competitividade do produto;
- Como meio que possibilite a inclusão do produto em novos nichos de mercado;
- Entre outras possibilidades.

Por exemplo, a empresa pode adotar uma estratégia reativa com relação às demandas ambientais, por conseguinte executará o reprojeto de um produto somente no caso de uma mudança na legislação ou normalização ambiental.

A empresa, por outro lado, pode considerar a questão ambiental fundamental para a sua competitividade. Neste caso o reprojeto é uma parte importante da política de desenvolvimento

²⁴ Esta descrição do ciclo de vida não está completa. Uma visão mais completa sobre o ciclo de vida de produtos é apresentada no item C-1, Anexo C.

de produtos, pois pode auxiliar na antecipação das exigências ecológicas do mercado, possibilitando a extensão do período de amadurecimento do produto no mercado ou até mesmo incluindo-o num novo nicho de mercado.

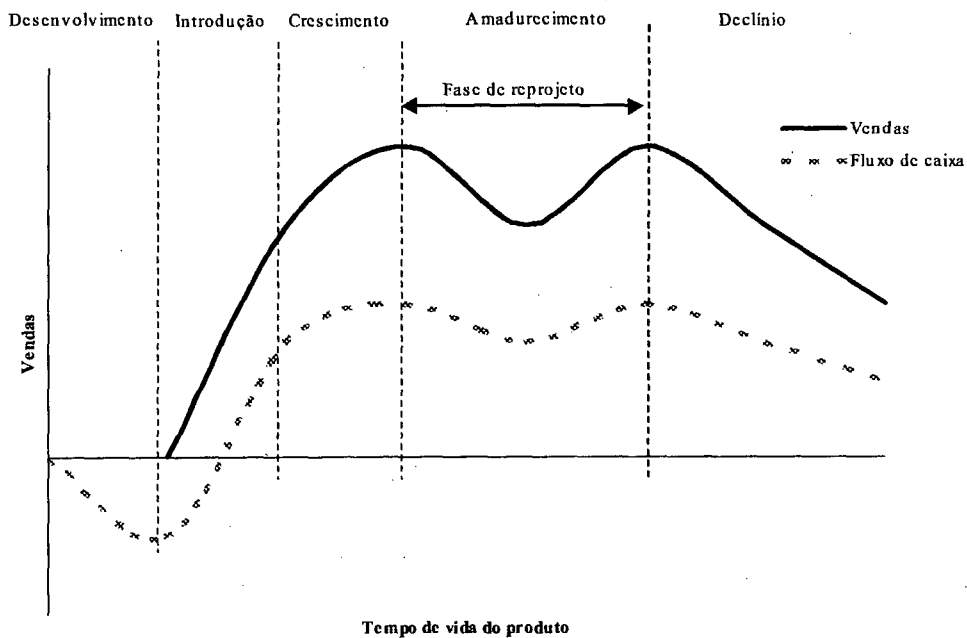


Figura 3-2 – Curva de vendas e fluxo de caixa no ciclo de vida de um produto. Adaptado de Hogarth e Tabeshfar (1993).

Diante do exposto anteriormente, faz-se necessário traduzir as estratégias competitivas da empresa (descritas através da missão geral da empresa, as pressões do mercado e o planejamento estratégico da empresa) em políticas e estratégias para o reprojeto de produtos. O processo de tradução é apresentado na Figura 3-3.

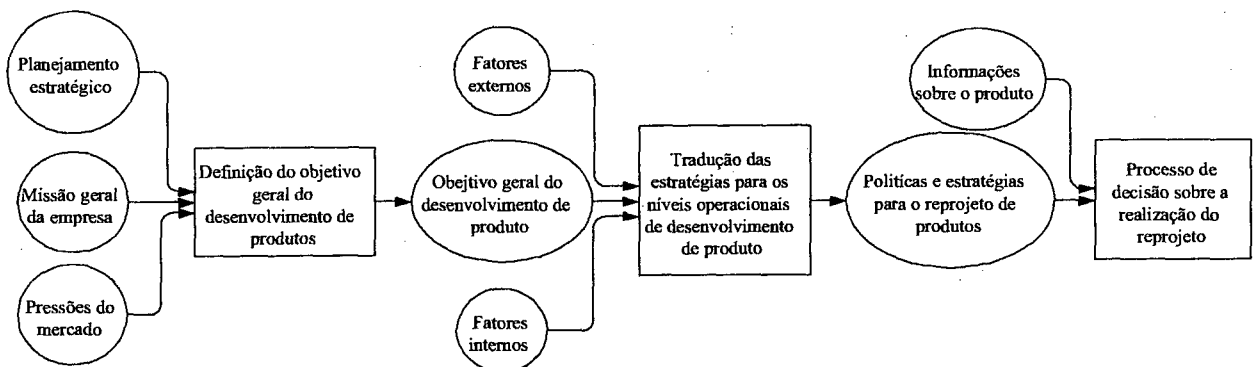


Figura 3-3 – Processo de determinação das políticas e estratégias para o reprojeto de produtos

As políticas e estratégias baseiam-se, primeiramente, na análise dos produtos frente aos

fatores externos²⁵. Esta análise pode ser feita, por exemplo, pelo acompanhamento da curva de vendas e lucro do produto como apresentado na Figura 3-2. Ulteriormente é feita a análise dos fatores internos²⁶, que permite verificar a capacidade da empresa e os recursos necessários para a realização do reprojeto.

O estabelecimento das políticas e estratégias auxiliam à definição de critérios para a seleção dos produtos aptos para se integrarem ao programa de reprojeto da empresa. Em Dufour (1996, p. 44), apresenta-se um conjunto de critérios gerais, conforme transcritos abaixo:

- tempo exigido para implantar o reprojeto;
- tempo exigido pelo reprojeto de um produto comercializável;
- custo de cada etapa: pesquisa, desenvolvimento e produção;
- necessidade de recursos adicionais e uso dos existentes;
- possibilidade de sucesso, isto é, a consecução do objetivo frente à concorrência;
- avaliação do sucesso-receita prevista ao longo de um dado período;
- a contribuição do produto na porcentagem do lucro;
- a situação econômica atual; e
- a situação da direção da empresa e sua habilidade de manejar mudanças tecnológicas.

Este conjunto de critérios suporta o processo de decisão, que determinará a necessidade de realização do reprojeto. Além disto, sob esse processo de decisão gera-se um conjunto de informações que auxiliam a conduzir o processo de reprojeto.

O reprojeto possui, em linhas gerais, a mesma estrutura do processo de projeto de produtos novos. A principal diferença entre eles é que no reprojeto pré-existe um produto, projetado anteriormente pela empresa, que será melhorado. No projeto de produtos novos, a empresa deseja desenvolver um produto que ainda não foi projetado por ela. Esta diferença implica na importância das atividades de tratamento das informações do produto existente para o processo de reprojeto.

Estas atividades ocorrem no início do reprojeto. As informações sobre o produto devem ser transcritas para uma forma abstrata, permitindo, por exemplo, uma maior liberdade para propor mudanças na estrutura funcional ou nos princípios de soluções que compõem o produto.

²⁵ Fatores externos (mercados, concorrência, legislações, normas, e forças sociais), (Dufour, 1996, pp. 39-40).

²⁶ Fatores internos (marketing, produção, fatores humanos, capacidade financeira, tecnológica, e logística), (Dufour, 1996, pp. 40-41).

Estas informações devem retornar a uma descrição detalhada nas últimas fases do processo de reprojeto.

A estrutura para o processo de reprojeto, inspirada no modelo de consenso entre as metodologias de projeto (cf. item 3.2) e na abordagem de Otto e Wood (1998) (cf. item 2.2.1), é apresentada na Figura 3-4. Os detalhes de cada uma das fases são apresentados a seguir.

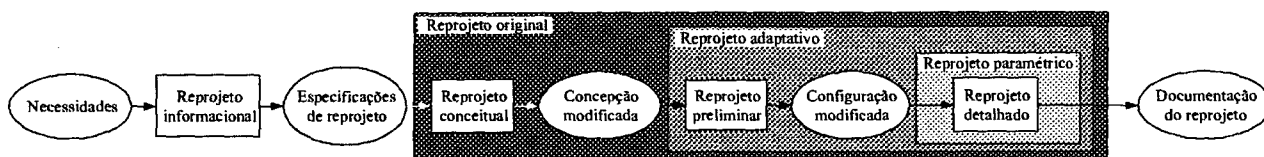


Figura 3-4 – Estrutura para o processo de reprojeto

A primeira fase é o reprojeto informacional, que se caracteriza pelo esclarecimento da tarefa de reprojeto. Esta fase envolve a atividade de análise do produto existente, na qual se destaca a aquisição e organização das informações sobre: as necessidades dos clientes, as novas exigências do mercado, entre outras. Esta fase termina com o estabelecimento das especificações de reprojeto e com a determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto.

A fase seguinte corresponde ao reprojeto conceitual, que é a fase de mudanças mais profundas no produto. Nesta fase pode-se realizar modificações na estrutura funcional e nos princípios de solução do produto atual. Esta fase termina com o estabelecimento e a seleção da concepção modificada do produto.

A concepção modificada passa para a fase de reprojeto preliminar, na qual realizam-se, por exemplo: modificações na configuração, análise e comparação dos ganhos conseguidos em relação ao projeto original e seleção da configuração modificada do produto.

E por fim, a melhor configuração modificada segue para o reprojeto detalhado, no qual executa-se o detalhamento do leiaute selecionado, a seleção definitiva dos materiais e processos, a identificação mais exata dos ganhos auferidos com o reprojeto e a elaboração da documentação necessária às outras fases do ciclo de vida do produto.

O processo de reprojeto descrito anteriormente, conforme Figura 3-4, corresponde a um conjunto de modificações mais significativas no produto, entretanto nem todos os produtos necessitam de mudanças tão grandes. Portanto o processo de reprojeto depende de qual nível de mudanças é mais adequado ao atendimento dos requisitos de reprojeto. Estes níveis de mudanças são denominados de níveis de reprojeto.

Os níveis de reprojeto podem ser: original, adaptativo e paramétrico, (Otto e Wood 1998) e suas principais características são descritas na Tabela 3-1. A escolha entre estes níveis

baseia-se nos requisitos identificados no reprojeto informacional.

Tabela 3-1 – Níveis de reprojeto de produtos.

Nível de reprojeto	Principais características
Original	Compreende o maior nível de mudanças do produto existente. Está relacionado às mudanças funcionais e/ou dos princípios de solução. Por exemplo: mudança na estrutura funcional e seleção de princípios de solução que corresponda a uma maior eficiência energética. Engloba as fases de reprojeto conceitual, preliminar e detalhado.
Adaptativo	As mudanças ocorrem no leiaute ou configuração do produto existente. Por exemplo, necessidades de variantes do produto, de facilidade na montagem, de melhoria na separação de componentes, entre outros. Está relacionado com as fases de reprojeto preliminar e detalhado.
Paramétrico	As mudanças necessárias estão relacionadas somente a parâmetros de engenharia. Por exemplo: otimização de tolerâncias, mudança na potência necessária, aumento de uma determinada dimensão, mudança de material, entre outros. Está relacionado à fase de reprojeto detalhado.

Do exposto anteriormente, depreende-se que o reprojeto apresenta-se como uma forma de consecução das estratégias da empresa através da melhoria dos produtos existentes. Caso a empresa opte em adotar a melhoria ambiental como uma de suas estratégias, deve-se fornecer instrumentos à área de desenvolvimento de produto, que auxiliem no entendimento e inclusão dessas estratégias para a melhoria de seus produtos. Um destes instrumentos de forma abrangente é uma metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente, que é a proposta desta dissertação.

O estabelecimento da metodologia necessita da inclusão de elementos específicos de projeto para o meio ambiente no processo de reprojeto. Estes elementos devem estar presentes desde a decisão sobre a realização do reprojeto, até final do processo de reprojeto. Estes elementos são analisados no próximo item.

3.4 Projeto para o meio ambiente

O projeto para o meio ambiente (PPMA) é entendido como uma abordagem de desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos, sem comprometer a viabilidade técnica e econômica dos mesmos. A relação do produto com o meio ambiente é vista de forma holística, ou seja, procura-se identificar e minimizar os impactos ambientais do produto em todo o seu ciclo de vida.

O PPMA parte da premissa que todo produto gera impactos negativos ao meio ambiente e que estes impactos podem ser reduzidos através de mudanças no produto. Estas mudanças

procuram reduzir o impacto ambiental do produto em seu ciclo de vida em níveis aceitáveis.

Estes níveis são determinados pela gerência, que pode optar por níveis estabelecidos pelas legislações e normas ambientais ou por outros mais rígidos, no caso de uma postura pró-ativa frente às demandas ambientais. Empresas, que procuram reduzir o impacto ambiental a níveis mais baixos do que os regulamentados, fornecem um diferencial ambiental aos seus produtos em relação aos seus concorrentes.

Muitas empresas estão adotando o diferencial ambiental como uma nova forma de competitividade de seus produtos no mercado. A opção por um diferencial ambiental dos produtos compreende mudanças tecnológicas e organizacionais, que necessitam do comprometimento de toda a empresa. Estas mudanças referem-se, principalmente, a adoção do PPMA na atividade de desenvolvimento de produto.

Em muitos exemplos de aplicação do PPMA foi identificada, além de ganho ambiental, uma redução nos custos do produto, (Ashley, 1994; Huang, 1996 e Kinlaw, 1997). Entretanto a opção pela implantação do PPMA não deve ser baseada nas expectativas de resultados em curto prazo, pois muitas vezes pode resultar, num primeiro momento, aumento de custos. Os principais resultados da implantação do PPMA são verificáveis em longo prazo.

Outro aspecto que deve ser considerado na implantação do PPMA é o conjunto de obstáculos identificados de experiências anteriores de sua implantação em outras empresas, conforme reproduzidos na Tabela 3-2. Devido a estes obstáculos pode-se encontrar quatro tipos de atitudes na implantação do PPMA, (Huang, 1996, p. 85):

- **Nenhum interesse** – a empresa não considera PPMA como pertinente às suas estratégias.
- **Começo interrompido** – a empresa tentou envolver o desenvolvimento de produto com a preocupação ambiental, mas a iniciativa não teve continuidade.
- **Opção por pequenos benefícios** – teve-se um começo, mas só se trabalhou com decisões e metas que representassem resultados em curto prazo. O aspecto ambiental só é incluído na fase de projeto detalhado, na qual a melhoria ambiental conseguida, geralmente, é pouco expressiva, apesar de ser rápida e barata.
- **Integração** – a empresa integra o PPMA em seus projetos de tal modo que são percebidas melhorias mais profundas no produto. As melhorias são significativas e alcançadas através de mudanças no produto em todo o ciclo de vida. Infelizmente, ainda são poucas as empresas que podem ser alocadas nesta categoria.

Tabela 3-2 – Obstáculos encontrados em relação ao PPMA (Huang, 1996, p. 84).

<p>Obstáculos que inibem a implantação do PPMA</p>	<p>Falta de visão – A gerência não tem consciência da influência das decisões realizadas no desenvolvimento de produto;</p> <p>Falta de motivação – Nem a gerência, nem a área de pesquisa e desenvolvimento ou marketing mostram-se interessados pelo PPMA. Uma vez que eles não vêem os benefícios da consideração ambiental, embora estejam cientes do impacto ambiental causado pelos produtos;</p> <p>Insegurança - A gerência sente-se insegura em relação às iniciativas de regulamentação e aos efeitos comerciais da consideração da demanda ambiental no desenvolvimento de produtos;</p> <p>Complexidade na implantação:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A empresa não tem uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de produto, desta forma não sabe integrar o PPMA de um modo estruturado; - Não existe os recursos que auxiliem a empresa fixar as fases para a implantação do PPMA (organização de pré-condições e organização de equipes multi-disciplinares), o que pode originar uma carência de conhecimentos necessários; e - A empresa é desencorajada pelo custo de aquisição das informações necessárias para a implantação do PPMA (consultoria de especialistas, manuais, bases de dados, entre outras); <p>Outras prioridades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A empresa prioriza investimentos em outras atividades ou - A empresa prioriza a consideração ambiental em outras atividades; <p>Falta de consciência ambiental - A empresa nunca pensou sobre sua influência na questão ambiental.</p>
<p>Obstáculos que inibem a continuidade da atividade de PPMA</p>	<p>Carência de apoio – Mesmo que a área de pesquisa e desenvolvimento comece um programa de PPMA, os seus objetivos não estão em consonância com os objetivos gerais da empresa. Portanto a gerência não apoia estas iniciativas;</p> <p>Complexidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade para equilibrar o PPMA com outros esforços; - Falta de acesso à ajuda nos momentos críticos da aplicação do PPMA; - Falta de conhecimento do que fazer, por causa do pouco entendimento sobre o PPMA; e - Dificuldade na fixação de metas e métricas para o PPMA, conseqüentemente não existe clareza nos objetivos para todos os interessados, o que pode levar a desmotivação. <p>Resistência – Resistência geral para mudança tecnológica ou organizacional;</p> <p>Atitude oportunista – Decisões com benefícios financeiros apenas a curto prazo.</p>

Do exposto acima, verifica-se que a base de qualquer iniciativa ambiental na empresa deve ser resultado de um desejo gerencial de diferenciar-se, oferecendo produtos e serviços ambientalmente corretos. Além disso, deve-se ter claro que os resultados alcançados na implantação do PPMA são verificáveis em médio e longo prazo.

Este desejo gerencial deve ser comunicado a todos os setores da empresa de forma clara e bem definido. A necessidade de comunicação clara dos objetivos e políticas ambientais pretendidas pela empresa é crítica para a atividade de projeto de produto, uma vez que esta atividade é caracterizada por uma quantidade grande de conflitos entre diferentes necessidades de diversos clientes.

A integração do PPMA no processo de reprojeto de produto pode-se dar através da aplicação de metodologias, conforme apresentadas no item 3.4.1, ou da aplicação das eco ferramentas, conforme apresentadas no item 3.4.2.

3.4.1 Aplicação de metodologias de PPMA

Com as metodologias de PPMA pretende-se auxiliar os projetistas num processo de desenvolvimento de produtos que inclua a demanda ambiental nas suas atividades. Além disso, a aplicação de metodologias de PPMA possibilita um entendimento, por parte dos projetistas, de como a empresa deseja considerar a demanda ambiental nos seus produtos.

A aplicação do PPMA no desenvolvimento de produtos corresponde a um conjunto de aspectos particulares, que devem ser considerados na elaboração de novas metodologias. A Tabela 3-3 apresenta estes aspectos distribuídos no processo de reprojeto.

As metodologias de PPMA apresentam-se com um conjunto estruturado de princípios, orientações e eco ferramentas, com o objetivo de auxiliar os projetistas no atendimento destes aspectos particulares. As eco ferramentas são métodos ou ferramentas computacionais que suportam as atividades da equipe de projeto na inclusão da demanda ambiental no processo de projeto (Caluwe, 1997).

3.4.2 Eco ferramentas

As eco ferramentas podem ser classificadas em dois grupos, segundo a sua aplicação:

- Ferramentas e métodos de análise, usadas para identificar o impacto ambiental de um produto ao longo do ciclo de vida; e
- Ferramentas e métodos de melhoria, usadas para auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões e na implementação de ações, que objetivam a redução do impacto ambiental dos produtos.

A seleção de uma eco ferramenta para um determinado problema específico pode ser feita através da:

- Definição clara do objetivo que deverá ser atendido, pois as diferenças entre as eco ferramentas podem ser encontradas no propósito para o qual foram desenvolvidas, (Caluwe, 1997); e
- Determinação das fases do desenvolvimento do produto em que se deseja adotar o

critério ambiental, (Sweatman e Simon, 1996).

Tabela 3-3 – Aspectos do PPMA segundo o processo de reprojeto

Fases	Aspectos do PPMA
Reprojeto Informacional	Traduzir as estratégias ambientais gerais da empresa para a atividade de desenvolvimento de produto; Identificação do impacto ambiental do produto existente, através da análise do ciclo de vida; Identificação de oportunidades de melhorias ambientais no produto atual; Considerar a influência da legislação e normalização ambiental relacionadas ao produto; Aquisição das necessidades ambientais dos clientes envolvidos com produto durante o ciclo de vida; Determinação de métricas para avaliação dos ganhos ambientais; Estabelecimento dos requisitos de reprojeto e sua escala de prioridades tomando como base os aspectos anteriores; Determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto; e Disponibilizar de forma clara estas informações para que possam servir de base para as tomadas decisões nas próximas fases.
Reprojeto Conceitual	A dificuldade da consideração ambiental no reprojeto conceitual reside no grau de abstração próprio desta fase. Assim sendo a metodologia deve orientar os projetistas em termos qualitativos: No estabelecimento e seleção de uma estrutura funcional alternativa que representem ganhos ambientais; Na proposição de princípios de soluções “verdes”; e Na seleção das concepções através de critérios de viabilidade técnica, econômica e ambiental, em relação as especificações de reprojeto.
Reprojeto Preliminar	Estabelecimento de leiautes preliminares segundo princípios que representem ganhos ambientais (estrutura modular, fácil desmontagem, entre outros); Modelagem e simulação dos produtos no seu ciclo de vida, para verificar os ganhos ambientais conseguidos e permitir a identificação de possibilidades de melhorias com base em dados quantitativos; e Seleção das configurações que atendam as especificações de reprojeto.
Reprojeto Detalhado	Selecionar materiais e processos que representem menor impacto ambiental; Construção de protótipos para testes das características ambientais e suas interações com as outras características da qualidade do produto; Elaborar documentação para a produção; e Elaborar documentos que auxiliem na comunicação e redução dos impactos ambientais do produto durante todo o ciclo de vida.

Em Caluwe (1997), apresenta-se um levantamento de diversas eco ferramentas e como estas se distribuem nas fases de desenvolvimento do produto, como indicado na Tabela 3-4. No entanto, o autor não analisa as adaptações necessárias à aplicação em conjunto destas ferramentas. As eco ferramentas, apresentadas na Tabela 3-4, são descritas a seguir:

ACV (Análise do Ciclo de Vida) – é uma das mais utilizadas, pois suporta a determinação do perfil do impacto ambiental no ciclo de vida do produto. É aplicada tanto para a verificação do impacto ambiental quanto para a identificação de oportunidades de melhorias ambientais, também é a base de certificação ambiental de produtos em diferentes programas de

rotulagem ambiental (US-EPA, 1993). A principal desvantagem desta ferramenta é a quantidade de recursos necessários a sua aplicação, necessitando, muitas vezes, de abordagens simplificadas (Caluwe, 1997, pp. 36-37);

DFx's – é usado para denominar todas as abordagens que provêm características ambientais específicas aos produtos, tais como: DFR – projeto para reciclabilidade – (Beitz, 1993) e DFD – projeto para a desmontagem (Boothroyd e Alting, 1992);

PP/WP – Prevenção da poluição e do desperdício, são práticas que procuram reduzir o lançamento de resíduos para o meio ambiente e os desperdícios dos processos e atividades. Estas ferramentas são mais direcionadas aos processos de fabricação, como por exemplo, a usinagem ecológica, mas também podem ser direcionadas ao projeto de produtos quando orientam a seleção de materiais e processos.

Ferramentas de melhorias – Estas ferramentas oferecem informações e sugestões sobre alternativas de materiais, processos de fabricação, fontes de energias, distribuição e cenários de descarte.

Tabela 3-4 – Eco ferramentas nas fases do desenvolvimento de produtos. Adaptada de Caluwe (1997, p. 10).

Eco Ferramentas	Fases do desenvolvimento de produtos					
	Marketing	Projeto Informacional	Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Manufatura
ACV		Avaliação de projetos existentes				
DFx's						
PP/WP						
de Melhorias						

Depreende destes elementos do PPMA que a sua adoção no desenvolvimento de produto depende de um comprometimento da gerência com a redução do impacto ambiental de seus produtos. Além disto não existe uma forma de aplicação do PPMA que atenda todo os casos do desenvolvimento de produtos, sendo necessário a elaboração de abordagens que atendam problemas específicos.

3.5 Considerações finais

Neste capítulo procurou-se complementar o estudo do estado da arte com elementos específicos dos campos de conhecimentos relacionados ao tema desta dissertação: metodologias de projeto, reprojeto de produtos e projeto para o meio ambiente. Desta forma, procurou-se

estabelecer um conjunto de orientações para auxiliar o estabelecimento da metodologia de reprojeção de produtos para o meio ambiente, objeto da presente dissertação.

No estudo sobre metodologias de projetos percebeu-se que estas possuem, em linhas gerais, os seguintes aspectos:

- A apresentação das metodologias dá-se na forma de fluxograma de atividades. Estas atividades são suportadas por orientações e métodos de projeto;
- O processo de projeto tem três atividades básicas: análise, síntese e avaliação, que são distribuídas em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado;
- No processo de projeto existe uma transformação de informações sobre o objeto de projeto, que parte de uma descrição abstrata para uma descrição detalhada o suficiente para a produção do produto; e
- As diretrizes para o desenvolvimento de metodologias de projeto apresentam-se como bons indicadores de elementos necessários numa metodologia de reprojeção.

No estudo sobre o reprojeção de produtos percebeu-se as seguintes características:

- A necessidade do reprojeção pode surgir em qualquer fase do ciclo de vida do produto;
- O processo de decisão acerca da realização de um reprojeção parte da iniciativa gerencial, pois corresponde às estratégias da empresa;
- Num reprojeção com finalidade de redução do impacto ambiental do produto, deverá-se estabelecer critérios de realização do reprojeção mais apropriados;
- A estrutura do processo de reprojeção é semelhante ao de projeto, diferenciando-se na forma de tratamento das informações do produto existente;
- As informações no reprojeção começam com uma descrição mais concreta (produto existente), passando por uma descrição abstrata (nas fases iniciais) e terminam com uma descrição mais detalhada, suficiente para a fabricação do produto; e
- O nível de reprojeção (paramétrico, adaptativo ou original) depende das necessidades dos clientes e das políticas de desenvolvimento de produto da empresa.

No estudo sobre PPMA, procurou-se destacar elementos específicos da consideração ambiental no desenvolvimento de produtos, complementando as considerações anteriores:

- O PPMA corresponde às iniciativas que visam antecipar a avaliação e redução do impacto ambiental de produtos em seu desenvolvimento;

- A adoção de iniciativas de PPMA depende de uma decisão gerencial, pois mesmo com benefícios econômicos, a base para a sua adoção deve ser uma opção por um diferencial ambiental frente aos concorrentes;
- Existem dificuldades de implantação e manutenção de programas de PPMA;
- Uma das formas de implementação do PPMA é a adoção de metodologias, que devem suportar o desenvolvimento de produto, desde o esclarecimento à gerência na definição de estratégias ambientais para o reprojeto, até as fases de detalhamento do produto;
- As eco ferramentas são métodos e ferramentas de apoio ao projeto de produto dedicadas ao desenvolvimento de produtos ambientalmente melhores; e
- A ACV é um método para levantamento e avaliação do impacto ambiental do produto durante todo o seu ciclo de vida, no entanto, a aplicação deste método pode ser muito exaustiva e consumir muitos recursos, sendo muitas vezes necessário aplicar uma forma simplificada.

As considerações anteriores, juntamente com os aspectos ambientais num processo de reprojeto apresentado na Tabela 3-3, configuram uma base de elementos integrados sobre: metodologias de projeto, reprojeto de produto e PPMA. Estes elementos, em consonância com as observações do estado da arte, formam a base para a proposição da metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente, conforme apresentado no próximo capítulo.

Capítulo 4

METODOLOGIA DE REPROJETO PARA O MEIO AMBIENTE – REPMA

4.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente – RePMA. A metodologia apresenta orientações, procedimentos e métodos, que auxiliam a equipe de reprojeto na inclusão da demanda ambiental nas suas atividades.

A RePMA é representada através de fluxogramas, nos quais o processo de reprojeto é desdobrado em fases, etapas e tarefas. Neste capítulo apresenta-se a descrição geral da metodologia, detalhando as duas primeiras fases: reprojeto informacional e conceitual, cada uma destas fases é desdobrada em etapas e tarefas.

4.2 Descrição geral da RePMA

O principal objetivo da RePMA é suportar o processo de reprojeto, apresentando caminhos a serem seguidos, nos quais se considera a demanda ambiental na modificação de um produto. Tendo como base a classificação apresentada no item 3.2, a RePMA é caracterizada como uma metodologia prescritiva de desenvolvimento de produto, e como tal, é representada por fluxogramas de atividades, para as quais são apresentados elementos (orientações, procedimentos e métodos) que auxiliam a equipe de reprojeto em suas atividades.

Por outro lado, no que se refere a consideração ambiental no desenvolvimento de produtos, a RePMA é classificada como uma abordagem que trata sobre o ciclo de vida completo de produtos²⁷, pois sua estrutura e elementos suportam a equipe de reprojeto na identificação e

²⁷ Segundo a classificação apresentada na Figura 2-3, item 2.3.

redução do impacto ambiental no ciclo de vida do produto. Isto se verifica principalmente na proposição de uma abordagem simplificada da ACV e nas orientações que incluem a demanda ambiental nas atividades de modificação do produto existente.

Uma representação geral da RePMA é apresentada no fluxograma²⁸ da Figura 4-1, e o detalhamento das duas primeiras fases é apresentado nas Figuras 4-2 e 4-3. Estes fluxogramas apresentam as atividades do processo de reprojeto desdobradas em três níveis: fases, etapas e tarefas²⁹. Este desdobramento não deve ser considerado como uma forma de restringir a liberdade de ação e criação da equipe de reprojeto, mas como suporte às suas atividades.

A atividade inicial prevista na RePMA é a determinação da realização do reprojeto. Nesta atividade confrontam-se as estratégias ambientais da empresa com informações prévias do produto. Caso decida-se pela não realização do reprojeto para o meio ambiente, deve-se avaliar o produto em relação às estratégias da empresa para verificar se o produto necessita de outro tipo de melhoria. Nos casos em que se decida pela realização do reprojeto do produto para o meio ambiente, segue-se para a primeira fase, que é o reprojeto informacional.

No reprojeto informacional realiza-se a aquisição e organização de informações sobre produto. A aquisição das informações relacionadas ao impacto ambiental é suportada por uma abordagem simplificada da análise do ciclo de vida, que auxilia a equipe de reprojeto na elaboração de requisitos ambientais para o reprojeto do produto. As saídas desta fase são a determinação do nível de reprojeto mais adequado e as especificações de reprojeto.

Estes resultados são apresentados aos responsáveis pelo produto³⁰, que aprovam, ou não, os resultados com base nas necessidades dos clientes e nas políticas e estratégias do setor de desenvolvimento de produtos. Uma vez aprovados estes resultados, segue-se para a próxima fase, caso contrário pesquisa-se informações complementares ou refaz-se o reprojeto informacional.

Deste ponto em diante, o processo de reprojeto segue dependendo do nível de reprojeto mais adequado ao produto, que pode ser de três tipos: original, adaptativo ou paramétrico. O reprojeto original corresponde ao nível de mudanças mais profundas, no qual promove-se alterações em termos da estrutura funcional e dos Princípios de Solução (PSs) do produto. O

²⁸ A simbologia adotada nos fluxogramas é baseada em Maribondo *et al* (1999b).

²⁹ Segundo as diretrizes para o desenvolvimento de metodologias de projeto, item 3.2.

³⁰ Os responsáveis pelo produto são os representantes de todos os setores da empresa, que sofrem influência do reprojeto do produto, principalmente a gerência.

reprojeto adaptativo, por outro lado, corresponde ao nível de mudanças referentes à configuração do produto, promovendo-se alterações no leiaute deste. E por fim, o reprojeto paramétrico corresponde às mudanças em termos dos parâmetros de engenharia, como o tipo de material, peso, potência, eficiência, entre outros.

O reprojeto original inicia com a fase de reprojeto conceitual, no qual orienta-se a equipe de reprojeto no processo de mudança na estrutura funcional e nos PSs que constituem o produto.

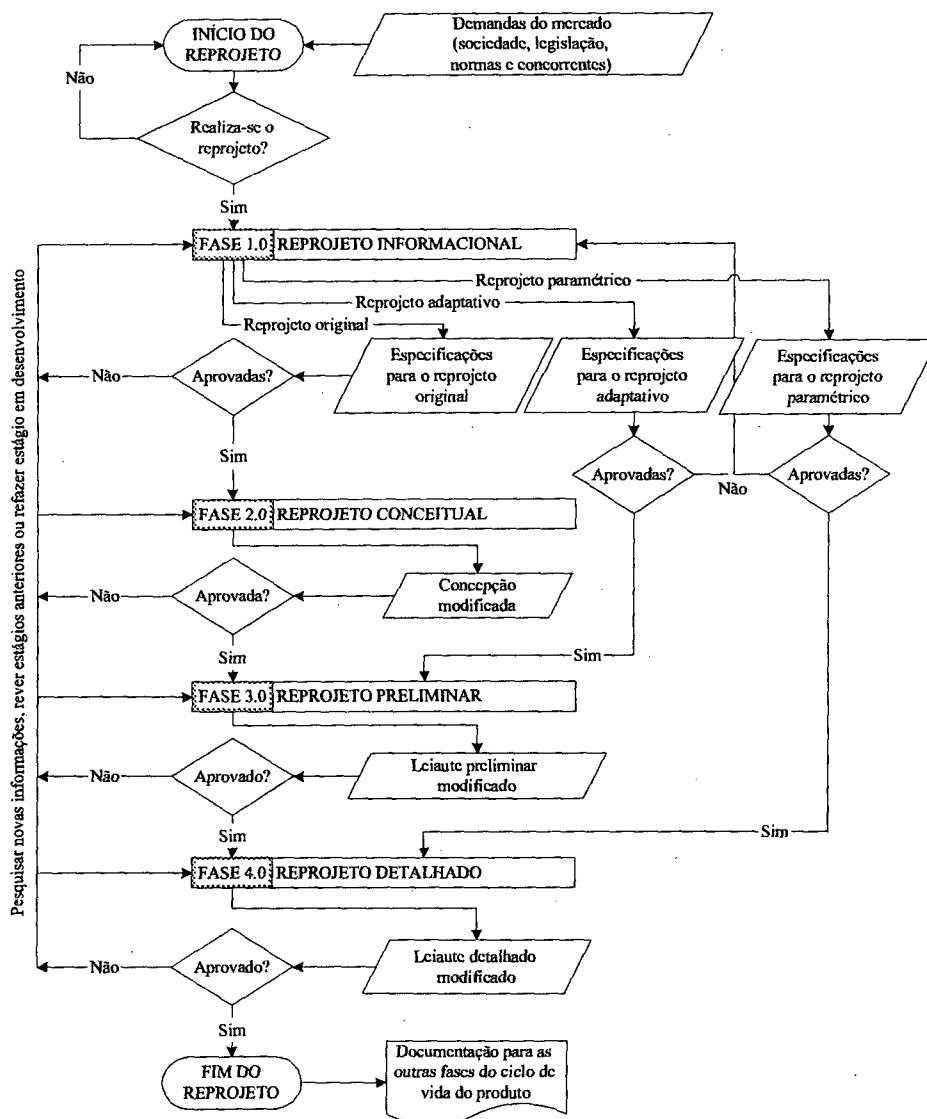
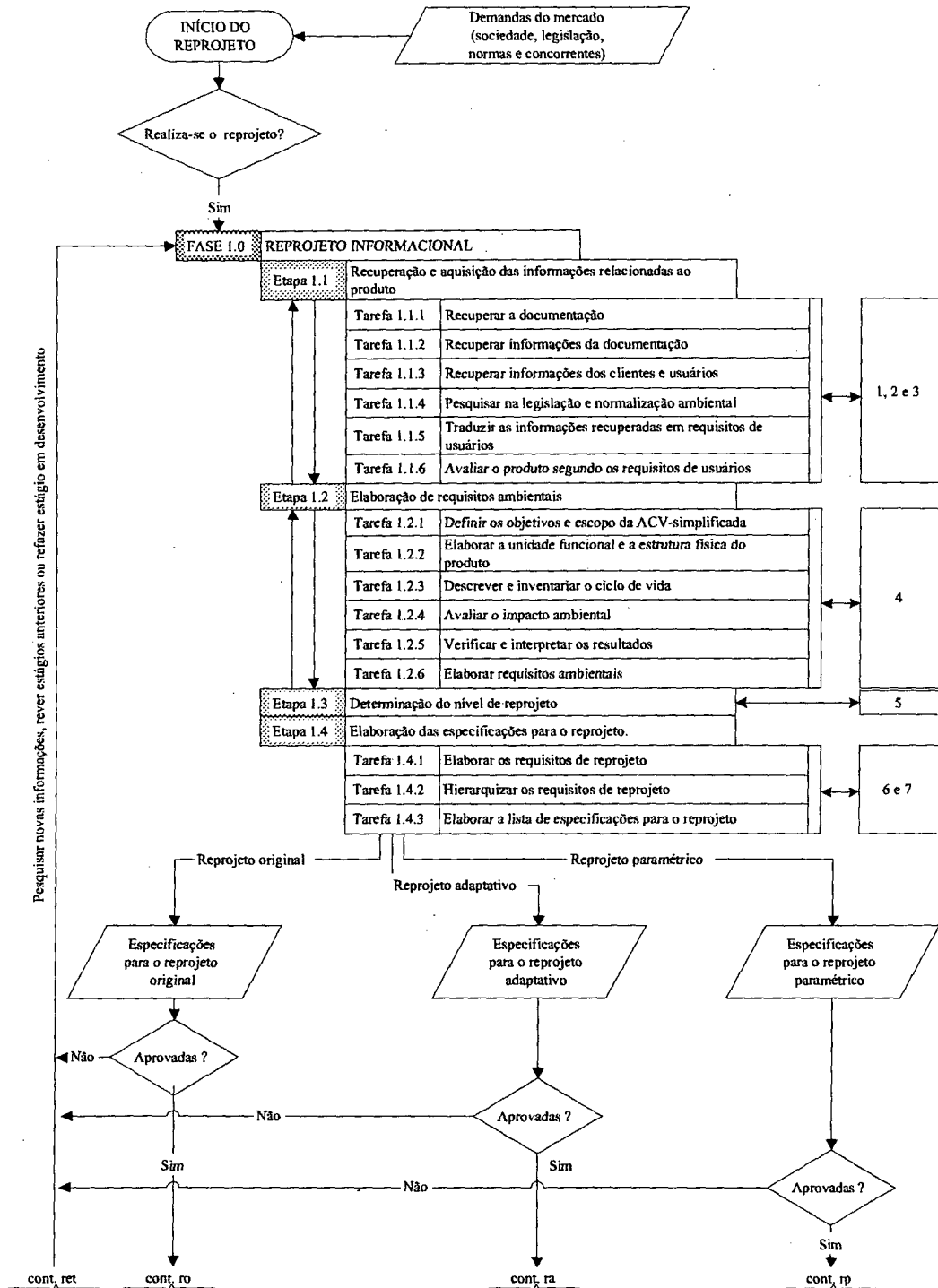


Figura 4-1 – Representação geral da RePMA



LEGENDA

- 1 - Quadro de registro de características provenientes de documentos do produto
- 2 - Questionário estruturado
- 3 - Quadro dos requisitos de usuários para o reprojeito de produtos
- 4 - ACV-simplificada
- 5 - Matriz de seleção do nível de reprojeito
- 6 - Matriz da casa da qualidade
- 7 - Modelo de típico para o preenchimento das especificações de reprojeito

Figura 4-2 – RePMA desdobrada – reprojeito informacional

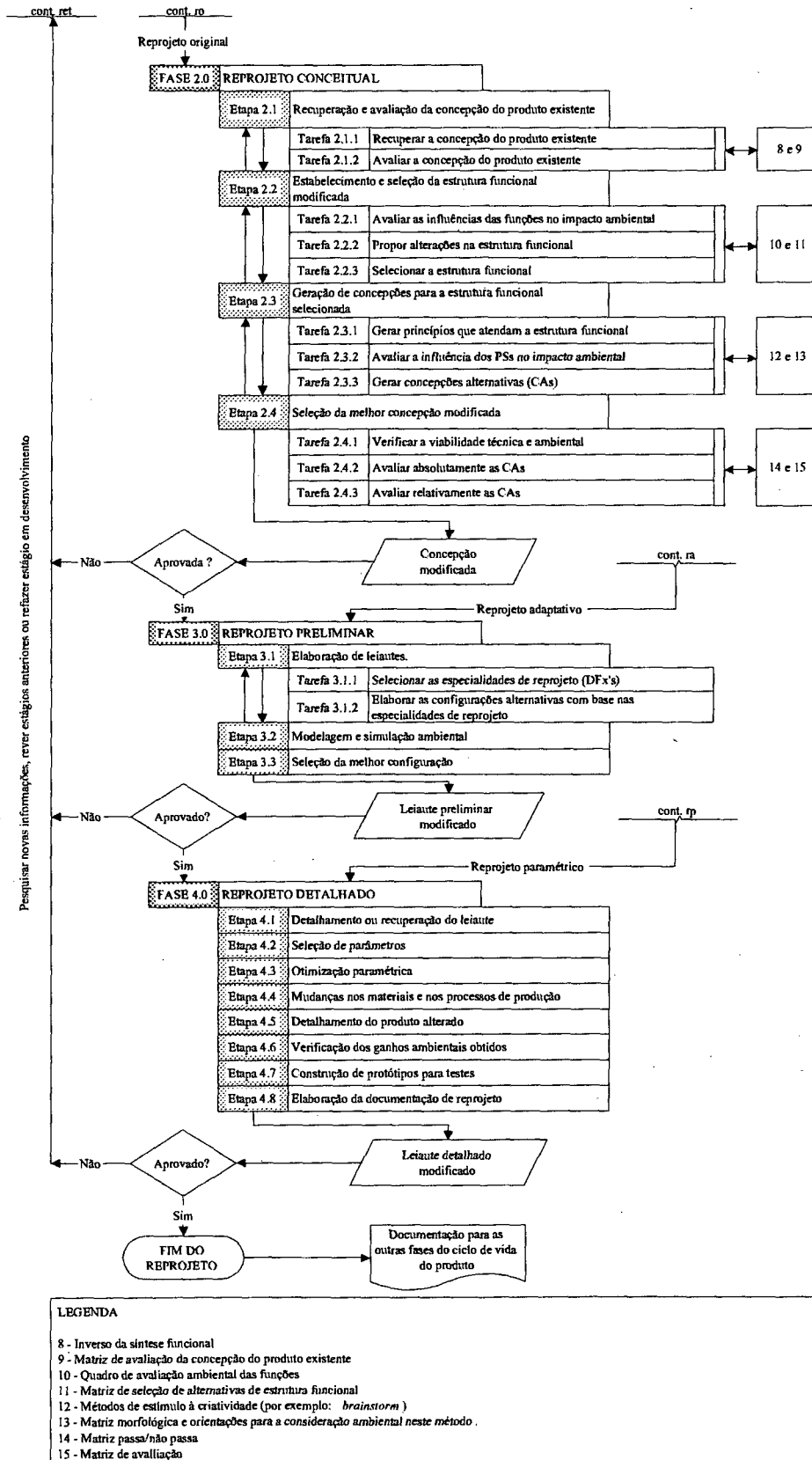


Figura 4-3 – RePMA desdobrada – reprojeto conceitual, preliminar e detalhado

Nesta fase, procede-se a avaliação das funções do produto com o objetivo de verificar suas influências no impacto do produto durante seu ciclo de vida. Desta forma, identificam-se as funções que mais contribuem no impacto ambiental do produto. Esta identificação serve de base para a proposição de alterações na estrutura funcional, o que possibilita a geração de um conjunto de variantes de funcionais. Realiza-se, então, a seleção da estrutura funcional segundo critérios técnicos, ambientais e econômicos.

Subseqüentemente, realiza-se atividades relacionadas às modificações nos PSs do produto. O início destas atividades é a geração de PSs que satisfarão as alterações funcionais. Os PSs, por sua vez, são combinados gerando concepções alternativas para o produto. Nesta combinação dar-se-á preferência aos princípios com melhores características ambientais. As concepções resultantes passam por uma seleção segundo critérios técnicos, ambientais e econômicos, na qual seleciona-se a melhor concepção modificada do produto.

Deste ponto em diante, entre cada fase da metodologia, avaliam-se os ganhos ambientais conseguidos com as modificações realizadas na fase anterior e procura-se prever as possibilidades de ganhos nas próximas fases. Os resultados desta avaliação são apresentados aos responsáveis pelo produto para que se aprovelem as modificações realizadas e se decida pela continuação do processo de reprojeto. Uma vez aprovadas, segue-se para a próxima fase, caso contrário pesquisa-se novas informações, revisa-se estágios anteriores, refaz-se o estágio atual do processo de reprojeto, ou interrompe-se o processo de reprojeto.

De posse da concepção modificada e aprovada do produto, ou no caso do reprojeto adaptativo, parte-se para a fase de reprojeto preliminar, no qual procura-se realizar mudanças na configuração do produto. Estas mudanças são implementadas segundo as especialidades de projeto³¹ mais adequadas à redução do impacto ambiental do produto. Para tanto, é necessário realizar um processo de seleção das especialidades de projeto que poderão representar maiores ganhos ambientais.

As especialidades selecionadas orientam a elaboração de alternativas de configurações para o produto. As alternativas são modeladas e simuladas ambientalmente para verificar os ganhos ambientais obtidos. Os resultados obtidos da modelagem e simulação auxiliam no

³¹ Entende-se por especialidades de projeto como sendo princípios, diretrizes ou orientações, que potencializam qualidades às características específicas do produto (modularidade, manutenibilidade, entre outras) ou tratam sobre aspectos específicos de uma determinada fase do ciclo de vida do produto (desmontabilidade, reciclabilidade, entre outros). Ou seja as especialidades de projeto são os DfX's.

processo de seleção do melhor leiaute preliminar modificado segundo critérios técnicos, ambientais e econômicos. Os ganhos ambientais obtidos na modificação do leiaute do produto são apresentados aos responsáveis pelo produto para a aprovação das mudanças e da continuidade do reprojeto.

A próxima fase é o reprojeto detalhado, que inicia com o leiaute preliminar modificado do produto ou de um reprojeto paramétrico. No primeiro caso deve-se fazer o detalhamento do leiaute preliminar e no segundo procura-se recuperar o leiaute detalhado do produto, a partir das documentações recuperadas no reprojeto informacional.

A partir do leiaute detalhado, seleciona-se os parâmetros que podem propiciar um ganho ambiental. Realiza-se uma otimização destes parâmetros com a finalidade de determinar os valores que promovam o maior ganho ambiental. Este conjunto de valores auxilia na alteração dos materiais utilizados, na determinação dos processos de fabricação e no detalhamento do produto.

Realiza-se, então, uma modelagem e simulação ambiental para verificar o impacto ambiental do produto, segundo as modificações realizadas. De posse destas definições, verifica-se o ganho ambiental obtido em relação ao produto existente, caso os ganhos sejam satisfatórios propõe-se a construção de protótipos para testes ambientais e funcionais.

Ao final desta fase, elaboram-se os documentos que auxiliarão na produção do produto. Também se pode optar pela elaboração de outros documentos que auxiliam na orientação à redução do impacto ambiental nas outras fases do ciclo de vida do produto, por exemplo, plano de reciclagem, plano de reutilização, entre outros. Entretanto a opção por elaborar estes documentos depende das estratégias ambientais da empresa referentes ao ciclo de vida do produto, ou seja, quais as fases do ciclo de vida que estarão sob a responsabilidade ambiental da empresa, além daquelas definidas pela legislação.

O detalhamento de todos os elementos necessários para suportar a RePMA foge do escopo deste trabalho de dissertação, devido ao nível de complexidade inerente à elaboração de orientações, procedimentos e ferramentas de apoio às atividades de desenvolvimento de produtos. Desta forma, optou-se em limitar-se ao desdobramento das duas primeiras fases da RePMA.

Nos próximos itens, apresenta-se a descrição detalhada destas fases, na qual descreve-se os elementos de suporte às atividades da equipe de reprojeto. Primeiro apresentam-se o processo de decisão sobre a realização do reprojeto, subseqüentemente o reprojeto informacional e conceitual.

4.3 Determinação da realização do reprojeto para o meio ambiente

A atividade inicial da RePMA consiste em determinar a realização do reprojeto. Esta atividade é caracterizada como um processo de decisão que tem como base o planejamento estratégico da empresa e informações prévias sobre o produto. O comprometimento da gerência é fundamental para este processo de decisão, pois a realização do reprojeto implica em conflitos entre diversos aspectos do produto (como por exemplo: tempo de desenvolvimento, custos, segurança e ergonomia do produto, impacto ambiental, entre outros) que devem ser confrontados com as estratégias da empresa.

A necessidade do envolvimento da gerência ainda é mais crítica quando se inclui a demanda ambiental, pois a consideração desta demanda não implica retorno financeiro imediato. A equipe de reprojeto deve estar consciente de qual é a posição estratégica da empresa em relação as pressões ambientais do mercado. É papel da gerência esclarecer estas informações que suportam o processo de determinação da realização do reprojeto.

Este processo foi introduzido no item 3.3, Capítulo 3, onde se depreende que o reprojeto pode ser motivado por diferentes causas e que a determinação da realização do reprojeto de um produto baseia-se em diferentes critérios. A seguir, apresenta-se o processo de decisão dedicado à consideração ambiental, proposto na Figura 4-4.

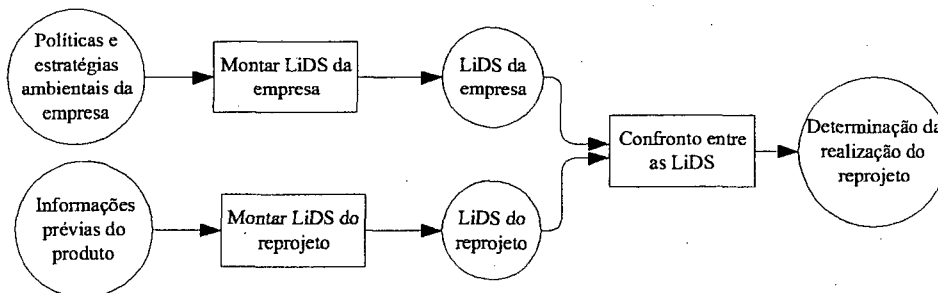


Figura 4-4 – Processo de determinação da realização do reprojeto para o meio ambiente

Os primeiros tipos de informações que devem ser consideradas neste processo são as políticas e estratégias ambientais da empresa no desenvolvimento de produto. Estas informações são de responsabilidade da gerência, que responde pelo planejamento estratégico do desenvolvimento de produtos, em consonância com a missão geral e as metas específicas da empresa de atendimento às diferentes demandas, item 3.3. Portanto, a gerência deve esclarecer de que forma a empresa vai se posicionar em relação às pressões ambientais do mercado. Este planejamento estratégico deve esclarecer aspectos do tipo:

- Se a empresa deseja diferenciar-se eticamente no que se refere à demanda ambiental ou pretende apenas cumprir a legislação e normalização ambiental;
- Definir em quais aspectos a empresa irá considerar a demanda ambiental. Por exemplo, a empresa pode optar por considerar o impacto ambiental somente nos seus processos produtivos, não o incluindo no projeto de produtos;
- Esclarecer a prioridade da demanda ambiental no desenvolvimento de produtos em relação às outras prioridades, como por exemplo, custos no desenvolvimento, tempo de desenvolvimento, entre outras;
- O nível de investimento pretendido pela empresa no que se refere às mudanças nos tipos de materiais utilizados no produto, melhorias nos processos de produção, embalagem, distribuição do produto, entre outras;
- As fases do ciclo de vida que estarão sobre a responsabilidade ambiental da empresa.

Além destas definições é necessário expressar a estratégia ambiental do desenvolvimento de produto em termos da LiDS, Anexo A. As LiDS é um método utilizado para estruturar, visualizar, comunicar, avaliar e documentar as estratégias de PPMA (Hemel, 1995, 2000). Consiste de um gráfico com oito eixos, que representam as estratégias de projeto considerando o ciclo de vida do produto, como apresentado na Figura 4-5.

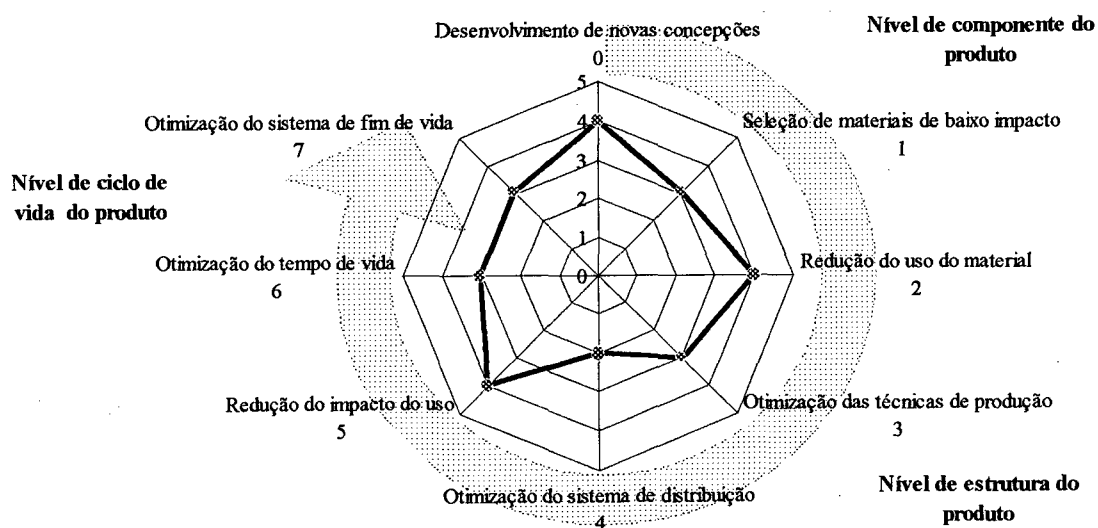


Figura 4-5 – Estratégias de projeto segundo o ciclo de vida do produto. Adaptado de Hemel (2000).

Por outro lado, no processo de determinação da realização do reprojeto é necessário

considerar informações referentes ao produto. A equipe de reprojeto deve fazer um levantamento prévio de informações sobre o produto. Estas informações podem ser obtidas dos diversos setores da empresa: marketing, vendas, compras, fabricação, ambiental e projeto. Estas informações devem ser suficientes para que a equipe de reprojeto tenha conhecimento sobre aspectos do tipo:

- Importância do produto nas estratégias competitivas da empresa;
- Posição do produto no mercado;
- Reclamações dos clientes;
- Curva de vendas e lucro do produto;
- Legislações e normalizações ambientais relacionadas ao produto;
- Possibilidade de inclusão do produto em novos nichos de mercados;
- Mudança das necessidades dos clientes;
- Entre outros.

Estes aspectos devem suportar a determinação de pesos a cada estratégia indicada nas LiDS para o processo de reprojeto. Este conjunto de pesos corresponde a uma avaliação prévia sobre o produto, que poderá ser ajustada durante o processo de reprojeto.

A opção pela realização do reprojeto do produto dá-se através do confronto entre a LiDS da empresa e do reprojeto, exemplificado na Figura 4-6. Os pontos da LiDS do reprojeto menores ou iguais aos da empresa representam oportunidades de reprojeto para meio ambiente de acordo com os planos da empresa, ou seja, a melhoria deste produto em relação a estes eixos deverá receber o apoio da gerência da empresa.

Por outro lado, na situação na qual os pontos da LiDS do reprojeto são maiores do que os da empresa, como apresentado no eixo 4 da Figura 4-6, a equipe de reprojeto não teria claro o apoio da empresa na alteração do produto em relação a esta estratégia. Nestes casos, apresenta-se esta situação à gerência para esclarecer se a equipe de reprojeto terá apoio nas ações e decisões relacionadas a esta estratégia.

Este processo de análise suporta a equipe de reprojeto na determinação da realização do reprojeto e forma a base para a resolução de conflitos que poderão aparecer durante o processo de reprojeto. Outra contribuição deste processo é o esclarecimento de como a empresa deseja investir para melhorar a qualidade ambiental de seus produtos.

Uma vez decidido, com base na comparação e análise das LiDS do reprojeto e da empresa, pela realização do reprojeto do produto, passa-se para a primeira fase da RePMA, que é o reprojeto informacional, no qual esclarece-se o problema de reprojeto.

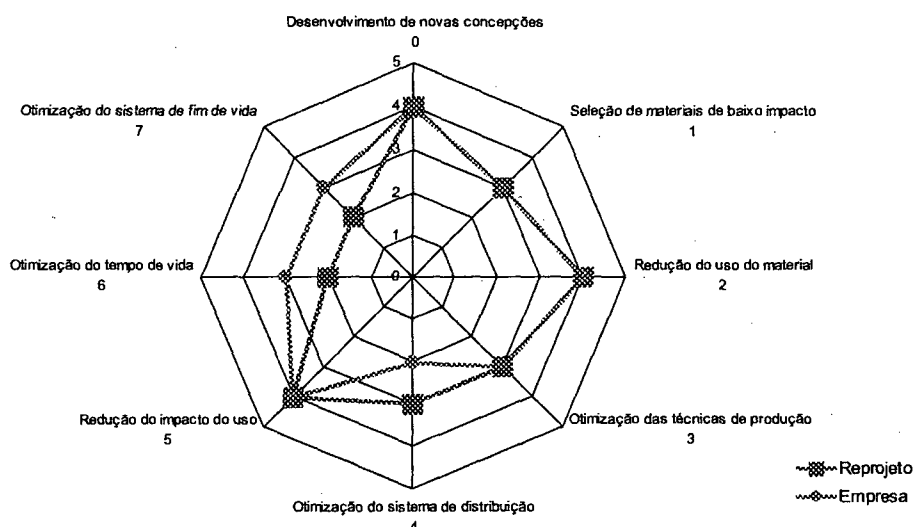


Figura 4-6 – Comparação entre as LiDS's do reprojeto e da empresa

4.4 Fase 1.0 – Reprojeto informacional

Esta fase corresponde ao esclarecimento do problema de reprojeto com base nas informações do produto existente. Estas informações estão distribuídas nas documentações geradas ao longo do ciclo de vida do produto e nas experiências que as diversas pessoas, físicas ou jurídicas, tiveram com o mesmo.

Ao final desta fase são listadas as especificações de reprojeto, que devem orientar as atividades da equipe durante todo o processo de reprojeto. Além das especificações, outra saída desta fase é a determinação do nível de reprojeto mais adequado ao atendimento das necessidades dos clientes³².

Esta fase tem importância fundamental para uma boa execução do processo de reprojeto, pois os resultados desta fase (especificações e o nível de reprojeto) são as bases que orientarão a equipe de reprojeto nas suas atividades. Esta importância corresponde ao aspecto de levantamento de informações do produto, que foi detectada nas considerações do Capítulo 2. Por causa desta importância, esta fase apresenta-se desdobrada em etapas e tarefas, cujo fluxo das

³² Entende-se cliente como uma “pessoa ou organizações que precisa de bens ou serviços relacionados ao projeto”. Classificam-se os clientes como internos, que são aqueles “que pertençam aos setores produtivos”; externos são aqueles que “pertencem aos setores de consumo” e por fim intermediários, que são aqueles “pertencentes ao mercado”, (Fonseca, 2000, p. 35).

informações entre as etapas é apresentado na Figura 4-7. A seguir apresenta-se o detalhamento desta fase segundo estas etapas e seus fluxos.

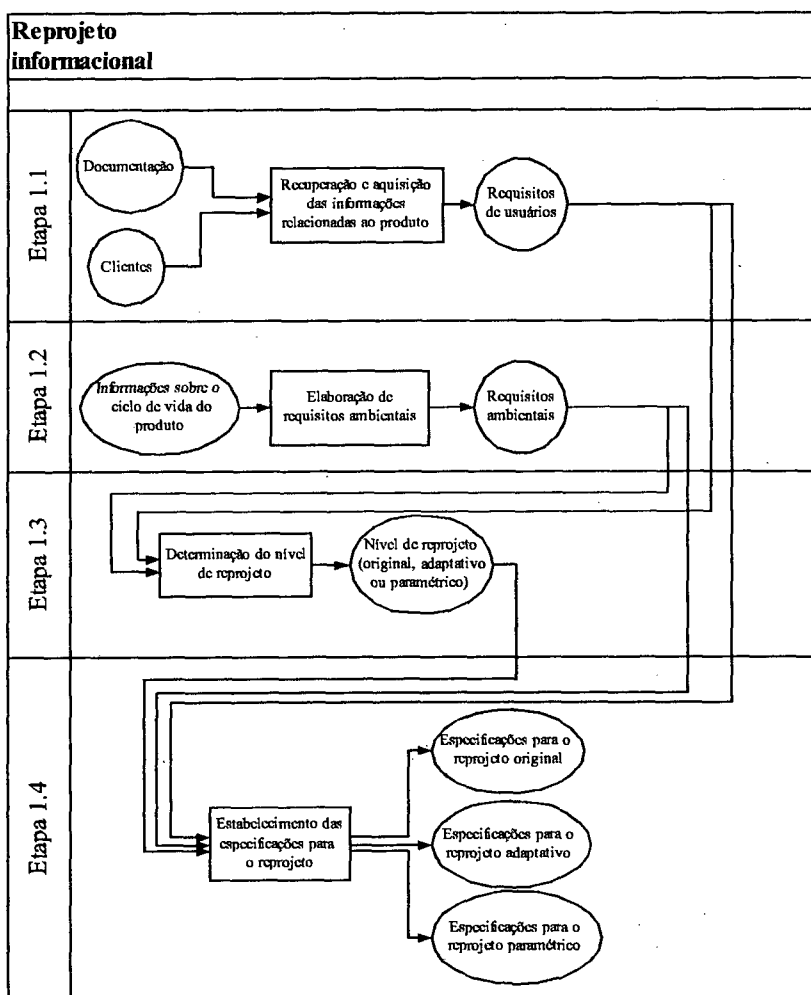


Figura 4-7 – Fluxo de informações no reprojeto informacional

4.4.1 Etapa 1.1 – Recuperação e aquisição das informações relacionadas ao produto

A primeira tarefa desta etapa consiste em **recuperar a documentação** gerada em cada fase do ciclo de vida do produto. Os documentos devem ser classificados segundo sua origem no ciclo de vida, além disso, as fontes dos documentos devem ser identificadas. Alguns típicos documentos são apresentados na Tabela 4-1.

A partir desta documentação procura-se **recuperar informações da documentação** sobre o produto atual. Uma parte destas informações pode ser utilizada diretamente no processo de reprojeto, como por exemplo: a lista de especificações do projeto original, a estrutura

funcional, a descrição dos princípios de solução, os desenhos de leiaute e de detalhes do produto. Estas e outras informações devem ser descritas na forma de características do produto.

Tabela 4-1 – Documentos no ciclo de vida.

Fase	Documentos
Projeto	Questionários aplicados para levantamento de necessidades, lista de necessidades registradas, tabela de especificações de projeto, estrutura funcional, matriz morfológica, lista de materiais, desenhos, modelos, protótipos, árvore de falha, análise de modos de falha, entre outros.
Produção	Ordens de serviço, planejamento de processos, relatórios de produção, lista de recursos utilizados, planejamento da montagem e embalagem, entre outros.
Distribuição	Relatório de vendas e lucros do produto, pesquisas de mercados sobre o produto, planejamento de distribuição, relatórios de logísticas, entre outros.
Uso	Registro de reclamações dos clientes, relatórios de manutenção, lista de recursos utilizados.

Estas características podem ser descritas quantitativamente ou qualitativamente. O Quadro 4-1³³ apresenta-se como uma proposta de suporte ao registro destas características, que segue as recomendações abaixo:

- Agrupam-se os documentos segundo a fase do ciclo de vida e depois segundo a fonte responsável pela elaboração dos documentos;
- Analisar cada documento com o objetivo de identificar características do produto, como por exemplo: tempo de fabricação do produto, emissões ambientais em cada fase do ciclo de vida do produto, quantidade e tipo de recursos utilizados na montagem, causas de falhas do produto, entre outras; e
- Avaliar, quando possível, cada característica como positiva ou negativa. Esta atividade pode produzir um resultado mais consistente quando realizada por uma equipe multidisciplinar.

Adicionalmente, as estratégias contidas nas LIDS, conforme o item 4.3, servem de indicativos das características ambientais que devem ser identificadas na documentação do produto, por exemplo: quantidade de material utilizado, variedade de material, consumo de energia em cada fase do ciclo de vida, comportamento dos usuários do produto, emissões em cada fase do ciclo, entre outras.

³³ Durante a apresentação da RePMA, neste capítulo, adotar-se-á a nomenclatura Quadro para referenciar as tabelas prescritas de suporte à organização das informações.

Quadro 4-1 – Registro de características provenientes de documentos do produto

Fase	Fonte responsável	Documento	Característica	Positiva	Negativa	Comentários
Projeto				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Produção				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Distribuição				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Uso				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

As características recuperadas da documentação são muito importantes ao reprojeto, pois representam a experiência documentada da interação do produto com os clientes. No entanto, podem existir características que não estejam documentadas, ou ainda, alguns clientes podem não ser contemplados pelos documentos recuperados. Desta forma, é necessário **recuperar informações dos clientes e usuários.**

Existem diversas formas de realizar a aquisição de informações dos clientes (Fonseca, 1996, pp. 65-69 e Ogliari, 1997, pp. 7-10). A equipe deve selecionar as formas mais apropriadas ao tipo de produto e aos recursos disponíveis.

Neste texto apresenta-se uma dessas formas que é o questionário estruturado. Na aplicação de questionários é necessário identificar os clientes em cada fase do ciclo de vida. Alguns exemplos destes são relacionados na Tabela 4-2. Esta relação de clientes é genérica, sendo necessário fazer uma listagem específica para o produto em estudo.

Tabela 4-2 – Clientes e usuários no ciclo de vida

Fase do ciclo de vida	Clientes e usuários
Projeto	Projetistas, consultores, empresa de projeto, entre outros.
Produção	Fornecedores, técnicos, planejadores, gerente, controle de qualidade, entre outros.
Distribuição	Transportadora, armazéns, vendedor, empresa de revenda, entre outros.
Uso	Usuários, empresa de manutenção, órgãos governamentais que regulamentam o impacto ambiental, entre outros.
Descarte	ONG's dedicadas a proteção ambiental, empresa de coleta de lixo, recicladora, desmontadora, órgãos governamentais que regulamentam o impacto ambiental, entre outros

A identificação dos clientes é uma das bases para a próxima tarefa que é elaborar e aplicar questionários com objetivo de identificar as necessidades que o produto deve atender ou esclarecer dúvidas sobre as informações recuperadas da documentação.

Uma outra base para elaboração destes questionários deve ser as características do

produto, relacionadas no Quadro 4-1, mais especificamente a lista de necessidades e especificações do projeto original, caso se consiga recuperar estes documentos. Estas questões devem auxiliar a equipe de reprojeção na identificação:

- de aspectos específicos de cada fase do ciclo de vida, principalmente no que se refere ao uso do produto;
- da demanda ambiental por parte dos clientes;
- de novos desejos e necessidades em relação ao produto; e
- da opinião dos clientes em relação às características do produto atual.

Deve-se lembrar que as questões devem ser formuladas de forma que possam ser entendidas pela pessoa entrevistada e devem se apresentar na forma de questões objetivas, nas quais os entrevistados determinam valores à importância e satisfação em relação às características do produto. Uma escala de valores proposta é apresentada na Tabela 4-3. Também deve ter questões subjetivas, nas quais os entrevistados expressam livremente suas opiniões e expectativas sobre cada característica, bem como sobre a melhoria do produto como um todo.

Tabela 4-3 – Escala de valores para a opinião dos clientes

Importância ou satisfação expressadas pelo entrevistado	Valor
Nenhuma	0
Pouca	1
Boa	3
Muita	5

O detalhamento da elaboração e aplicação dos questionários está além do escopo deste trabalho, deve-se procurar literaturas que possuem melhor esclarecimento sobre este tema (Fonseca, 1996, pp. 69-77, e Ogliari, 1999, pp. 268-278). Mesmo assim, apresenta-se na Tabela 4-4 exemplos de questões relacionadas à demanda ambiental.

Além da aquisição de informações conforme anteriormente descrito é necessário **pesquisar na legislação e normalização ambiental**³⁴ com o objetivo de verificar se existe alguma regulamentação sobre o impacto ambiental do produto em questão. Esta regulamentação deve ser considerada com alto grau de prioridade.

As informações provenientes da documentação, as necessidades dos clientes obtidas da

³⁴ Exemplos da legislação e normalização ambiental foram apresentados no item 1.5.1.

aplicação dos questionários e as informações provenientes da legislação e normalização ambiental estão geralmente descritas em diferentes formas. Para que se possa utilizá-las de maneira integrada e direcionada a uma linguagem mais familiar à equipe de reprojeto, propõe-se a realização da tarefa de **traduzir as informações recuperadas em requisitos de usuários**³⁵. Para auxiliar na organização destes requisitos prescreve-se a utilização do Quadro 4-2.

Tabela 4-4 – Exemplo de questões aplicáveis à fase de uso de um liqüidificador³⁶

Sobre a demanda ambiental do usuário final			
Qual a sua opinião sobre o impacto ambiental do liqüidificador?			
Você considera o impacto ambiental do liqüidificador no momento da compra?			
Em quais informações você se baseia para comprar um liqüidificador mais “ecológico”?			
Comentários:			
Sobre a lavagem do liqüidificador			
Qual é a importância que você dá ao consumo de água na lavagem do liqüidificador?			
0 - <input type="checkbox"/>	1 - <input type="checkbox"/>	3 - <input type="checkbox"/>	5 - <input type="checkbox"/>
Você está satisfeito com o consumo de água na lavagem do liqüidificador?			
0 - <input type="checkbox"/>	1 - <input type="checkbox"/>	3 - <input type="checkbox"/>	5 - <input type="checkbox"/>
Qual o consumo de água na lavagem do liqüidificador que você considera ideal? (não precisa de um valor absoluto, pode ser expresso na forma de comparação com outro tipo de produto)			
Comentários:			
Sobre o comportamento do usuário final.			
Qual a frequência e tempo que você usa o liqüidificador?			
Qual a importância que você dá a vida útil do liqüidificador?			
0 - <input type="checkbox"/>	1 - <input type="checkbox"/>	3 - <input type="checkbox"/>	5 - <input type="checkbox"/>
Está satisfeito com a vida útil do liqüidificador?			
0 - <input type="checkbox"/>	1 - <input type="checkbox"/>	3 - <input type="checkbox"/>	5 - <input type="checkbox"/>
Em quanto tempo você troca de liqüidificador?			
Qual o principal motivo que leva você trocar de liqüidificador? Quebra, novos modelos no mercado, etc.?			
Na sua opinião, qual seria a vida útil ideal para o liqüidificador?			
De que forma você descarta o liqüidificador? Separa os materiais para a coleta seletiva? Lança-o diretamente no sistema de coleta?			
Comentários:			

No preenchimento do Quadro 4-2 relaciona-se cada cliente com as características

³⁵ Orientações sobre a elaboração de requisitos de usuários são encontradas em Fonseca (2000, pp. 58-60).

³⁶ Exemplo adotado para orientar a exemplificação de questões relacionadas à demanda ambiental

identificadas no Quadro 4-1. Por sua vez, cada característica é relacionada com requisitos de usuários. No caso de requisitos originados das questões objetivas aplicadas aos clientes e usuários, relaciona-se, também, a importância e satisfação destes.

Quadro 4-2 – Requisitos de usuários para o reprojeto do produto

Fase	Cliente	Característica	Requisito do usuário	Opinião		Avaliação
				Importância	Satisfação	
Projeto						
Produção						
Distribuição						
Uso						
Recuperação						
Descarte						

Preenchido o Quadro 4-2, efetua-se a tarefa de **avaliar o produto segundo os requisitos de usuários**. Esta tarefa consiste em avaliar a necessidade de melhoria do produto.

Nesta tarefa podem ocorrer duas situações: na primeira dispõe-se dos valores de importância e satisfação em relação a um determinado requisito de usuários ou característica do produto. Nestes casos a avaliação baseia-se nas seguintes considerações, conforme ilustradas na Figura 4-8:

- Quando a importância de um determinado requisito é alta (3 e 5) e a satisfação do usuário é pequena (0 e 1), então o não atendimento é muito alto. Nestes casos a necessidade de melhoria do produto é alta – 5. A melhoria tem maior valor, pois corresponde à necessidade de conformidade produto a estes requisitos de usuário;
- Quando a importância de um determinado requisito de usuário é alta (3 e 5) e a satisfação é alta (3 e 5), então o não atendimento é médio. Nestes casos a necessidade de melhoria do produto é médio – 3. A melhoria corresponde a aumentar a satisfação do usuário em relação a requisitos importantes;
- Quando a importância de um determinado requisito de usuário é baixa (0 e 1) e a satisfação é alta (3 e 5), então o não atendimento é nenhum. Nestes casos a necessidade de melhoria do produto é nenhuma – 0, talvez possa se reprojeter com a finalidade de diminuir o investimento; e
- Quando a importância de um determinado requisito de usuário é a baixa (0 e 1) e a

satisfação é baixa (0 e 1), então o não atendimento é baixo. Nestes casos a necessidade de melhoria do produto é pequena – 1, talvez possa se investir numa pequena melhoria para aumentar a satisfação do cliente.

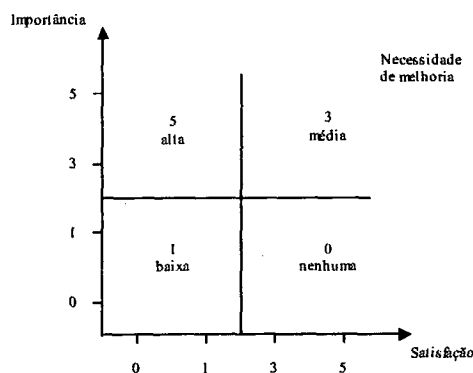


Figura 4-8 – Escala de avaliação do produto com base na opinião do cliente. Adaptada de Amaro (1997)

As duas primeiras considerações são mais fáceis de avaliar, no entanto as duas últimas necessitam de um apoio da gerência. A decisão de não investir, ou até mesmo diminuir o investimento, em determinadas características do produto depende de uma posição clara da estratégia da empresa.

A segunda situação consiste em avaliar o produto segundo aquelas características ou requisitos que os clientes não opinaram sobre sua importância e satisfação. Nestes casos a equipe de reprojeto deve avaliar o produto segundo a necessidade de melhoria. Nesta avaliação propõe-se a escala indicada na Tabela 4-5.

O resultado desta etapa é visualizado no Quadro 4-2, que representa o quanto e em quais aspectos o produto não está atendendo os requisitos de usuários. Estas informações, em conjunto com os requisitos ambientais os quais serão determinados na Etapa 1.2, servem de apoio a determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto.

Tabela 4-5 – Valores da avaliação da necessidade de melhoria do produto segundo um determinado requisito de usuário

Valor	Avaliação
0	Nenhuma
1	Pouca
3	Média
5	Muita

4.4.2 Etapa 1.2 – Elaboração de requisitos ambientais

A elaboração de requisitos ambientais é conduzida com base na análise do impacto ambiental durante todo o ciclo de vida. Esta atividade é apoiada pelo método da análise do ciclo de vida (ACV).

A ACV³⁷ consiste do inventário, avaliação e comparativa dos impactos do produto no meio ambiente. Sua aplicação completa compreende a consideração de uma grande quantidade e variedade de informações e por isso consome muitos recursos e tempo. Além disso, necessita de um tipo de conhecimento que os projetistas não estão habituados, como por exemplo: a classificação e caracterização de impactos ambientais.

Por outro lado, o objetivo da ACV na fase de reprojeto informacional é descrever o ciclo de vida do produto e analisar, em termos gerais, o impacto ambiental do produto para a elaboração de requisitos ambientais, que são direcionados à redução do impacto ambiental do produto. Para tanto, não é necessário uma descrição exaustiva da relação do produto com o meio ambiente, mas sim uma visão geral do impacto ambiental gerado pelo produto durante o ciclo de vida. Desta forma, propõem uma ACV-simplificada para auxiliar o projetista nesta tarefa.

A ACV-simplificada contém as atividades de definição do objetivo e escopo, de inventário dos impactos ambientais e a de valoração destes. Esta abordagem da ACV é dita simplificada pois não compreende as fases de classificação e caracterização do impacto ambiental, que também constituem a ACV completa.

A ACV-simplificada³⁸ baseia-se principalmente no método de avaliação de danos ambientais denominado de EI99³⁹ (Eco indicador 99). O EI99 é um número que expressa o dano ambiental de um produto ou processo durante todo o ciclo de vida, quando maior este número maior é o dano ao ambiente.

Ao final desta etapa têm-se descritas as informações referentes às oportunidades de melhoria ambiental do produto descritas na forma de requisitos ambientais. Estes requisitos auxiliarão na etapa seguinte, na qual determina-se o nível de reprojeto mais adequado à redução do impacto ambiental do produto.

³⁷ Uma descrição mais completa da ACV é apresentada no Anexo C.

³⁸ As tarefas necessárias à aplicação da ACV-simplificada é apresentada no Anexo D.

³⁹ O EI99 é apresentado no item C.3 do Anexo C.

4.4.3 Etapa 1.3 – Determinação do nível de reprojeto

O reprojeto de um produto pode ocorrer em três diferentes níveis: original, adaptativo ou paramétrico. A determinação do nível de reprojeto mais adequado a um determinado produto depende de informações sobre diferentes características, das quais se destaca o desempenho ambiental do produto.

A determinação do nível de reprojeto mais adequado caracteriza-se como um processo de tomada de decisão. Nesta tomada de decisão, as alternativas para seleção são os níveis de reprojeto e os critérios de seleção são os requisitos de usuários e ambientais. Verifica-se, então, o quanto cada nível está relacionado a cada requisito.

De posse dos requisitos de usuários e ambientais e suas respectivas avaliações, realiza-se o preenchimento da matriz de seleção do nível de reprojeto. Esta matriz é representada na Figura 4-9.

A utilização desta matriz consiste em determinar o relacionamento entre cada requisito e cada nível de reprojeto. Este relacionamento corresponde ao quanto as atividades, próprias de cada nível de reprojeto, podem atender um determinado requisito. Os passos mais detalhados para o preenchimento da matriz de determinação do nível de reprojeto são apresentados a seguir:

- Na coluna **Avaliação (Ai)** preenche-se com os valores da avaliação de cada requisito, tanto ambiental quanto de usuários;
- As colunas **Relacionamento (Rin)** são preenchidas avaliando o relacionamento entre o requisito (i) e o nível de reprojeto (n). Sendo que a escala de relacionamento é a apresentada na Tabela 4-6. Para auxiliar no estabelecimento deste relacionamento pode-se utilizar a definição do níveis de reprojeto, apresentado na Tabela 3-1; e
- A linha **V(n)** é o valor do nível de reprojeto n. É calculado com: $V(n) = \sum Ai \cdot Rin$.

A tarefa de selecionar o nível de reprojeto é feita através da soma dos valores de cada nível de reprojeto, obtidos na Figura 4-9, segundo as seguintes orientações:

- Seleciona-se o nível que obteve a maior soma dos valores; e
- Em caso de empate, opta-se pelo nível mais abrangente: original é mais abrangente do que o adaptativo, e o adaptativo é mais abrangente do que o paramétrico.

Selecionado o nível de reprojeto, passa-se para a elaboração das especificações de reprojeto.

Tabela 4-6 – Escala de relacionamento entre requisitos e nível de reprojeto

Valor do relacionamento	Descrição
0	O requisito não tem qualquer relação com o nível de reprojeto, ou seja as atividades de reprojeto, próprias deste nível, não abordam ações de projeto relacionadas ao requisito.
1	O requisito tem pouca relação com o nível de reprojeto, ou seja as atividades de reprojeto, próprias deste nível, abordam ações de projeto relacionadas ao requisito, mas não são suficientes.
3	O requisito tem relação média com o nível de reprojeto, ou seja as atividades de reprojeto, próprias deste nível, abordam ações de projeto que atenda medianamente o requisito.
5	O requisito tem relação forte com o nível de reprojeto, ou seja as atividades de reprojeto, próprias deste nível, abordam ações de projeto suficientes para atender completamente o requisito.

i	Requisito	Avaliação (Ai)	Relacionamento (Rin)		
			Original	Adaptativo	Paramétrico
Valor do nível (Vn)					

Figura 4-9 – Matriz de seleção do nível de reprojeto.

A determinação do nível de reprojeto é uma importante atividade na melhoria do produto, pois corresponde determinar quais as tarefas subseqüentes que serão necessárias à melhoria deste. É por isso que esta atividade é anterior à elaboração das especificações para o reprojeto, pois se entende que as especificações devem ser elementos orientativos para as atividades da equipe de reprojeto. Portanto devem ser elaboradas segundo as tarefas que a equipe de reprojeto executará.

4.4.4 Etapa 1.4 – Estabelecimento das especificações para o reprojeto

Nesta etapa procura-se elaborar os requisitos de reprojeto a partir dos requisitos de usuários e ambientais⁴⁰, que são a expressão técnica dos primeiros. O conjunto dos requisitos de reprojeto apresentados na forma utilizável no processo de reprojeto são as especificações de

⁴⁰ Orientações para a transcrição dos requisitos de usuários em requisitos de projeto são apresentado em Fonseca (2000, pp. 60-61). Estas orientações também podem ser utilizadas para os requisitos ambientais.

reprojeto.

A tarefa desta etapa consiste em **hierarquizar os requisitos de reprojeto**. Propõe-se como método de apoio a esta tarefa a primeira matriz do método QFD, conhecida como “casa da qualidade” – CQ. Este método consiste de uma matriz, cuja a forma e os principais elementos são apresentados na Figura 4-10.

Não é objetivo deste trabalho detalhar a CQ e sua aplicação⁴¹, restringiu-se em apresentar os elementos necessários para incluir a consideração da demanda ambiental neste método. Para tanto utiliza-se de uma síntese das atividades e problemas na utilização da CQ (Ogliari, 1997, p. 27). A partir desta síntese procurou-se identificar quais atividades do método que devem ser adaptadas para a inclusão da consideração ambiental. Estas atividades são listadas a seguir:

- Levantamento e sistematização dos requisitos de usuário e ambientais; e
- Tradução dos requisitos de usuário e ambientais em requisitos de projeto.

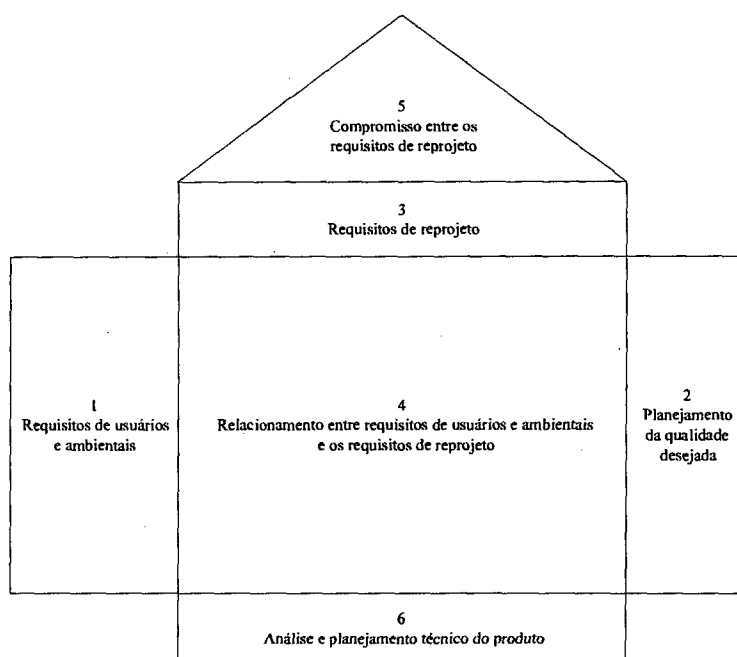


Figura 4-10 – Forma e principais elementos da casa da qualidade.
Adaptada de Ogliari (1997, p. 6).

⁴¹ Vários autores apresentam estudos mais detalhados sobre a CQ, por exemplo: Fonseca (1996, pp. 84-99); Ogliari (1997) e Ogliari (1999, pp. 279-298).

A primeira atividade já foi compreendida na Etapa 1.2, na qual prescreveu-se meios para elaborar os requisitos ambientais através dos resultados encontrados na ACV-simplificada.

Por outro lado, a atividade de tradução dos requisitos de usuário e ambientais em requisitos de reprojeto será baseada na resposta ao questionamento a cada requisito declarado: *Como pode-se atender este requisito específico?*

A resposta a este questionamento deve ser expressa de forma em que se possa relacionar uma métrica ao requisito de reprojeto, permitindo a determinação de valores metas para este.

Devido a especialidade desta dissertação na inclusão da demanda ambiental no reprojeto de produtos, apresenta-se na Tabela 4-7 um conjunto de indicativos para a elaboração de requisitos de reprojeto relacionados aos requisitos ambientais.

Estes indicativos foram elaborados segundo as estratégias contidas no LiDS⁴², portanto tem características genéricas. Esta lista deve ser adaptada para o problema de reprojeto específico.

Os requisitos de reprojeto servirão de base na tarefa de **elaborar a lista de especificações para o reprojeto**, que são os requisitos hierarquizados e selecionados com a aplicação da CQ. As especificações de reprojeto serão utilizadas pela equipe nas outras fases do processo de reprojeto, portanto devem ser descritas segundo o nível de reprojeto selecionado para o produto.

No reprojeto original deve-se atentar para especificações que orientem o trabalho da equipe nas alterações funcionais e nos princípios de solução. Por outro lado, as especificações para o reprojeto adaptativo devem apresentar orientações sobre alterações na configuração do produto. Por fim, no reprojeto paramétrico, deve-se elaborar requisitos que expressem alterações paramétricas.

As especificações de reprojeto devem ser apresentadas segundo o Quadro 4-3, no qual as especificações são transcritas na ordem obtida da CQ, sendo classificadas segundo critérios que a equipe de reprojeto considerar mais conveniente. O preenchimento deste quadro é descrito a seguir:

- Na coluna **No.** preenche-se a prioridade do requisito de reprojeto. Esta informação é obtida da CQ;

⁴² O detalhamento apresentado no Anexo A sobre as estratégias contidas no LiDS, também pode auxiliar a equipe de reprojeto na elaboração de requisitos de reprojeto ambiental.

- **Unid., Objetivo, Sensor e Saída indesejada** são, respectivamente, unidade de medição, valor meta para o requisito, a forma de medida e as saídas indesejáveis relacionadas ao requisito; e
- Na coluna **Comentário** registra-se, quando necessário observações referentes a especificação.

Tabela 4-7 – Indicativos para elaboração de requisitos de reprojeto ambiental.

Estratégia ambiental	Indicativos
Desenvolvimento de novos concepções	Nesta estratégia são relacionados requisitos funcionais. Estes requisitos dependem do tipo de produto
Seleção de material de baixo impacto	Maior utilização de material reciclável
	Maior utilização de material reciclado
	Maior utilização de material não tóxico
	Menor utilização de material de fontes não renováveis
Redução de recursos	Menor variedade de material
	Menor peso
Otimização das técnicas de produção	Utilização de técnicas de produção que resultem em menor desperdício
	Utilização de técnicas de produção que gere menor quantidade de efluentes
	Otimização de técnicas de montagem
Otimização do sistema de distribuição	Menor volume
	Embalagens descartáveis
	Planejar meios de transporte menos poluentes
Redução do impacto do uso	Maior eficiência energética
	Utilização de indicativos sobre a reciclabilidade dos materiais
	Diminuição do consumo de materiais no uso
	Diminuição das emissões (no ar, na água e no solo) no uso
Otimização do tempo de vida	Facilitar a manutenção
	Facilitar a desmontagem
	Evitar o uso de material tóxico no reparo
	Estrutura modular que possibilite a reutilização de parte ou de todo o produto
	Reduzir o uso de recursos no reparo do produto
Otimização do fim de vida	Identificação da reciclabilidade dos materiais que compõem o produto e
	Facilitar a separação de materiais diferentes

Quadro 4-3 – Modelo típico para preencher as especificações de reprojeto. Adaptado de Fonseca (1996, p. 106).

No.	Especificações de reprojeto	Unid.	Objetivo	Sensor	Saída indesejadas

Ao final do reprojeto informacional obtêm-se duas principais saídas: a determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto e as especificações de reprojeto. Estas informações devem ser apresentadas aos responsáveis pelo produto para que se possa aprovar a continuação do processo de reprojeto. Uma vez aprovada a continuação do reprojeto o processo de

modificação do produto depende do nível de reprojeto escolhido:

- No reprojeto original segue-se para a fase de reprojeto conceitual;
- No reprojeto adaptativo segue-se para a fase de reprojeto preliminar; e
- No reprojeto paramétrico segue-se para a fase de reprojeto detalhado.

A seguir apresenta-se o detalhamento do reprojeto conceitual.

4.5 Fase 2.0 – Reprojeto conceitual

O reprojeto conceitual corresponde a primeira fase de um reprojeto original. Uma vez optado pela realização do reprojeto original e de posse das especificações para o reprojeto procura-se orientar as modificações na concepção do produto, que poderão ocorrer na estrutura funcional e/ou nos princípios de solução. Estas modificações são as que possibilitam mudanças mais fundamentais no produto, como por exemplo, agrupamento funcional, inclusão ou exclusão de funções, mudança em princípio de operação, entre outras.

Estas mudanças são realizadas através de atividades de análise, síntese e avaliação, tanto da estrutura funcional quanto dos princípios de solução. Na RePMA estas atividades são direcionadas às alterações que possam proporcionar redução no impacto ambiental do produto, sem com isso negligenciar outras demandas como por exemplo as econômicas e técnicas.

Para tanto, as atividades nesta fase tem dois itens balizadores: os requisitos de reprojeto e as especificações para o reprojeto original. O primeiro é utilizado como critério de análise e avaliação e a segunda é serve de indicativos que devem orientar as atividades de sínteses.

Desta forma estes balizadores são entradas em todas as etapas desta fase, de maneira que estão subentendidas no fluxo de informações desta fase, conforme Figura 4-11.⁴³

Ao final desta fase obtém-se uma concepção modificada do produto. Esta concepção é avaliada para verificar o ganho ambiental obtido e as possibilidades de ganhos das fases seguintes. Esta avaliação é apresentada aos responsáveis pelo produto para a aprovação das modificações realizadas e da continuidade do processo de reprojeto.

⁴³ Para evitar sobrecarregamento de linhas, optou-se em não representar estas entradas na Figura 4-11.

4.5.1 Etapa 2.1 – Recuperação e avaliação da concepção do produto

Esta etapa consiste basicamente de duas tarefas. A primeira tarefa é **recuperar a concepção do produto**. A concepção do produto é descrita através da estrutura funcional e morfológica do produto. A primeira descrição é o conjunto de funções que compõem o produto estruturadas segundo os fluxos de matéria, energia e informação entre elas. A segunda descrição corresponde ao conjunto de princípios de solução (PSs) que realizam a estrutura funcional do produto. Na RePMA prescreve-se o método do inverso da síntese funcional como suporte a esta tarefa. Este método é descrito no Anexo B.

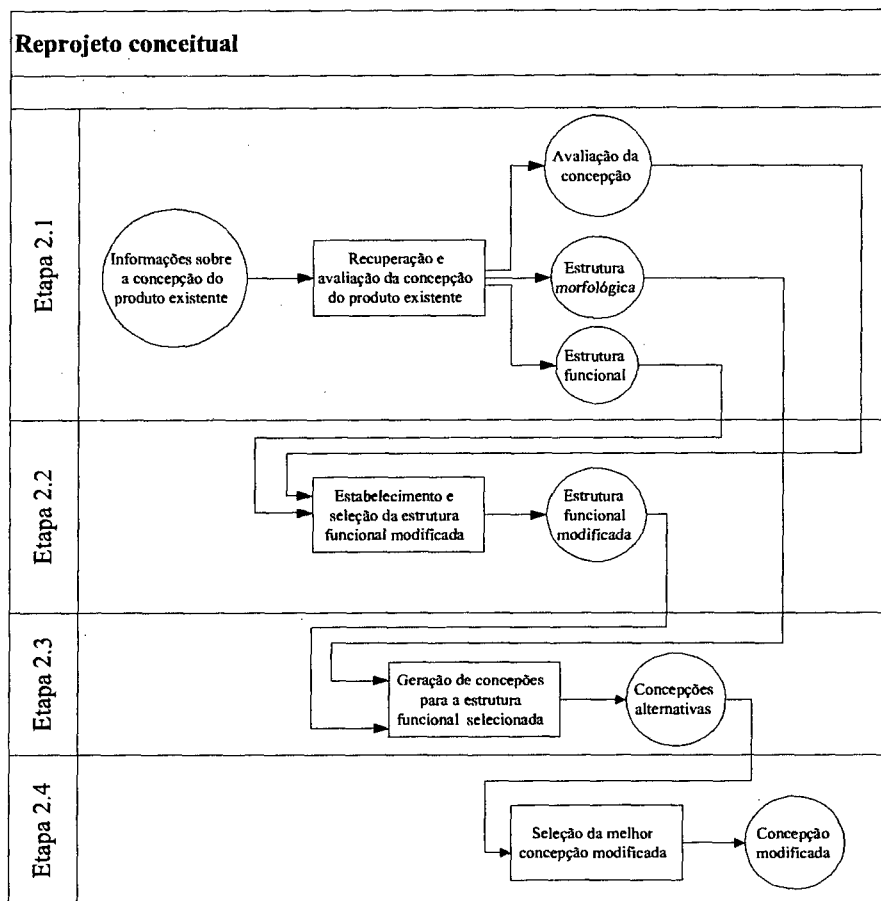


Figura 4-11 – Fluxo de informações no reprojeto conceitual.

A próxima tarefa, **avaliação da concepção do produto**, corresponde ao relacionamento entre a concepção original e os requisitos de reprojeto, estabelecendo valores para estes. Como suporte a esta tarefa prescreve-se a matriz de avaliação da concepção, ilustrada na Figura 4-12. O preenchimento desta matriz segue as orientações a seguir:

- Na coluna Importância do requisito (**Iri**) preenche-se com os valores da importância dos requisitos obtidos na aplicação da CQ;
- As colunas **PSj** são preenchidas com os PSs do produto. Deve-se lembrar que cada PS está relacionado a um conjunto de funções;
- Avalia-se o quanto cada PS/função relaciona-se com cada requisito de reprojeto. Este relacionamento (**Rij**) é valorado segundo a escala proposta na Tabela 4-8;
- A importância de cada PS/função é obtida com: $IPSj = \sum Iri \cdot Rij$; e por fim
- Realiza-se a hierarquização dos PSs/funções segundo a sua importância.

i	Requisitos de reprojeto	Importância (Iri)	PSs da concepção do produto			
			PS1	PS2	PS2	PSj
Importância do PS (IPSj)						
Hierarquização dos PSs						

Figura 4-12 – Matriz de avaliação da concepção do produto.

Tabela 4-8 – Escala para avaliação da concepção do produto.

Valor	Valoração dos relacionamento entre PS/função e requisito de reprojeto
0	Nenhum
1	Pouco
3	Médio
5	Alto

A hierarquização dos PSs/funções com relação ao grau de atendimento dos requisitos de reprojeto, auxiliará na identificação dos aspectos da concepção do produto a serem modificados.

4.5.2 Etapa 2.2 – Estabelecimento e seleção da estrutura funcional modificada

Esta etapa corresponde às atividades de alterações na estrutura funcional do produto, recuperada na Tarefa 2.1.1 com o inverso do síntese funcional. A maior dificuldade nesta etapa consiste em considerar a demanda ambiental num contexto abstrato, característico da descrição funcional. Por outro lado, é a etapa que a equipe de reprojeto possui maior liberdade de modificações no produto, pois estas são realizadas abstraindo-se dos princípios de solução.

A primeira tarefa desta etapa é **avaliar as influências das funções no impacto ambiental do produto**. Consiste em avaliar a contribuição de cada função da estrutura funcional

no impacto ambiental do produto, abstraindo-se dos princípios de solução. Deve-se atentar que as principais contribuições das funções no impacto ambiental do produto ocorrem na fase de uso do produto em seu ciclo de vida. Esta avaliação consiste num conjunto de atividades apresentadas a seguir.

Identificar as funções que influenciam, por exemplo, no consumo de recursos e emissão de resíduos na fase de uso do produto. As funções que possuem maior influência no impacto ambiental são, em geral, as funções de interface do produto com o ambiente externo, como por exemplo, num caso de uma moenda de cana: *Produzir movimento*, *Tratar caldo* e *Tratar bagaço*.

Entretanto outras funções também podem influenciar no impacto ambiental do produto, como por exemplo a função *Separar caldo do bagaço*. Mesmo não sendo de interface, também tem influência no impacto ambiental do produto pois é a principal responsável pelo consumo de recursos numa moenda de caldo de cana. Essas funções exemplificadas e seus fluxos podem ser observados na Figura 4-13.

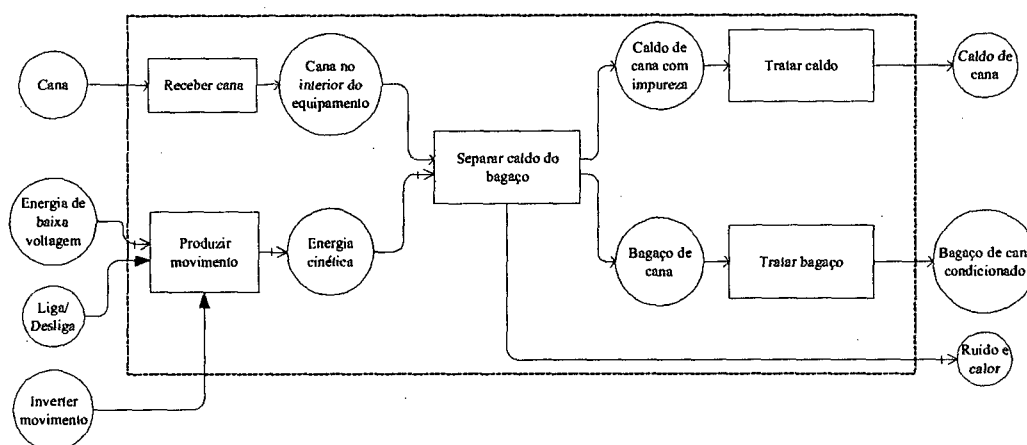


Figura 4-13 – Desdobramento da função global de uma moenda de caldo de cana⁴⁴. Adaptada de Silva Junior *et al* (1999).

Um outro tipo de função que deve ser destacada é a que pode levar o usuário cometer um erro de uso, relacionado com o impacto ambiental do produto. Estas funções estão geralmente relacionadas ao ajuste de operação do produto pelo usuário. Por exemplo, na função *Selecionar nível de potência* num aspirador de pó, o usuário pode selecionar um nível de

⁴⁴ A simbologia adotada na descrição da estrutura funcional é apresentada no Anexo B.

potência que não esteja adequado à carga de trabalho, ocasionando um maior consumo de energia, (Dannheim *et al*, 1997).

As informações obtidas anteriormente (funções e sua influência no impacto ambiental) são organizadas segundo o Quadro 4-4. O preenchimento deste quadro segue as orientações a seguir:

- Na coluna **Consumo** registra-se o consumo de material ou energia do produto relacionada à **Função**. Pode-se relacionar o consumo de energia às funções *Produzir movimento* e *Separar caldo do bagaço* no exemplo da moenda de caldo de cana; e
- Na **Emissão** registra-se a emissão de material ou energia do produto relacionada à **Função**. Pode-se relacionar a emissão de ruído e calor à função de *Separar caldo do bagaço* no exemplo da moenda de caldo de cana.

Quadro 4-4 – Quadro de avaliação ambiental das funções.

Função	Consumo		Emissão	
	Material	Energia	Material	Energia

As informações descritas no Quadro 4-4 servem de suporte as atividades da próxima tarefa, que é **propor alterações na estrutura funcional**. As alterações na estrutura funcional correspondem à geração de alternativas com base na estrutura do produto existente. Estas alterações devem ser direcionadas à redução do impacto ambiental do produto e ao atendimento das outras necessidades dos clientes.

A equipe de reprojeto deve gerar alternativas à estrutura funcional através de operações com as funções, tais como inserir, suprimir, agrupar, desagrupar, entre outras. Estas alterações devem ser baseadas na análise realizada anteriormente, com o intuito de reduzir o impacto ambiental das funções. Por exemplo, nos televisores modernos inserindo-se a função de *Desligar automaticamente o aparelho* depois de um determinado tempo, proporciona-se uma economia de energia.

Uma outra alteração que pode gerar ganhos ambientais é o agrupamento de funções com alto grau de importância em módulos funcionais, que poderão ser reutilizados no fim de vida do produto. Por exemplo, na estrutura funcional da moenda de caldo de cana, as funções *Tratar caldo* e *Tratar bagaço* representam um agrupamento de funções que foi proposto para atender

uma exigência de tornar o processo mais higiênico (Silva Junior *et al*, 1999). Os PSs que atendem esta função poderiam ser reutilizados em novos produtos, desde que a empresa tenha nas suas estratégias ambientais o reaproveitamento de módulos do produto existente.

As modificações na estrutura funcional são atividades de síntese, com o objetivo de gerar alternativas a esta. Nesta síntese, a equipe de reprojeto deve ter como base as informações contidas no Quadro 4-4, com os seguintes questionamentos:

- Existe possibilidade de reduzir o consumo de alguma função através da inclusão de outra função ou da supressão desta?
- Existe possibilidade reduzir a emissão de alguma função através da inclusão de outra função ou da supressão desta?
- As funções com alta importância podem ser agrupadas em módulos funcionais com possibilidade de reuso no fim do ciclo de vida do produto?
- Quais as alternativas para as possíveis funções⁴⁵ melhores colocadas na hierarquização realizada na Etapa 2.1?
- Pode-se incluir mais funcionalidades ao produto, suprimindo a necessidade de outros produtos?

Outras questões podem ser elaboradas pela própria equipe de reprojeto para atender características específicas do produto. As respostas destas questões e as especificações para o reprojeto devem ser utilizadas como orientação para a elaboração de estruturas funcionais alternativas. Existem outras modificações que podem representar melhorias ambientais em termos funcionais sem necessariamente representar mudanças na estrutura funcional. Por exemplo, incluir orientações para evitar o mau uso do produto.

Além destes questionamentos, a geração de estruturas funcionais alternativas deve ser guiada pelos requisitos de reprojeto. Os requisitos de reprojeto devem ser lidos de forma identificar necessidades de mudanças funcionais.

Uma vez gerado um conjunto de alternativas para a estrutura funcional, realiza-se a próxima tarefa que é **selecionar a estrutura funcional** que melhor atenda aos requisitos de usuários e ambientais. Para tanto utiliza-se a matriz de seleção de estruturas funcionais proposta na Figura 4-14. A seleção é feita com base no confronto das estruturas funcionais alternativas

⁴⁵ Deve-se lembrar que as funções foram hierarquizadas em conjunto

com os requisitos de usuários e ambientais.

Na aplicação desta matriz, avalia-se o atendimento de cada requisito por cada alternativa. Os critérios para os relacionamentos são:

- Se a alternativa *j* atende completamente o requisito *i* o valor da avaliação *vij* é 5;
- Se a alternativa *j* atende parcialmente o requisito *i* o valor da avaliação *vij* é 3; e
- Se a alternativa *j* atende pouco o requisito *i* o valor da avaliação *vij* é 1.

Realizada esta avaliação calcula-se o somatório de cada coluna através da equação: $S_j = \sum(A_i \cdot v_{ij}) / nl$. Onde *Ai* é a avaliação do produto segundo o requisito de usuários e ambientais, obtidas no Quadro 4-2, e *nl* é o número de requisitos.

Uma vez selecionada a estrutura funcional modificada que mais atenda as necessidades dos clientes passa-se para a próxima etapa, que consiste na geração de concepções físicas para a estrutura funcional selecionada.

Requisitos de usuário e ambientais	Avaliação	Estruturas funcionais alternativas		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa <i>j</i>
Requisito 1				
Requisito 2				
Requisito <i>i</i>				
Somatório das colunas				
Classificação obtida				

Figura 4-14 – Matriz de seleção de alternativas de estrutura funcionais. Adaptada de Marinbondo (2000, p. 238).

4.5.3 Etapa 2.3 – Geração de concepções para a estrutura funcional selecionada

Esta etapa consiste na geração PSs e sua combinação em concepções alternativas (CAs) que realizem a estrutura funcional selecionada na etapa anterior. Nesta etapa passa-se de uma descrição abstrata (estrutura funcional) para uma descrição mais concreta (CAs). Esta descrição em termos mais concretos aumenta a facilidade da consideração ambiental, mesmo que a concepção ainda não se apresente com uma configuração detalhada e nem com uma definição dos parâmetros de fabricação e de funcionamento. Na RePMA, propõe-se uma seqüência de tarefas com orientações para a consideração da demanda ambiental nas atividades desta etapa.

A primeira tarefa é **gerar princípios que atendam as funções da estrutura funcional selecionada**. Nesta tarefa destaca-se a criatividade dos projetistas, pois procura-se gerar alternativas de PSs para cada função. Diferentes autores tratam sobre o tema da criatividade, (Back, 1983, pp. 47-62; Pahl e Beitz, 1996, pp. 71-78 e Baxter, 1998, pp. 51-88), dos quais

depreende-se que mesmo a criatividade sendo difícil de ser sistematizada, é possível estimulá-la através de métodos de suporte a equipe de reprojeto. Nestes mesmos trabalhos encontra-se um conjunto de métodos que podem auxiliar os projetistas nesta tarefa.

Na RePMA sugere-se que a equipe de reprojeto faça uma pesquisa destes métodos para selecionar os mais adequados para o problema específico do produto que está sendo reprojeto. De qualquer forma não se recomenda fazer restrições no momento da criação para evitar bloqueio na criatividade dos membros da equipe, entretanto criatividade deve ser direcionada para resolução do problema específico que é atender as especificações de reprojeto. Para ajudar a organização dos PSs gerados propõem-se a utilização da matriz morfológica apresentada esquematicamente na Figura 4-15, (Pahl e Beitz, 1996, p. 162).

A primeira coluna da matriz morfológica é preenchida com as funções da estrutura funcional selecionada na etapa anterior. A transcrição destas funções na matriz morfológica fica a critério da equipe de reprojeto podendo ser agrupadas ou detalhadas em atributos mais elementares de forma que auxilie a geração de PSs para a função.

Os PSs são preenchidos nas colunas ao lado de cada função. Recomenda-se que sejam descritos através de desenhos esquemáticos, caso não seja possível esta descrição, pode-se adotar uma descrição textual. Sugere-se que os PSs da concepção do produto existente sejam os primeiros a compor a matriz morfológica do produto e em seguida preenche-se com os outros PSs gerados pela equipe.

Função	1	2	j
<i>F1</i>	<i>PS11</i>	<i>PS12</i>	
<i>F2</i>	<i>PS21</i>	<i>PS22</i>	<i>PS2j</i>
<i>F3</i>	<i>PS31</i>	<i>PS32</i>	
<i>Fi</i>	<i>PSi1</i>	<i>PSi2</i>	<i>PSij</i>

Figura 4-15 – Matriz morfológica.

De posse da matriz morfológica do produto preenchida passa-se para a tarefa de **avaliar a influência dos PS no impacto ambiental** do produto. Nesta tarefa pretende-se destacar os PS em relação ao impacto ambiental do produto. Para tanto, sugere-se que a equipe de reprojeto confronte cada PS com o impacto ambiental do produto, obtido na ACV-simplificada. Deste confronto os PS são destacados na matriz morfológica utilizando cores:

- Não se destaca o PS nos casos em que não se consiga avaliar a sua influência no impacto ambiental ou quando a utilização deste PS não alterar o impacto ambiental

do produto;

- Verde, caso o PS represente redução dos principais impactos ambientais do produto;
- Amarelo, caso o PS represente redução de parte dos principais impactos ambientais do produto; e
- Vermelho, caso o PS represente aumento no impacto ambiental do produto ou descumprimento de alguma legislação ambiental.

Esta avaliação qualitativa dos PS auxilia a equipe de reprojeto na tarefa de **gerar concepções alternativas (CAs)** para o produto. Esta tarefa consiste em combinar os PS listados na matriz morfológica, conforme indicado na Figura 4-16.

A combinação destes princípios pode ser considerado um processo criativo, no qual a equipe de reprojeto deve ter sua liberdade de ação. No entanto, para tornar o processo de geração mais rápido e dedicado à melhoria ambiental, sugere-se que se dê preferência à combinação de PS verdes, depois os amarelos e por fim os vermelhos. Além do critério ambiental, deve-se atentar para a compatibilidade entre os princípios de solução.

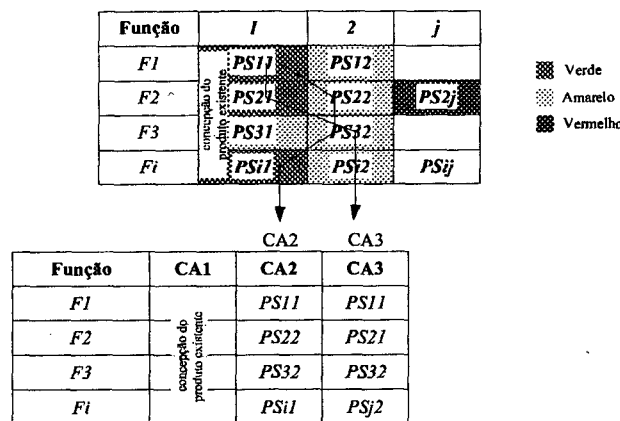


Figura 4-16 – Combinação de princípios de solução na matriz morfológica.

Estas combinações correspondem às concepções alternativas que passarão por um processo de seleção.

4.5.4 Etapa 2.4 – Seleção da melhor concepção modificada

No processo de seleção da melhor concepção procura-se orientar a equipe de reprojeto na seleção das CAs geradas na etapa anterior segundo critérios ambientais, técnicos e de atendimento dos requisitos de usuários. Entretanto, mais do que simplesmente selecionar, este

processo pode auxiliar a equipe de reprojeto no aprimoramento das alternativas geradas.

Para tanto esta etapa compreende três tarefas já destacadas em outros trabalhos (Ullman, 1992, pp. 168-184). A primeira tarefa consiste em **avaliar a viabilidade técnica e ambiental das CAs geradas**. Entende-se viabilidade técnica como a disponibilidade tecnológica necessária à realização de uma dada CA. Por outro lado, a viabilidade ambiental é a não existência de características que transgridam algum regulamento ambiental.

Deve-se avaliar cada alternativa segundo a viabilidade tecnológica e ambiental de sua realização. Nesta avaliação deve-se evitar preconceitos em relação as novidades que por ventura estejam presentes nas CAs, por conseguinte o descarte de qualquer alternativa, segundo estes critérios, deve ser justificado de forma clara e coerente.

A próxima tarefa é **avaliar absolutamente as CAs** segundo o atendimento dos requisitos de usuários e ambientais por cada CA. Para auxiliar esta tarefa propõem-se aplicação da matriz representada na Figura 4-17.

Requisito	CA1	CA2	CAj
Requisito 1			
Requisito 2			
Requisito i			

Figura 4-17 – Matriz passa / não passa. Adaptada de Back e Forcellini (1999).

No preenchimento desta matriz os requisitos de usuários e ambientais são listados na coluna **Requisito**, a concepção do produto existente (CA1) e as CAs geradas na etapa anterior são locadas nas outras colunas.

A avaliação é feita transformando cada requisito num questionamento a cada alternativa, verificando se esta atende ao requisito. Se atender o requisito, marca-se a célula de interseção entre a linha e a coluna com **P** (passa), caso contrário marca-se com **NP** (não passa). A demanda ambiental nesta avaliação está presente através dos requisitos ambientais declarados na fase do reprojeto informacional.

Além de permitir a seleção das CAs segundo o atendimento das necessidades, eliminando aquelas com grande número de **NP**, este método pode ser um meio de aprimoramento das alternativas.

As CAs com poucos **NP** podem retornar às outras etapas para eliminar os pontos negativos que correspondem aos “não-passa”. Nesta iteração pode-se incorporar características das outras alternativas. Contudo a decisão por esta iteração depende do consenso da equipe de reprojeto.

E por fim, a última tarefa de seleção consiste em **avaliar relativamente as CAs**. Nesta tarefa propõem-se a utilização da matriz de avaliação, baseada no método de Pugh (Pugh, 1990, pp. 74-81). A forma básica desta matriz é apresentada na Figura 4-18. Este método consiste basicamente no confronto de idéias com critérios de comparação e seus respectivos pesos. A aplicação deste método para a seleção de CAs segue os passos a seguir, (Ullman, 1992, pp. 175-178):

1) Determinar os critérios de comparação

Os critérios de comparação dependem do objetivo da avaliação. Neste caso em particular pretende-se selecionar a melhor CA tendo como critério o atendimento dos requisitos de reprojeto.

2) Estabelecer as idéias para a comparação

As idéias para a comparação são as CAs. É importante que as alternativas estejam num mesmo grau de representação para que se possa fazer a seleção segundo uma base comum.

3) Gerar os valores de comparação

Os valores de comparação (vc_{ij}) são gerados de uma avaliação relativa de cada alternativa (a_j) segundo uma alternativa de referência, tendo como base cada critério de comparação (cci). Este processo de avaliação dá-se em dois momentos. Numa primeira avaliação sugere-se adotar a CA1 (concepção do produto existente) como referência e na segunda avaliação adota-se como referência a CA que se destacou na avaliação anterior.

Os vc_{ij} , por sua vez, são determinados através da comparação de cada alternativa com a referência. Se alternativa atender de melhor forma um determinado critério do que a referência recebe um valor +1, caso atenda de forma inferior recebe um valor -1, e caso atenda de forma semelhante recebe um valor 0.

A equipe de reprojeto pode adotar outra escala de comparação, por exemplo uma que varie de +3 à -3. A opção da escala depende do grau de refinamento desejado para a comparação e também da preferência da equipe.

4) Gerar os totais

O total de cada alternativa é gerado através da equação: $T_j = \sum p_{cci} \cdot vc_{ij}$.

As alternativas melhores colocadas devem passar por um novo processo de avaliação, escolhendo a melhor colocada como a nova referência. Desta forma, evidencia-se o melhor conceito segundo os critérios adotados.

Ao final desta tarefa obtém-se um indicativo da melhor concepção modificada para o produto. Este indicativo representa os resultados das modificações na concepção do produto

existente levando em conter os requisitos ambientais e de usuários.

Essa concepção deve ser apresentada aos responsáveis pelo projeto para a análise dos ganhos ambientais obtidos na concepção modificada selecionada, bem como o potencial de ganho nas próximas fases da RePMA. A principal dificuldade em determinar os ganhos ambientais da concepção modificada, em relação à existente, é a diferença no nível de detalhamento entre suas descrições. A concepção modificada é descrita de forma mais abstrata do que a concepção do produto existente, pois já se tem determinado o leiaute detalhado e os parâmetros de engenharia do mesmo.

		2) Ideias para comparação (aj)
1) Critérios de comparação (cci)	Pesos (pci)	3) Valores de comparação (vcij)
		4) Totais

Figura 4-18 – Matriz de avaliação. Adaptada de Back e Forcellini (1999, p. 6-4)

Nos casos nos quais as modificações não foram muito profundas pode-se optar em aplicar a ACV-simplificada para determinar o ganho ambiental, para tanto será necessário fazer suposições para permitir a avaliação da concepção modificada. Por exemplo os materiais e processos de fabricação sendo considerados semelhantes, quando possível, aos da concepção do produto existente. A desvantagem em utilizar a ACV-simplificada nestes casos é o tempo necessário para a sua aplicação e também a quantidade e influência das suposições realizadas. Por outro lado tem a vantagem de apresentar o ganho ambiental em termos quantitativos.

Uma vez determinado o ganho ambiental da concepção modificada, a equipe de reprojeto deve fazer uma projeção dos possíveis ganhos que poderão ser obtidos na fase de reprojeto preliminar e detalhado. Esta projeção baseia-se nas possibilidades de ganhos obtidos pela realização do leiaute e no detalhamento da concepção modificada.

Os resultados dessa etapa, e como consequência do reprojeto conceitual, devem ser apresentados aos responsáveis pelo produto, o qual deve-se dar com o reprojeto preliminar e detalhados. A proposição de métodos e ferramentas para essas fases não fazem parte do escopo desse trabalho, conforme já mencionado nos objetivos.

4.6 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se a metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente (RePMA), com o detalhamento das fases de reprojeto informacional e conceitual. A RePMA caracteriza-se como uma metodologia de natureza prescritiva de desenvolvimento de produto na qual se propõem a sistematização do processo de reprojeto. As atividades são distribuídas em fases, etapas e tarefas. Por outro lado, caracteriza-se com uma abordagem que procura reduzir o impacto ambiental do ciclo de vida do produto, através de alterações no projeto deste. Para tanto, apresentou-se um conjunto de elementos (orientações e métodos) de suporte as atividades da equipe de reprojeto na identificação e redução do impacto ambiental.

Num primeiro momento, apresentou-se uma descrição geral da RePMA, descrevendo-se as atividades e objetivos de cada fase e sua interligação com as outras fases do processo de reprojeto. Destacou-se que a passagem de uma fase para outra depende da aprovação de seus resultados pelos responsáveis pelo produto e dos possíveis ganhos ambientais que podem ser obtidos com a continuação do processo de reprojeto.

Também se destacou que este processo depende da determinação do nível de reprojeto (original, adaptativo e paramétrico) mais adequado à redução do impacto ambiental do produto. Esta determinação ocorre no reprojeto informacional e é fundamentado no quanto as atividades específicas de cada nível de reprojeto podem atender os requisitos de usuários e ambientais.

A determinação do nível de reprojeto define o caminho a ser percorrido no processo de reprojeto. No caso do reprojeto original, realizam-se as fases de reprojeto conceitual, preliminar e detalhado, por outro lado no reprojeto adaptativo, realiza-se as fases de reprojeto preliminar e detalhado e por fim no reprojeto paramétrico, realiza-se a fase de reprojeto detalhado.

Noutro momento, apresentou-se o detalhamento das fase de reprojeto informacional e conceitual. O reprojeto informacional tem como objetivo principal esclarecer o problema de reprojeto através da determinação do nível de reprojeto e a elaboração das especificações do reprojeto. O reprojeto conceitual, por sua vez, consiste nas atividades de alterações na concepção do produto existente com o objetivo de atender as especificações de reprojeto.

O detalhamento destas fases consistiu-se em apresentar o fluxo de informações entre as etapas de cada fase e os elementos de suporte às tarefas destas etapas. A elaboração destes elementos foi conduzida com apoio das considerações estabelecidas nos capítulos de estado da arte, de fundamentos sobre metodologia de projeto e dos trabalhos desenvolvido no NeDIP/UFSC. Dentre estas influências pode-se destacar:

- O detalhamento da fase de levantamento de informações, devido a sua importância e singularidade no reprojeto de produtos;
- A consideração de diferentes níveis de reprojeto e, frente a falta de esclarecimento de como determinar o nível mais adequado, apresentou-se orientações para a determinação do nível de reprojeto;
- Destacou-se a necessidade de equipes multidisciplinares (responsáveis pelo produto) para suportar a continuação do processo de reprojeto;
- A consideração ambiental em conjunto com outras demandas, através da utilização dos requisitos de usuários em conjunto com os requisitos ambientais nos processos de tomada de decisão;
- Apresentação da metodologia segundo fluxogramas de atividades;
- A divisão do processo de reprojeto em quatro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhado;
- Orientações para realizar a atividade de determinação da realização do processo de reprojeto; e
- Destacou-se a necessidade do envolvimento da gerência no esclarecimento das estratégias ambientais da empresa em relação aos seus produtos.

Em comparação com as abordagens para o reprojeto de produto, a RePMA destaca-se em propor orientações para o levantamento e avaliação das informações sobre o produto a partir das documentações e dos clientes e usuários. Mais particularmente destaca-se em propor um método para suportar a determinação do nível de reprojeto, o que não foi apresentado em Otto e Wood (1998) (cf. item 2.2.1).

Por sua vez, a comparação em relação às propostas de PPMA (cf. item 2.4), a RePMA destaca-se em apresentar de forma sistemática a demanda ambiental em conjunto com outras demandas numa estrutura de métodos amplamente estudados na área de desenvolvimento de metodologia de projeto, em particular no NeDIP/UFSC.

Entretanto não se tratou diretamente sobre a aplicação da RePMA, mas pode-se considerar que sua aplicação está sujeita aos obstáculos em relação ao PPMA (cf. Tabela 3-2) e, que apesar de ser apresentada de forma seqüencial, na sua aplicação pode ocorrer atividades simultâneas, dependendo do gerenciamento do processo de reprojeto.

Procurar-se-á identificar os aspectos relacionados à aplicação da RePMA através do estudo de caso do reprojeto de uma cafeteira elétrica, apresentada no próximo capítulo.

Capítulo 5

ESTUDO DE CASO: REPROJETO DE UMA CAFETEIRA ELÉTRICA

5.1 Introdução

Este capítulo corresponde à aplicação da RePMA no reprojeto de uma cafeteira elétrica. Os objetivos deste estudo de caso são avaliar a aplicação das orientações e ferramentas propostas na RePMA e propor melhorias que possibilitem uma redução no impacto ambiental de uma cafeteira elétrica. Ao final apresenta-se um conjunto de considerações sobre a aplicação da RePMA e sobre o reprojeto da cafeteira elétrica.

5.2 Definição do problema de reprojeto

O problema de reprojeto constitui-se no melhoramento ambiental de uma cafeteira elétrica aplicando-se as orientações e ferramentas da RePMA. Em linhas gerais, esse problema pode ser declarado como: *Diminuir o impacto ambiental do ciclo de vida de uma cafeteira elétrica, apresentada na Figura 5-1, com capacidade máxima de 10 a 12 xícaras de café (1,2 à 1,8 l), cuja informações para operação são: 220 volts – corrente alternada - 50 Hz – 650 W.*

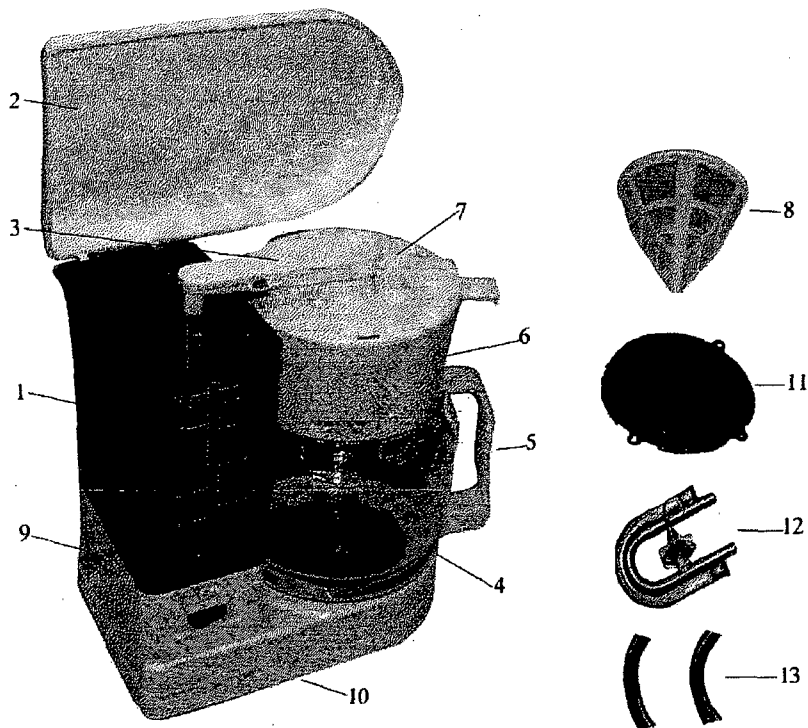
A partir da definição do problema de reprojeto seguir-se-á o fluxograma de atividades da RePMA⁴⁶, descrevendo os procedimentos adotados, resultados e limitações.

5.3 Determinação da realização do reprojeto da cafeteira elétrica

A primeira atividade proposta na RePMA é a determinação da necessidade de realização

⁴⁶As etapas e tarefas citadas neste capítulo referem-se aos fluxogramas apresentados nas Figuras 4-2 e 4-3.

do reprojeto. Na realização desta atividade, utilizam-se informações sobre a estratégia ambiental da empresa em relação aos seus produtos. Para aplicar a RePMA, decidiu-se utilizar um produto disponível no mercado, mesmo não se tendo vínculo direto com o fabricante: considerar-se-á o reprojeto necessário e que não se deve restringir as proposições de mudanças no produto. Entretanto, essas propostas devem ser apresentadas com suas implicações tecnológicas e econômicas.



Item	Componente	Item	Componentes
1	Reservatório de água	8	Filtro
2	Tampa do reservatório de água	9	Suporte inferior
3	Tubo condutor da água	10	Tampa do suporte inferior
4	Jarra	11	Placa de aquecimento
5	Alça da jarra	12	Resistência
6	Suporte do filtro	13	Mangueiras
7	Tampa da jarra		

Figura 5-1 – Objeto do estudo de caso: cafeteira elétrica

Uma vez aceita a realização do reprojeto, segue-se para a primeira fase da RePMA que trata do reprojeto informacional.

5.4 Reprojeto informacional da cafeteira elétrica

Na execução nas duas primeiras tarefas (Tarefa 1.1.1 e 1.1.2) da **recuperação e**

aquisição das informações relacionadas ao produto (Etapa 1.1), neste estudo de caso, só foi possível recuperar um documento referente às instruções de operação.

Esse documento só possui instruções sobre o uso do produto para fazer café, não possuindo informações técnicas e detalhes sobre o objeto do estudo de caso. Esse documento somente poderá auxiliar à elaboração de questões sobre o uso da cafeteira elétrica. Na situação do reprojeto de uma cafeteira numa empresa, tais documentos poderiam ser: relatório dos processos de fabricação, lista de reclamação dos clientes, relatórios de venda e lucro, entre outros.

Para recuperar informações dos clientes e usuários (Tarefa 1.1.3), primeiro realizou-se a identificação dos clientes envolvidos no ciclo de vida do produto. Na Tabela 5-1, apresenta-se a relação de clientes considerados para o ciclo de vida da cafeteira.

Tabela 5-1 – Clientes e usuários no ciclo de vida da cafeteira elétrica

Fase do ciclo de vida	Clientes e usuários
Produção	Fabricante
Distribuição	Transportadora/comércio
Uso	Usuários
Descarte	Empresa de coleta de lixo

Num segundo momento optou-se por quatro abordagens para realizar a presente tarefa:

- Elaboração e aplicação de um questionário⁴⁷ aos potenciais usuários. Esta abordagem gerou três grupos de informações: necessidades declaradas livremente, avaliação da importância e satisfação dos usuários em relação a algumas características da cafeteira elétrica (estética, capacidade, vida útil, segurança, armazenamento da água, filtragem, armazenamento do café e consumo de energia) e o esclarecimento do comportamento de uso;
- Realização de uma reunião com membros do NeDIP/UFSC. Esta abordagem gerou um conjunto de necessidades relacionadas aos diferentes clientes do ciclo de vida da cafeteira elétrica;
- Estudo de outros trabalhos relacionados a este estudo de caso (Harjula *et al*, 1996; Reyes e Wright, 1998; Pré Consultants, 1999 e Goedkoop *et al*, 2000). Este estudo gerou um conjunto de informações sobre diferentes fases do ciclo de vida, que foram descritas diretamente na forma de requisitos de usuários e ambientais; e

⁴⁷ O questionário aplicado e análise das respostas obtidas são apresentados no item E-1 do Anexo E.

- Baseado na experiência da equipe de reprojeto. A equipe elaborou requisitos relacionados aos clientes que não foram abordados anteriormente, além de complementar as informações obtidas nas abordagens descritas anteriormente.

Mais especificamente, a aplicação do questionário consistiu no seu envio por meio eletrônico a uma lista de cerca de 250 endereços eletrônicos. Esta aplicação teve as seguintes conseqüências:

- A resposta do questionário dependeu exclusivamente do interesse do respondente, e
- A amostra restringiu-se aos usuários com acesso à *internet*, com formação média em nível superior e pertencentes à classe média.

Diante destas condições, obteve-se o retorno de 30 questionários (12% dos questionários enviados). As conclusões obtidas destas respostas são apresentados no item E.1.2⁴⁸.

Na obtenção de informações ambientais a partir da legislação e normas ambientais (Tarefa 1.1.4), verificou-se em Camargo (1999) que não existem legislações referentes ao impacto ambiental de produtos de modo geral. No Brasil, a principal preocupação da regulamentação ambiental é os processos de produção, “a legislação ambiental limita-se a fornecer características dos processos de produção que devem ser avaliados” (Camargo, 1999, p. 79).

As informações obtidas a partir de expressões livres foram traduzidas na forma de requisitos de usuários (Tarefa 1.1.5). Nesta tarefa, utilizaram-se as orientações disponíveis em Fonseca (2000, pp. 59-61). Os requisitos elaborados nesta tarefa são descritos na Tabela 5-2.

Os requisitos descritos anteriormente, em conjunto com os requisitos elaborados diretamente pela equipe de reprojeto foram relacionados às características da cafeteira elétrica. Este relacionamento é apresentado na Tabela 5-3.

Estas características, por sua vez, foram avaliadas pelos usuários, através do Grupo 3 de questões do questionário aplicado (cf. item E.1.2). Nestas questões os usuários apresentaram um valor para a importância e satisfação em relação a cada uma destas características.

A última tarefa desta etapa (Tarefa 1.1.6) corresponde à avaliação do produto segundo cada requisito de usuário. Os requisitos que não possuíam os valores de importância e satisfação foram avaliados pela equipe de reprojeto. Nesta avaliação, a equipe baseou-se na sua experiência

⁴⁸ Neste capítulo, os itens citados sem a indicação de localização referem-se ao Anexo E.

e na análise do produto segundo cada requisito. O resultado desta avaliação é apresentado na Tabela 5-3.

Tabela 5-2 – Lista das necessidades e requisitos de usuários

Fase	Necessidades	Requisitos de usuários
Produção	Não utilizar novos processos de produção	Não ter novos processos de produção
	Diminuir o número de peças injetadas	Ter poucas peças injetadas
	Reduzir a complexidade das partes injetadas	Não ter partes complexas para injeção
	Diminuir resíduos	Ter poucos resíduos na produção
Distribuição	Baixo peso	Ter baixo peso
	Diminuir a utilização de embalagens	Ter pouca embalagem
	Menor preço	Ter baixo preço
Uso	Facilitar a retirada do filtro	Ser fácil de manusear o filtro
	Manter o café aquecido com a cafeteira desligada	Manter o café aquecido com pouco consumo de energia
	Não queimar o café	Ter controle sobre a temperatura do café
	Diminuir o consumo de energia	Ter baixo consumo de energia
	Melhorar a base de suporte da jarra	Ter uma base da jarra mais estável
	Facilitar a limpeza	Ser fácil de limpar
	Aumentar a segurança (evitar queimadura)	Ser seguro (evitar queimadura)
	Higiene durante o uso	Ser higiênico durante o uso
	Aumentar a robustez	Ser robusto
	Fácil de reparar	Ser fácil de reparar
	Facilidade de reposição de partes	
	Aquecimento mais rápido	Ter aquecimento rápido
	Possibilidade de troca da resistência	Ter reposição da resistência
	Estanqueidade do reservatório de água	Ter reservatório de água estanque
Descarte	Fácil de desmontar	Ser fácil de desmontar
	Fácil de identificar os tipos de materiais	Ter identificação dos materiais

Uma vez elaborados os requisitos de usuários para a cafeteira, conforme objetivos da Etapa 1.1, realiza-se a elaboração de requisitos ambientais (Etapa 1.2) a partir da aplicação da ACV-simplificada. Seguindo as orientações propostas na RePMA, primeiro deve-se declarar os objetivos e escopo da aplicação da ACV-simplificada (Tarefa 1.2.1).

Neste estudo de caso o objetivo da ACV-simplificada é determinar o perfil do impacto ambiental da cafeteira elétrica no seu ciclo de vida. O perfil do impacto ambiental deve auxiliar a equipe de reprojeto na identificação dos principais aspectos do produto que causam problemas ambientais, para que se possa elaborar requisitos ambientais que representem oportunidades de melhorias da cafeteira elétrica.

O escopo da ACV-simplificada é limitado a uma descrição parcial do ciclo de vida da cafeteira. Esta limitação deve-se a falta de informações provenientes do sistema de produção e

distribuição de uma empresa fabricante deste produto. Para auxiliar na descrição destas fases do ciclo de vida baseou-se na experiência da equipe de reprojeto e em outros estudos sobre o impacto ambiental de cafeteiras elétricas⁴⁹.

Tabela 5-3 – Relação entre os requisitos e características da cafeteira

Fase	Característica	Requisito do usuário	Opinião		
			Imp.	Satisf.	Aval.
Produção		Não ter novos processos de produção			3
		Ter poucas peças injetadas			3
		Não ter partes complexas para injeção			3
		Ter poucos resíduos de produção			1
Distribuição		Ter baixo peso			1
		Ter pouco volume			1
		Ter informações para marketing “verde”			5
		Ter pouca embalagem			1
		Ter baixo preço			3
Uso	Estética	Ser esteticamente agradável	3	3	3
	Capacidade	Ter capacidade adequada	3	3	3
	Vida útil	Ser robusto	3	3	3
	Segurança	Ter uma base da jarra mais estável			3
		Ser seguro (evitar queimadura)			3
	Armazen. da água	Ter reservatório de água estanque	3	3	3
	Filtragem	Ser fácil de manusear o filtro	3	1	5
	Armazen. do café	Ter controle sobre a temp. do café	3	3	3
	Consumo de energia	Ter aquecimento rápido			
		Manter o café aquecido c/pouco consumo de energia	5	1	5
		Ter baixo consumo de energia			
	Limpeza	Ser fácil de limpar			5
		Ser higiênico durante o uso			3
	Reparo	Ter reposição da resistência			3
		Ter partes com fácil reposição			3
Ser fácil de reparar				3	
Descarte		Ser fácil de desmontar			3
		Ter identificação dos materiais			3

Depreende-se destes estudos que a fase de maior impacto ambiental de uma cafeteira é a fase de uso, devido ao consumo de energia para manter o café aquecido. Por conseguinte, dar-se-á maior destaque na descrição desta fase. Esta descrição é suportada pela análise das respostas ao Grupo 2 de questões do questionário aplicado (cf. item E.1.2).

⁴⁹ Em Pré Consultants (1999) o estudo teve como objetivo apresentar o *software* de avaliação de impacto ambiental Simapro, enquanto em Goedkoop *et al* (2000) teve-se como objetivo apresentar a aplicação das tabelas de valores padrões de Eco Indicador 99 para produtos e processos. Entretanto os resultados destes estudos não podem ser utilizados diretamente neste estudo de caso. A impossibilidade de uso destes resultados deve-se primeiramente ao fato de que as fases de uso e descarte são descritas para a realidade europeia e em segundo lugar os resultados não estão descritos na forma prescrita na RePMA.

Outra limitação do escopo da ACV-simplificada é a forma de aplicação do EI99 para a avaliação do impacto ambiental da cafeteira. Neste estudo de caso, aplicar-se-ão os valores padrões do EI99⁵⁰ disponíveis em Goedkoop *et al* (2000). A principal consequência dessa forma de aplicação é que a descrição dos recursos e processos do ciclo de vida devem ser aproximados aos disponíveis nessas tabelas.

Uma vez estabelecidos os objetivos e escopo da ACV-simplificada, elabora-se a unidade funcional e a estrutura física da cafeteira (Tarefa 1.2.2). A unidade funcional, elaborada com base na análise das respostas ao questionário (cf. item E.1.2), é apresentada a seguir:

A cafeteira é utilizada tanto no ambiente doméstico quanto em empresas, geralmente em ambientes do tipo escritório. A frequência de uso é 2 vezes ao dia, numa capacidade de 0,8 l por vez. Embora, a cafeteira seja acompanhada por um filtro permanente, considera-se a utilização de filtro de papel para a filtragem do café. Prevê-se que o café é mantido aquecido pela cafeteira elétrica por cerca de 2,6 h. A cafeteira é lavada uma vez por dia com detergente e água corrente. Por fim prevê-se uma vida útil da cafeteira elétrica em 4,6 anos e, ao final deste período, o produto é descartado no aterro municipal sem nenhum processo de reciclagem.

A descrição física do produto, por sua vez, é apresentada na Tabela 5-4. Na elaboração da descrição física do produto não se incluíram os componentes pequenos, como fios e elementos de união. Nesta descrição foram feitas as seguintes considerações:

- A classe dos materiais plásticos foi determinada através de consulta a especialistas na área de injeção de plástico, pois não havia indicação do tipo de plásticos nos componentes; e
- Como não se tinham dados sobre a conformação do vidro, aproximou-se o processo de fabricação da jarra pelo consumo de energia para a fusão deste material num forno a gás⁵¹.

Para descrever e inventariar o ciclo de vida da cafeteira elétrica (Tarefa 1.2.3) primeiro foi necessário descrever o ciclo de vida deste produto. Esta descrição foi realizada com base na experiência da equipe de reprojeto e em outros trabalhos sobre a avaliação do impacto ambiental de cafeteiras elétricas, citados anteriormente. A descrição do ciclo de vida é apresentado na

⁵⁰ A aplicação através do *software* Simapro não foi adotada, pois a versão demonstrativa disponível não possibilita essa aplicação. Por outro lado, não se aplicaram os valores de EI99 para emissão de substância, uso do solo e extração de recurso devido à impossibilidade de detalhamento do ciclo de vida da cafeteira nestes elementos. Estas possibilidades de aplicação do EI99 estão descritas no anexo C.

⁵¹ Esta consideração foi baseada em Goedkoop *et al* (2000, p. 12).

Figura 5-2.

Tabela 5-4 - Descrição física da cafeteira

Item	Componente	Materiais/Processos de fabricação
1	Reservatório de água	ABS
		Injeção
2	Tampa do reservatório de água	PP
		Injeção
3	Tubo condutor da água	PP
		Injeção
4	Jarra	Vidro
		Fusão do vidro
5	Alça da jarra	PP
		Injeção
		Aço
		Produção de chapa de aço
6	Suporte do filtro	PP
		Injeção
7	Tampa da jarra	PP
		Injeção
8	Filtro	PP
		Injeção
9	Suporte inferior	PP
		Injeção
10	Tampa do suporte inferior	PP
		Injeção
11	Placa de aquecimento	Aço
		Produção de chapa de aço
		Conformação
12	Resistência	Alumínio 0% de material reciclado
		Extrusão
		Conformação
13	Mangueiras	Borracha

Na elaboração desta descrição foram feitas as seguintes considerações:

- Relacionaram-se apenas os principais recursos e processos em cada fase do ciclo de vida. Esta simplificação deve-se à falta de informações provenientes das fases de produção e distribuição;
- Os recursos e processos descritos foram aproximados para os disponíveis nas tabelas de valores padrões de EI99;
- Embora o produto seja fornecido com um filtro permanente, será considerada a utilização de filtro de papel devido ao comportamento do usuário identificado na aplicação do questionário;
- Como as tabelas de valores padrões de EI99 não fornecem um indicador para o

processo de tratamento de papel, o filtro só será descrito por seu material, não considerando a sua confecção;

- No inventário só serão considerados os elementos em cinza da Figura 5-2. A fase de distribuição não será considerada devido à dificuldade de representar um sistema de distribuição sem informações do fabricante e distribuidor;
- Não serão considerados a água e o pó de café utilizados na preparação do café, pois se considera que o impacto gerado por estes elementos não depende da cafeteira;
- Não serão considerados os recursos utilizados na limpeza da cafeteira devido a indisponibilidade de EI99 para estes; e
- Considerar-se-á que a cafeteira, a sua embalagem e os filtros serão descartados diretamente no aterro sanitário, sem nenhum pré-tratamento. Esta consideração deve-se à falta de cultura de separação de material para a reciclagem por parte da maioria dos consumidores brasileiros.

De posse das descrições e tendo em vista as considerações anteriores, realiza-se a segunda atividade da presente tarefa, que é inventariar o ciclo de vida da cafeteira. As considerações que foram necessárias à elaboração do inventário são apresentadas a seguir:

- As massas dos componentes foram obtidas através da pesagem destes;
- O consumo de energia na fusão do vidro foi obtido tomando por base os valores descritos em Goedkoop *et al* (2000);
- Como não se têm informações mais detalhadas sobre os processos de produção, considerou-se a eficiência destes como sendo 100%;
- O consumo de energia no uso da cafeteira durante a sua vida útil foi calculado a partir do consumo de energia em cada uso do produto. O consumo de energia para cada uso da cafeteira foi conseguido através de medição do tempo, corrente e tensão com a cafeteira operando segundo a unidade funcional declarada; e
- Considerou-se o consumo de um filtro de papel em cada operação realizada com a cafeteira.

O resultado deste inventário e da avaliação do impacto ambiental da cafeteira elétrica utilizando os valores padrões de EI99 (Tarefa 1.2.4) são apresentados na Tabela 5-5 e 5-6. Os valores obtidos nestas tabelas são dados em milipontos (mPt)⁵².

⁵² 1 mPt equivale, representativamente, a carga ambiental anual da média dos europeus (Goedkoop *et al*, 2000).

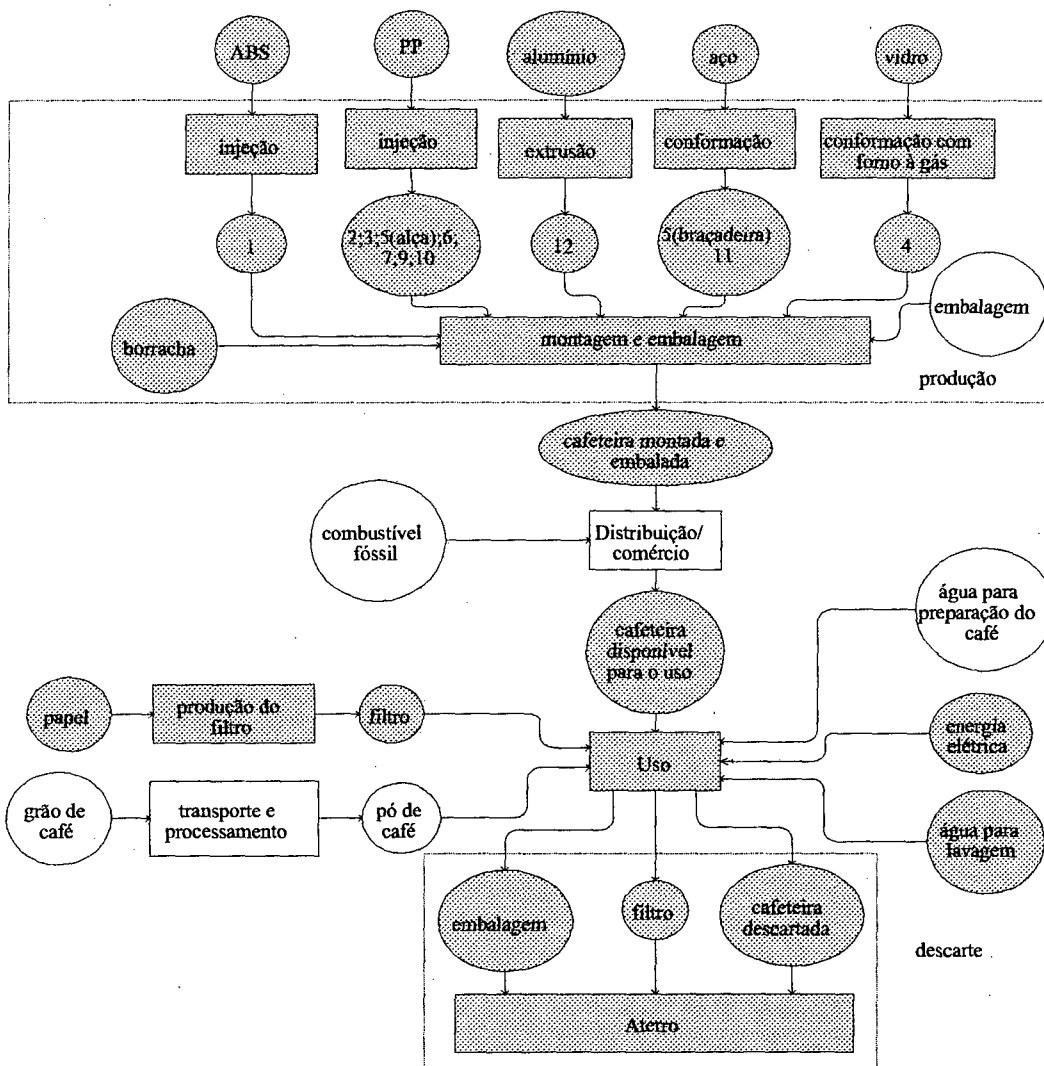


Figura 5-2 – Ciclo de vida da cafeteira elétrica do estudo de caso⁵³

Encontraram-se dificuldades na utilização da tabela de valores padrões de EI99, no que se refere à aproximação dos recursos e processos do ciclo de vida da cafeteira elétrica aos disponíveis nesta tabela. A principal aproximação realizada refere-se ao EI99 para a energia elétrica de baixa voltagem. Encontraram-se somente valores de EI99 para a energia utilizada em alguns países europeus (Áustria, Bélgica, Suíça, Reino Unido, França, Grécia, Itália, Países baixos e Portugal), por conseguinte necessitou-se identificar quais destes países possuem o perfil de produção energética semelhante ao do Brasil.

Um problema neste tipo de aproximação é a dificuldade em estimar o erro cometido,

⁵³ Os números indicados correspondem aos da Figura 5-1 ou Tabela 5-4 e a simbologia adotada nesta figura é apresentada no Anexo B.

pois existe a influência de diversos fatores: por exemplo, não se tem a mesma distribuição do perfil de produção de energia e, provavelmente, o impacto ambiental gerado por uma usina hidroelétrica no Brasil será diferente do que uma semelhante na Áustria. Isto se deve principalmente à diferença dos ecossistemas afetados.

Tabela 5-5 – Avaliação do impacto ambiental da cafeteira segundo seus componentes

Item	Componentes	Materiais/Processos de fabricação	Qtd.	Unid.	EI99 (mPt/Unid.)	Resultado (mPt)	Total (mPt)
1	Reservatório de água	ABS	0,147	kg	400	58,800	61,887
		Injeção	0,147	kg	21	3,087	
2	Tampa do reservatório de água	PP	0,054	kg	330	17,820	18,954
		Injeção	0,054	kg	21	1,134	
3	Tubo condutor da água	PP	0,017	kg	330	5,610	5,967
		Injeção	0,017	kg	21	0,357	
4	Jarra	Vidro	0,247	kg	58	14,326	14,337
		Fusão	0,002	Mj	5,3	0,011	
5	Alça da jarra	PP	0,022	kg	330	7,260	8,882
		Injeção	0,022	kg	21	0,462	
		Aço	0,010	kg	86	0,860	
		Produção da chapa de aço	0,010	kg	30	0,300	
6	Suporte do filtro	PP	0,079	kg	330	26,070	27,729
		Injeção	0,079	kg	21	1,659	
7	Tampa da jarra	PP	0,022	kg	330	7,260	7,722
		Injeção	0,022	kg	21	0,462	
8	Filtro	PP	0,017	kg	330	5,610	5,967
		Injeção	0,017	kg	21	0,357	
9	Suporte inferior	PP	0,079	kg	330	26,070	27,729
		Injeção	0,079	kg	21	1,659	
10	Tampa do suporte inferior	PP	0,050	kg	330	16,500	17,550
		Injeção	0,050	kg	21	1,050	
11	Placa de aquecimento	Aço	0,047	kg	86	4,042	6,533
		Produção da chapa de aço	0,047	kg	30	1,410	
		Conformação	0,047	kg	23	1,081	
12	Resistência	Alumínio	0,052	kg	780	40,560	45,500
		Extrusão	0,052	kg	72	3,744	
		Conformação	0,052	kg	23	1,196	
13	Mangueiras	Borracha	0,009	kg	360	3,240	3,240
Total geral (mPt)							251,997

A administração de informações sobre energia (EIA), agência de estatísticas do Departamento de Energia dos Estados Unidos, disponibiliza um conjunto de dados sobre os perfis energéticos de alguns países. Destes dados depreende-se que o perfil de produção de energia mais semelhante ao do Brasil é o da Áustria. Esta semelhança pode ser verificada na

Tabela 5-7.

Tabela 5-6 – Avaliação do impacto do ciclo de vida da cafeteira

Item	Fase do ciclo de vida	Recursos/Processos	Qtd.	Unid.	EI99 (mPt/Unid.)	Resultado (mPt)	Total (mPt)
1	Produção	PP	0,339	kg	330,000	111,870	263,953
		ABS	0,147	kg	400,000	58,800	
		Injeção de PP e ABS	0,485	kg	21,000	10,185	
		Alumínio	0,052	kg	780,000	40,560	
		Extrusão	0,052	kg	72,000	3,744	
		Conformação Al	0,052	kg	23,000	1,196	
		Aço	0,057	kg	86,000	4,902	
		Produção da chapa de aço	0,057	kg	30,000	1,710	
		Conformação aço	0,052	kg	23,000	1,196	
		Vidro	0,247	kg	58,000	14,326	
		Fusão	0,002	MJ	5,300	0,011	
		Borracha	0,009	kg	360,000	3,240	
		Papelão para embalagem	0,177	kg	69,000	12,213	
2	Uso	Energia de baixa potência	1929,220	kWh	18,000	34725,960	35370,696
		Filtro de papel	6,716	Kg	96,000	644,736	
3	Descarte	Aterro, PP	0,339	Kg	3,500	1,187	31,940
		Aterro, ABS	0,147	kg	4,100	0,603	
		Aterro, Alumínio	0,052	kg	1,400	0,073	
		Aterro, Aço	0,057	kg	1,400	0,080	
		Aterro, vidro	0,247	kg	1,400	0,346	
		Aterro, borracha	0,009	kg	1,400	0,013	
		Aterro, papel e papelão	6,893	kg	4,300	29,640	
Total geral (mPt)						35666,5887	

Obs: A seguir apresentam-se os cálculos do consumo de energia de baixa potência durante a vida útil da cafeteira elétrica:

1. Potência da cafeteira:

$$Potência = tensão \cdot corrente = 217,53V \cdot 2,83A = 615,53W$$

2. Consumo de energia para fazer o café:

$$E_1 = Potência \cdot tempo_da_operação = 615,53W \cdot 0,1h = 61,553Wh$$

3. Consumo de energia para manter o café aquecido:

$$E_2 = Potência \cdot tempo_total_da_cafeteira_ligada = 615,53W \cdot \frac{50}{60}h = 512,962Wh$$

4. Consumo de energia durante a vida útil da cafeteira:

$$E_T = (E_1 + E_2) \cdot no_de_operações_por_dia \cdot 365_dias/ano \cdot tempo_de_vida_útil$$

$$E_T = (61,553 + 512,962) \cdot 2 \cdot 365 \cdot 4,6 = 1.929,22kWh$$

A verificação e interpretação dos resultados (Tarefa 1.2.5) revelou que a avaliação do impacto ambiental através dos valores padrões de EI99 não revelam o impacto ambiental real dos recursos e processos de produção no Brasil, pois foram elaborados para a realidade industrial e ambiental européia. Contudo, pode-se utilizar estes valores de forma comparativa entre as fontes de impacto ambiental do produto com o objetivo de elaborar requisitos ambientais para o

reprojeto da cafeteira elétrica.

Tabela 5-7 – Perfil da produção de energia em bilhões de kWh, 1998. Adaptado do *World Net Electricity Generation by Type, 1998* da EIA⁵⁴

País	Térmica	Hidro	Nuclear	Geotérmica e outras	Total
Brasil	15,6	288,5	3,1	9,7	316,9
Áustria	17,6	36,8	0,0	1,6	56,0
Bélgica	33,4	0,4	43,9	1,0	78,7
França	52,9	61,4	368,6	2,8	485,7
Grécia	39,9	3,7	0,0	0,2	43,7
Itália	194,8	40,8	0,0	6,1	241,7
Países baixo	81,2	0,1	3,6	4,2	89,2
Portugal	24,2	12,9	0,0	1,1	38,2
Espanha	93,2	33,7	56,0	3,5	186,4
Suíça	2,3	33,1	24,5	1,1	61,1

Esta discrepância poderia ser reduzida através da utilização das tabelas de EI99 para elementos mais fundamentais (emissão de substâncias, uso do solo e extração de recursos). Entretanto este tipo de aplicação necessitaria de mais informações sobre os processos de produção para que se pudesse descrevê-los segundo estes elementos, além de necessitar de mais recursos para elaborar o detalhamento do inventário do ciclo de vida.

Cientes das aproximações e limitações apresentadas anteriormente depreende-se dos resultados da ACV-simplificada para a cafeteira elétrica, as seguintes interpretações:

- O impacto ambiental dos componentes está mais relacionado ao tipo de material utilizado (plástico e alumínio), contudo o baixo peso dos componentes ajuda a diminuir a representatividade destes no impacto ambiental;
- A fase de produção é a segunda fase de maior impacto ambiental, mas sua significância em relação ao impacto total é pequeno, devido principalmente ao baixo peso dos componentes. As principais contribuições no impacto ambientais desta fase são a utilização do PP, ABS e alumínio;
- A principal causa de impacto ambiental da cafeteira elétrica ocorre na fase de uso deste produto, principalmente devido ao consumo de energia;
- O impacto causado pelo filtro de papel é significativo em relação ao impacto total no ciclo de vida devido ao seu uso e descarte; e
- A fase de descarte não possui grande influência no impacto ambiental total do

⁵⁴ Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/elec.html>>. Acesso em 13 mar. 01.

produto, apesar dos clientes manifestarem a reciclabilidade como principal elemento de percepção de uma cafeteira “verde”⁵⁵.

Com base nestas interpretações elaboram-se os requisitos ambientais (Tarefa 1.2.7). Os requisitos ambientais e seus respectivos pesos são apresentados na Tabela 5-8. Nesta relação incluíram-se os requisitos referentes à utilização de material reciclado e reciclável, pois são as principais características ambientais que os usuários utilizam para identificar uma cafeteira ambientalmente mais correta.

Confrontando estes requisitos com os apresentados na Tabela 5-3, verifica-se que os requisitos ambientais foram contemplados, em parte, pelos declarados anteriormente. Isto se deve, principalmente, a utilização de estudos anteriores sobre impacto ambiental do ciclo de vida de cafeteiras elétricas. Desta forma pode-se utilizar a lista de requisitos da Tabela 5-3, incrementado com os requisitos referentes à redução do consumo de papel no uso e ao uso de material reciclado e recicláveis, na determinação do nível de reprojeto mais adequado à cafeteira elétrica (Etapa 1.3).

Tabela 5-8 – Requisitos ambientais elaborados da avaliação do desempenho ambiental

Requisitos ambientais	Pesos
Ter baixo peso	1
Ter baixo consumo de energia no uso	5
Ter baixo consumo de papel no uso	5
Ter material reciclado	3
Ter material reciclável	3

A aplicação da matriz de determinação do nível de reprojeto para a cafeteira elétrica é apresentada Tabela 5-9. No preenchimento desta matriz, questionou-se como as atividades próprias de cada nível de reprojeto poderiam atender cada requisito (se não atendia, atendia pouco, atendia medianamente ou atendia completamente). Para exemplificar o raciocínio adotado no preenchimento da matriz de determinação do nível de reprojeto, apresenta-se, a seguir, o raciocínio adotado na valoração do relacionamento do requisito **Ter pouco resíduos de produção** com os níveis de reprojeto. Desta avaliação, obteve-se que o nível de reprojeto mais adequado à cafeteira elétrica é o reprojeto original.

Ter pouco resíduos de produção pode ser principalmente conseguido através de

⁵⁵ Esta percepção ambiental dos clientes baseou-se na interpretação das respostas ao Grupo 1 de perguntas do questionário aplicado, item E.1.2.

mudanças na configuração do produto e, em certos casos, através de mudanças nos parâmetros da cafeteira. Desta forma foi atribuído o relacionamento de 5 ao reprojeto adaptativo e 3 ao reprojeto paramétrico, como também existe uma possibilidade de que mudanças na concepção da cafeteira reduza a quantidade de resíduos na produção, optou-se em atribuir o relacionamento 1.

Tabela 5-9 – Matriz de seleção do nível de reprojeto para a cafeteira elétrica

i	Requisito	Ai	Nível de reprojeto		
			Original	Adaptativo	Paramétrico
1	Não ter novos processos de produção	3	5	1	3
2	Ter menos peças injetadas	3	3	5	1
3	Não ter partes complexas para injeção	3	5	3	3
4	Ter pouco resíduos de produção	1	1	5	3
5	Ter baixo peso	1	1	1	5
6	Ter pouco volume	1	3	5	3
7	Ter informações para marketing “verde”	5	3	3	5
8	Ter pouca embalagem	1	1	5	3
9	Ter baixo preço	3	5	3	1
10	Ser esteticamente agradável	3	5	5	1
11	Ter capacidade adequada	3	1	3	5
12	Ser robusto	3	1	3	5
13	Ter uma base da jarra mais estável	3	5	5	3
14	Ser seguro (evitar queimadura)	3	5	5	1
15	Ter reservatório de água estanque	3	5	3	1
16	Ser fácil de manusear o filtro	5	5	3	1
17	Ter controle sobre a temperatura do café	3	5	1	3
18	Ter aquecimento rápido	5	5	1	3
19	Manter o café aquecido com pouco consumo de energia	5	5	1	3
20	Ter baixo consumo de energia	5	5	1	3
21	Ser fácil de limpar	5	3	5	1
22	Ser higiênico durante o uso	3	3	5	1
23	Ter reposição da resistência	3	3	5	1
24	Ser fácil de reparar	3	3	5	1
25	Ser fácil de desmontar	3	3	5	1
26	Ter identificação dos materiais	3	0	3	5
27	Ter baixo consumo de papel no uso	5	5	3	1
28	Ter material reciclado	3	1	3	5
29	Ter material reciclável	3	1	3	5
	Valor do nível (Vn)		338	299	237

O reprojeto original é mais indicado à cafeteira elétrica porque o principal impacto ambiental deste produto é o consumo de energia no uso. Este consumo, por sua vez, deve-se às funções de aquecer água e manter café aquecido. Portanto uma melhoria ambiental da cafeteira passa por mudanças na concepção do produto, para que se possa diminuir o consumo de energia

dessas funções. Outro elemento que aumentou o peso da importância do reprojeto original foi a consideração das formas dos componentes plásticos como princípios de solução.

Uma vez determinado o nível de reprojeto, elaboram-se as especificações de reprojeto (Etapa 1.4). A primeira tarefa desta etapa é elaborar os requisitos de reprojeto com base nos requisitos de usuários e ambientais e no nível de reprojeto escolhido (Tarefa 1.4.1). Os requisitos de reprojeto para a cafeteira são apresentados na Tabela 5-10.

Tabela 5-10 – Elaboração dos requisitos de reprojeto

Requisitos de usuários e ambientais	Requisitos de reprojeto	
Não ter novos processos de produção	No. de novos processos de produção	unidades
Ter poucas peças injetadas	Redução no número de componentes injetados	%
Não ter partes complexas para injeção	No. de gavetas do molde	unidades
	Tempo projeto/fabricação do molde	h
Ter pouco resíduos de produção	Quantidade de resíduos gerados na produção	kg
Ter baixo peso	Peso da cafeteira	kg
Ter pouco volume	Volume ocupado pela cafeteira	cm ³
Ter informações para marketing “verde”	Informações sobre impacto ambiental da cafeteira	unidades
Ter pouca embalagem	Peso da embalagem	kg
Ter baixo preço	Custo de produção	R\$
Ser esteticamente agradável	Variedades de cores	unidades
Ter capacidade adequada	Capacidade	l
Ser robusto	Pontos de fragilidade	unidades
Ter uma base da jarra mais estável	No. De apoios à jarra	unidades
Ser seguro (evitar queimadura)	Pontos de risco à segurança do usuário	unidades
Ter reservatório de água estanque	Vazamento no reservatório	l
Ser fácil de manusear o filtro	Operações para manusear o filtro	unidades
Ter controle sobre a temp. do café	Varição da temperatura do café	°C
Ter aquecimento rápido	Velocidade de aquecimento	°C/s
Manter o café aquecido com pouco consumo de energia	Energia gasta para manter o café aquecido	kWh
Ter baixo consumo de energia	Consumo de energia para fazer café	kWh
Ser fácil de limpar	No. de operações para a limpeza	unidades
Ser higiênico durante o uso	Pontos de contaminação	unidades
Ter resistência com fácil reposição	Número de operações para repor a resistência	unidades
Ser fácil de reparar	No. de operações de desmontagem	unidades
Ser fácil de desmontar	Tempo de desmontagem	min
Ter baixo consumo de papel no uso	Peso do papel consumido	kg
Ter identificação dos materiais	No. de componentes com identificação do tipo de material	unidades
Ter material reciclado	Porcentagem de material reciclado	% do peso total
Ter material recicláveis	Porcentagem de recicláveis	% do peso total

De posse dos requisitos de reprojeto aplica-se a matriz da casa da qualidade para a hierarquização destes (Tarefa 1.4.2). Neste estudo de caso utilizou-se o *software* QFD 3.0

(Ogliari, 1999) e os resultados da aplicação da casa da qualidade é apresentada no item E.2.

O QFD 3.0 fornece duas escalas de hierarquização: a primeira considerando apenas o relacionamento entre os requisitos de usuários e os de reprojeto e a segunda inclui o relacionamento entre os requisitos de reprojeto.

Os requisitos que se destacaram nas duas hierarquizações foram **número de informações sobre o impacto ambiental, custo de produção, energia para manter o café aquecido, consumo de energia, peso da cafeteira e número de pontos de risco à segurança do usuário**. Devido a este destaque estes requisitos foram escolhidos para compor a lista de especificações de reprojeto.

Por fim, elabora-se a lista de especificações para o reprojeto conceitual (Tarefa 1.4.3). Esta tarefa baseia-se principalmente no resultado da aplicação da casa da qualidade e em informações obtidas durante o reprojeto informacional. A lista de especificações para o reprojeto conceitual da cafeteira elétrica é apresentada na Tabela 5-1. Apesar de estabelecido um conjunto mínimo de especificações, os outros requisitos de reprojeto devem ser utilizados como guia para as atividades da equipe de reprojeto nas outras fases da RePMA.

5.5 Reprojeto conceitual da cafeteira elétrica

O reprojeto conceitual deve resultar num conjunto de mudanças mais expressiva no produto existente, mais do que somente uma mudança de configuração ou de parâmetros. Para tal é necessário recuperar e avaliar sua concepção em relação aos requisitos de reprojeto elaborados na fase de reprojeto informacional (Etapa 2.1). A recuperação da concepção do produto⁵⁶ (Tarefa 2.1.1) é suportada pelo inverso da síntese funcional, apresentada no Anexo B e sua aplicação no estudo de caso é apresentada no item E-3. A concepção da cafeteira elétrica é representada através de sua estrutura morfológica e funcional, reproduzida na Figura 5-3.

De posse da estrutura funcional e da estrutura morfológica realiza-se a avaliação da concepção do produto (Tarefa 2.1.2) aplicando a matriz proposta na RePMA. Esta avaliação foi realizada numa base subjetiva, devido a dificuldade de realização de medidas de alguns requisitos, principalmente aqueles relacionados à produção da cafeteira.

⁵⁶ Apesar de ser apresentada na RePMA em seqüência com a fase anterior, esta tarefa foi realizada em paralelo.

Tabela 5-1 – Especificações para o reprojeto original da cafeteira elétrica

Especific. de reproj.	Unid.	Objetivo	Sensor	Saída indesej.	Comentário
Informações sobre o impacto ambiental	Nº. de informações ambientais no produto ou na embalagem	Máximo	Contagem	As informações devem ser verdadeiras e claras. Deve-se dar maior destaque as informações provenientes da produção e descarte. Deve-se evitar uma Quantidade excessiva de informações, além de procurar exibir as informações de forma inteligível aos clientes	Esta especificação deve retratar os ganhos ambientais obtidos no reprojeto, portanto, de certo modo, engloba os outros requisitos de reprojeto que melhora a característica ambiental da cafeteira, por exemplo: uso de material reciclado e recicláveis, diminuição dos resíduos de produção, entre outros)
Energia para manter o café aquecido	kWh	50% da atual	Energia consumida para manter o café aquecido durante 2,6 h.	A diminuição deste requisito não pode afetar o controle da temperatura do café	Deve-se diferenciar a energia consumida na preparação no café e na manutenção da temperatura deste.
Consumo de energia	kWh	25% do atual	Energia consumida na preparação do café	Deve-se evitar uma redução no tempo de preparo	
Custo	R\$	15% do custo atual de produção da cafeteira	Custo das modificações propostas.	Uma restrição muito grande no custo pode inviabilizar ganhos ambientais.	
No. de novos processos de produção	No. de novos processos de produção necessários a execução das mudanças propostas	0	Contagem	Uma restrição muito rigorosa neste requisito pode impedir uma melhoria na fase de produção deste produto. Deve-se avaliar compromisso quanto ao ganho conseguido com novos processos com o investimento necessário	Novos processos de produção corresponde ao processos que a empresa não tem condições de incluir nas suas estrutura produtiva, necessitando de investimentos para a aquisição de conhecimento e equipamentos
Pontos de risco à segurança	No. de pontos na cafeteira elétrica que represente risco aos usuários	0	Contagem	A diminuição do pontos de risco pode representar um aumento no custo ou na dificuldade de operação.	

Esta avaliação permitiu realizar uma hierarquização dos princípios de solução (PSs). Esta hierarquização permite verificar quais os PSs e as correspondentes funções que mais precisam de mudanças para atender os requisitos de reprojeto. O resultado desta avaliação é apresentada na Tabela 5-2.

Esta hierarquização auxiliou no estabelecimento da estrutura funcional modificada

(Etapa 2.2), pois indica as funções que necessitam de mais atenção por parte da equipe de reprojeto.

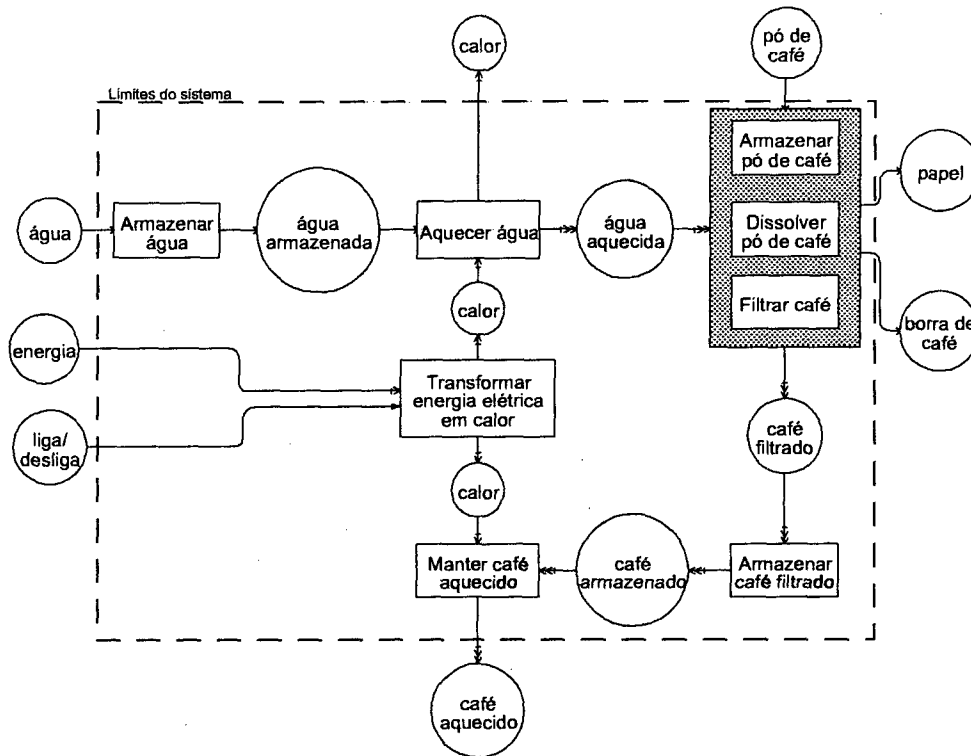


Figura 5-3 – Estrutura funcional da cafeteira elétrica

A primeira tarefa da Etapa 2.2 consiste em avaliar as influências das funções do impacto ambiental (Tarefa 2.2.1). A avaliação da estrutura funcional da cafeteira elétrica revelou que as funções mais relacionadas ao impacto ambiental deste produto são: *Transformar energia elétrica em calor*, *Aquecer água*, *Dissolver café*, *Filtrar café* e *Manter café aquecido*. Avalia-se, então, os fluxos de matéria e energia que perpassam estas funções para que se possa verificar oportunidade de melhorias, esta avaliação é registrada na Tabela 5-3.

Depreende-se da Tabela 5-3 as seguintes observações:

- O consumo de energia deve-se principalmente ao efeito joule que ocorre na resistência elétrica. Para diminuir este consumo deve-se proceder um estudo sobre a conversão da energia elétrica em calorífica na resistência e sua condução pelos componentes envolvidos. Este estudo foge do escopo deste trabalho pois corresponde uma otimização paramétrica que envolve o tipo de resistência, condutibilidade térmica dos materiais, formato da resistência e tipo de materiais. Entretanto a emissão de energia poderia ser reduzida com a inclusão de uma função, que possibilite manter o café aquecido com menor consumo de energia elétrica;

- O consumo de pó de café não pode ser reduzido por mudanças na cafeteira elétrica, pois está relacionado ao comportamento do usuário. Por outro lado, uma melhoria na forma de filtragem pode levar ao menor consumo de pó de café, entretanto soluções nestes aspectos fogem dos limites deste trabalho; e
- O consumo e descarte de filtro de papel pode ser eliminado com a utilização do filtro de material plástico provido pela cafeteira elétrica, entretanto deve-se avaliar a diminuição do impacto ambiental com a utilização deste tipo de filtragem. Outra dificuldade de redução deste consumo deve-se ao fato de que as empresas fornecedoras de filtro de papel já possuem formatos padrões de filtros, inviabilizando a possibilidade de redução da quantidade de papel utilizados nestes.

Tabela 5-2 – Avaliação da concepção da cafeteira elétrica

i	Requisitos de reprojeto	Importância do requisito	PSs da cafeteira elétrica									
			PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7	PS8	PS9	PS10
1	Custo	243	3	1	5	3	3	1	1	3	1	3
2	Informações sobre impacto ambiental da cafeteira	219	1	1	5	5	1		5	3	3	5
3	Energia gasta para manter o café aquecido	206			5	3				5	5	
4	Consumo de energia	189			5	5		3		3	3	
5	Peso da cafeteira	176	3	1	1	1	1			5	1	1
6	No. de novos processos de produção	168	1	1	1	1	1			3	1	3
7	Pontos de risco de segurança	164			1	1	5	5	5	5	5	5
8	Variação da temperatura do café	153			5	1	1			5	5	
9	Operações para manusear o filtro	150						5	5	3		
10	Quantidade de resíduos	143	1		1	1	1		1	1		1
11	No. de operações para a limpeza	143	5				1	5	5	5	1	3
12	Tempo projeto/fabricação do molde	139	3				3		3	1		3
13	Capacidade	137	5					5	5	5		
14	No. de apoios à jarra	134						3	3	5	5	5
15	Pontos de fragilidade	133	3	3	1	1			3	5		3
16	Número de componentes com reposição	127	3	1	5	3	1		3	5		
17	Redução no número de componentes injetados	126	1				3	1	3	1		1
18	No. de gavetas do molde	126	1				1		1	1		1
19	Porcentagem de material reciclado	124	3	3	3	3	3		3	3	3	3
20	Porcentagem de recicláveis	121	3	3	3	3	3		3	3	3	3
21	Pontos de contaminação	120	5	3			5	5	5	5		
22	Volume ocupado pela cafeteira	118	5		1	1	3	5	3	5		5
23	Número de operações para repor a resistência	114			3	5	5				5	3
24	Velocidade de aquecimento	108			5	5					5	
25	No. de componentes com identificação do tipo de material	104	5	5	5	5	5		5	5	5	5
26	No. de operações de desmontagem	90	5	3	5	5	3			1	5	5
27	Peso do papel consumido	90						5	5			
28	Variedades de cores	73	3				1		3	3		5
29	Peso da embalagem	69	3							5		5
30	Vazamento no reservatório	67	5	5			3					
Importância de cada princípio de solução			118,1	114,2	141	140	130	138	129	136	144	132,1
Hierarquização			10	9	2	3	7	4	8	5	1	6

Diante destas observações, propõe-se alterações na estrutura funcional da cafeteira (Tarefa 2.2.2). As modificações na estrutura funcional, ilustradas na Figura 5-4, procuram

reduzir o consumo de energia da função de manter café aquecido.

Tabela 5-3 - Quadro de avaliação ambiental das funções da cafeteira

Função	Consumo		Emissão	
	Material	Energia	Material	Energia
Transformar energia elétrica em calor		Energia elétrica		Calor transmitido por condução ao tubo de aquecimento da água e para a placa de aquecimento
Aquecer água	Água	Calor para vaporização da água	Vapor de água	Calor despendido ao meio
Filtrar café	Água aquecida e pó de café		Café, borra de café e filtro	
Manter café aquecido	Café armazenado e calor	Calor conduzido pela resistência à placa de aquecimento	Café aquecido	Calor transmitido para a jarra por condução do vidro e depois por confecção no próprio café e Calor despendido ao meio

As modificações propostas consistem na inclusão de duas funções:

Controlar temperatura – esta função consiste em controlar o consumo de energia da função Transformar energia elétrica em calor através de dois sinais: um proveniente do usuário e outro da temperatura do recipiente de café. Esta função então diminuiria o consumo de energia, deixando o suficiente para manter a temperatura do café; e

Conservar a temperatura do café – esta função proporcionaria a manutenção da temperatura do café com baixo, ou nenhum, consumo de energia.

As necessidades declaradas pelos clientes e usuários não indicam necessidade de mudanças na função global da cafeteira. Entretanto poder-se-ia optar pela inclusão de mais funcionalidade, como por exemplo Preparar café expresso ou capuccino.

Por outro lado, como não foram geradas alternativas de estrutura funcional, não houve a necessidade de executar a tarefa de selecionar uma estrutura funcional (Tarefa 2.2.3).

De posse da estrutura funcional modificada, segue-se à geração de concepções que atendam a estrutura funcional (Etapa 2.3). Optou-se em utilizar o *brainstorm* como método para geração de idéias e PSs (Tarefa 2.3.1). Aplicou-se este método de duas formas: na primeira as pessoas elaboraram as suas sugestões nos seus postos de trabalhos e na segunda realizou-se uma reunião com quatro membros. A aplicação e resultado do *brainstorm* são apresentados no item E.7⁵⁷.

⁵⁷Optou-se em manter as idéias geradas na forma que foram apresentadas por seus proponentes, desta forma os desenhos das idéias geradas no *brainstorm* são apresentadas de forma manuscrita.

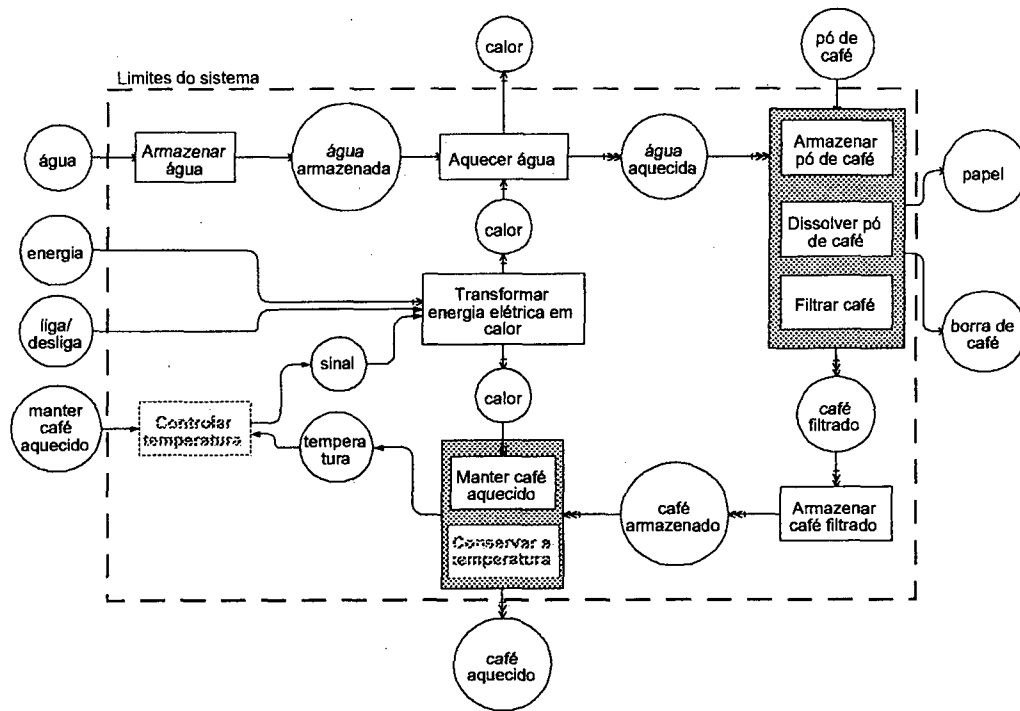


Figura 5-4 – Estrutura funcional modificada da cafeteira

Os PSs gerados durante a tarefa anterior foram organizados na matriz morfológica para o reprojeto da cafeteira elétrica, apresentada no item E.5. Estes PSs são avaliados segundo sua possível influência no impacto ambiental da cafeteira elétrica (Tarefa 2.3.2). Esta avaliação é realizada com base nas orientações da RePMA, que propõem destacar com a cor:

- Verde, PSs que representem redução dos principais impactos ambientais da cafeteira;
- Amarelo, PSs que representem redução de parte dos principais impactos ambientais da cafeteira; ou
- Vermelho, PSs que representem aumento do impacto ambiental da cafeteira ou descumprimento de alguma legislação.

Por outro lado, os PSs que não foram possíveis avaliar o impacto ambiental ou não representam redução ou aumento no impacto ambiental não são destacados. O resultado desta avaliação neste estudo de caso é apresentado na matriz morfológica (cf. item E.5).

Com o resultado acima e da avaliação da concepção da cafeteira elétrica realiza-se a combinação dos PSs em Concepções Alternativas (CAs) para a cafeteira elétrica (Tarefa 2.3.3). A combinação dos PSs teve em conta alguns critérios:

- Deu-se prioridade aos PSs destacados em verde e amarelo, evitando os vermelhos;
- Apresentou-se alternativas aos PSs da cafeteira elétrica atual que mais necessitam de

mudanças, segundo a hierarquização obtida na Tabela 5-2; e

- A viabilidade do interfaciamento entre os PSs.

A adoção destes critérios na combinação dos PSs evita uma explosão combinatória, que é a principal desvantagem do método da matriz morfológica, embora limite a criação de CAs.

A combinação dos PSs possibilitou o estabelecimento de CAs para a cafeteira elétrica, que são apresentados no item E.6. As CAs são representadas através de seus PSs e optou-se em não elaborar os desenhos de cada CA devido ao tempo necessário para realizar tal tarefa.

Por fim, as CAs passam pelo processo de seleção da melhor concepção para a cafeteira elétrica (Etapa 2.4). A primeira seleção refere-se a viabilidade técnica e ambiental das CAs (Tarefa 2.4.1) elaboradas para a cafeteira elétrica.

No presente estudo de caso não se encontrou inviabilidade técnica nas CAs, a menos da adoção do PS 6-5⁵⁸ (cf. item E.5), que refere-se a adoção de um refil para o filtro e pó de café, pois os fornecedores não disponibilizam este produto. Entretanto, não se excluirá as CAs que utilizam este PS, visto que este refil pode representar uma oportunidade de um novo produto para os fornecedores de pó de café e filtro.

Por outro lado, no que se refere à viabilidade ambiental, não se identificou CAs que representem descumprimento de alguma legislação ou aumento significativo do impacto ambiental da cafeteira.

Desta forma, todas as CAs são avaliadas absolutamente em relação aos requisitos de usuários e ambientais (Tarefa 2.4.2). Para tanto, é aplicada a matriz de seleção passa/não passa, apresentada na Tabela 5-4.

Diante do resultado obtido nesta avaliação optou-se em:

- Manter a CA1, apesar de receber muitos NP, pois esta CA corresponde a concepção da cafeteira existente e é interessante fazer uma comparação relativa desta com as outras CAs, que corresponde a próxima tarefa;
- Descartou-se a CA6 e a CA7 devido o grande número de NP. A característica comum entre estas alternativas é o princípio de manter o café aquecido através de transferência de calor de um fluxo de água para a chapa de aquecimento; e
- Manter todas as outras CAs sem alterações, deixar-se-á as alterações para a próxima tarefa.

⁵⁸ A nomenclatura PS 6-5 significa que é o PS localizado na linha 6 e coluna 5 da matriz do item E.5.

Tabela 5-4 – Matriz passa/não passa para o estudo de caso

i	Requisito de usuários e ambientais	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10
1	Não ter novos processos de produção	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	Ter poucas peças injetadas	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	P
3	Não ter partes complexas para injeção	P	P	P	P	P	NP	P	P	NP	P
4	Ter pouco resíduos de produção	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	Ter baixo peso	P	P	P	P	P	NP	NP	P	P	NP
6	Ter pouco volume	P	P	P	P	P	NP	P	P	P	NP
7	Ter informações para marketing “verde”	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
8	Ter pouca embalagem	P	P	P	P	P	NP	NP	P	P	NP
9	Ser esteticamente agradável	P	P	P	P	P	P	NP	P	P	P
10	Ter capacidade adequada	P	P	P	NP	P	P	P	NP	P	P
11	Ser robusto	NP	P	P	P	P	NP	P	NP	NP	P
12	Ter baixo preço	P	P	P	P	NP	NP	NP	P	P	NP
13	Ter uma base da jarra mais estável	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
14	Ser seguro (evitar queimadura)	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
15	Ter reservatório de água estanque	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
16	Ser fácil de manusear o filtro	NP	NP	P	P	P	P	P	P	P	NP
17	Ter controle sobre a temperatura do café	P	P	P	P	P	NP	P	P	P	P
18	Ter aquecimento rápido	P	P	P	P	P	P	NP	P	P	P
19	Manter o café aquecido com pouco consumo de energia	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
20	Ter baixo consumo de energia	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
21	Ser fácil de limpar	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
22	Ser higiênico durante o uso	NP	P	NP	P	P	NP	NP	P	P	P
23	Ter reposição da resistência	NP	P	P	P	NP	NP	P	P	P	P
24	Ter partes com fácil reposição	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
25	Ser fácil de reparar	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
26	Ser fácil de desmontar	P	P	P	P	P	NP	NP	P	P	P
27	Ter identificação dos materiais	NP	P	P	P	P	P	P	P	P	P
28	Ter material reciclado										
29	Ter material recicláveis										

Nota: Não se tem determinação dos materiais das CAs geradas

A última tarefa de seleção corresponde em avaliar as CAs relativamente entre si (Tarefa 2.4.3) aplicando o método de Pugh. Aplicação deste método é feita em dois passos: no primeiro realiza-se a comparação tendo como referência a concepção da cafeteira existente (CA1). Esta comparação é apresentada na Tabela 5-5.

O resultado desta comparação revelou que as CA2, CA3, CA4, CA5 e CA10 tiveram os valores totais parecidos. Um aspecto que deve ser ressaltado é que na avaliação da CA10 considerou-se que a garrafa térmica faz parte da cafeteira, caso não se faça esta consideração o valor total desta alternativa sobe para 2.629, pois desta forma evitaria a produção de alguns componentes, principalmente os responsáveis pelo acondicionamento e aquecimento do café, o que tornaria esta alternativa mais indicada.

Entretanto, seguir-se-á ao segundo passo do método de Pugh para que se possa selecionar outra CA, mantendo a consideração apresentada anteriormente sobre a CA10. Neste passo seleciona-se a CA melhor colocada no passo anterior com referência, neste estudo de caso houve um empate entre as CA2 e CA5, optou-se em adotar a CA2 como referência, pois é a que representa menor modificação em relação a CA1.

Tabela 5-5 – Primeira aplicação da matriz de avaliação no estudo de caso

i	Requisito do reprojeto	Importância	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA8	CA9	CA10
1	Custo	243		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	Informações sobre impacto ambiental da cafeteira	219		1	1	1	1	1	1	1
3	Energia gasta para manter o café aquecido	206		1	1	1	1	1	1	1
4	Consumo de energia	189		1	1	1	1	1	1	1
5	Peso da cafeteira	176		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	No. de novos processos de produção	168		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	Pontos de risco de segurança	164		1		1	1	-1	-1	-1
8	Variação da temperatura do café	153		1	1	1	1	1	1	1
9	Operações para manusear o filtro	150			1			1		
10	Quantidade de resíduos	143								
11	No. de operações para a limpeza	143	R	1		1	1	1	1	1
12	Tempo projeto/fabricação do molde	139	E							
13	Capacidade	137	F			-1		-1	-1	
14	No. de apoios à jarra	134	E					1	1	1
15	Pontos de fragilidade	133	E	1	1	1	1	-1	-1	1
16	Número de componentes com reposição	127	R	1	1	1	1	1	1	1
17	Redução no número de componentes injetados	126	Ê							
18	No. de gavetas do molde	126	N							
19	Porcentagem de material reciclado	124	C							
20	Porcentagem de recicláveis	121	I							
21	Pontos de contaminação	120	A	1	1	1	1	1	1	1
22	Volume ocupado pela cafeteira	118	A			-1		-1	-1	-1
23	Número de operações para repor a resistência	114		1	1	1	1	1	1	1
24	Velocidade de aquecimento	108								
25	No. de componentes com identificação do tipo de material	104								
26	No. de operações de desmontagem	90								1
27	Peso do papel consumido	90			1	1		1	1	
28	Variedades de cores	73								
29	Peso da embalagem	69								
30	Vazamento no reservatório	67								
Total Geral				981	914	816	981	506	356	759

Os resultados do segundo passo revelou que a CA2 é a melhor colocada, apresentada na Tabela 5-6. Esta alternativa destacou-se em relação as outras, a menos da alternativa CA4 que obteve uma pontuação próxima da CA2. Decidiu-se selecionar a CA2, incluindo, quando possível os aspectos positivos das outras alternativas, principalmente da CA4.

Desta forma, ao final deste processo de seleção obteve-se duas alternativas. A primeira refere-se a CA10, na qual o recipiente de café é uma garrafa térmica, não fornecida em conjunto com a cafeteira. A segunda alternativa corresponde a alternativa CA2 melhorada, Figura 5-5 e 5-6.

A primeira alternativa é a mais promissora, entretanto corresponde a uma concepção muito inovadora para cafeteiras elétricas. Deve-se verificar se o mercado está disposto em aceitar esta nova concepção, além de verificar as conseqüências desta opção para o setor produtivo da empresa. A segunda alternativa apresenta-se com menor conjunto de mudanças na concepção da

cafeteira existente, que se acredita não ter riscos de rejeição pelo mercado.

Como não se tem condições de fazer as avaliações necessárias sobre a aceitação da primeira alternativa e nem sua influência no sistema de produção de uma empresa, optou-se em adotar a segunda alternativa como a concepção modificada da cafeteira elétrica.

Tabela 5-6 – Segunda aplicação da matriz de avaliação no estudo de caso

i	Requisito do reprojeto	Importância	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA8	CA9	CA10
1	Custo	243	1			1	-1			-1
2	Informações sobre impacto ambiental da cafeteira	219	-1							
3	Energia gasta para manter o café aquecido	206	-1				1			1
4	Consumo de energia	189	-1		-1		-1	1	1	1
5	Peso da cafeteira	176	1		-1		-1			-1
6	No. de novos processos de produção	168	1							-1
7	Pontos de risco de segurança	164				-1		-1	-1	-1
8	Variação da temperatura do café	153	-1							1
9	Operações para manusear o filtro	150			1	1				-1
10	Quantidade de resíduos	143								-1
11	No. de operações para a limpeza	143	-1	R		1				1
12	Tempo projeto/fabricação do molde	139		E		-1				-1
13	Capacidade	137		F		-1		-1	-1	
14	No. de apoios à jarra	134		E		-1			-1	1
15	Pontos de fragilidade	133	-1			-1		-1	-1	1
16	Número de componentes com reposição	127	1	R		1	1			
17	Redução no número de componentes injetados	126		Ê	-1					
18	No. de gavetas do molde	126		N						
19	Porcentagem de material reciclado	124		C						
20	Porcentagem de recicláveis	121		I						
21	Pontos de contaminação	120		A	-1	-1		-1	1	1
22	Volume ocupado pela cafeteira	118				-1		-1	-1	-1
23	Número de operações para repor a resistência	114	-1			1				
24	Velocidade de aquecimento	108			-1		-1	-1	-1	-1
25	No. de componentes com identificação do tipo de material	104								
26	No. de operações de desmontagem	90								
27	Peso do papel consumido	90			1	1		1	1	
28	Variedades de cores	73								
29	Peso da embalagem	69								
30	Vazamento no reservatório	67								
Total Geral			-443		-479	-78	-383	-501	-395	-331

As principais implicações da adoção desta concepção são:

- O aquecimento da água e do café é realizado por duas resistências e selecionador manual que determina qual configuração de resistência deve ser utilizada. Desta forma o usuário poderá optar por um consumo menor de energia para manter o café aquecido, escolhendo a menor resistência. A principal limitação desta abordagem é o aumento da complexidade da montagem do circuito e da configuração do suporte inferior para permitir a reposição da resistência;
- O tubo de aquecimento de água é envolvido pelas resistências, permitindo uma

melhor transmissão de calor além de constituir-se num módulo como possibilidade de reposição;

- O suporte do filtro é unido ao corpo da cafeteira por uma dobradiça removível, além disso possui uma válvula que evita a passagem de líquido. Esta válvula é ativada por um pino da tampa da jarra da cafeteira. Estas características melhoram a manuseabilidade do filtro e a limpeza do produto, entretanto necessitam de técnicas de produção mais avançadas do que o suporte atual;
- Ainda será fornecido o filtro permanente com a cafeteira, entretanto deve-se prever a utilização de filtros de papel;
- A jarra tem forma de tronco de cone com arredondamento de seus vértices, além disso é dotada de um revestimento lateral de um isolante térmico e sua base é constituída de um condutor térmico. Estas modificações podem aumentar o impacto ambiental no descarte do produto, entretanto diminui o impacto no uso do produto, que é o principal impacto ambiental da cafeteira.

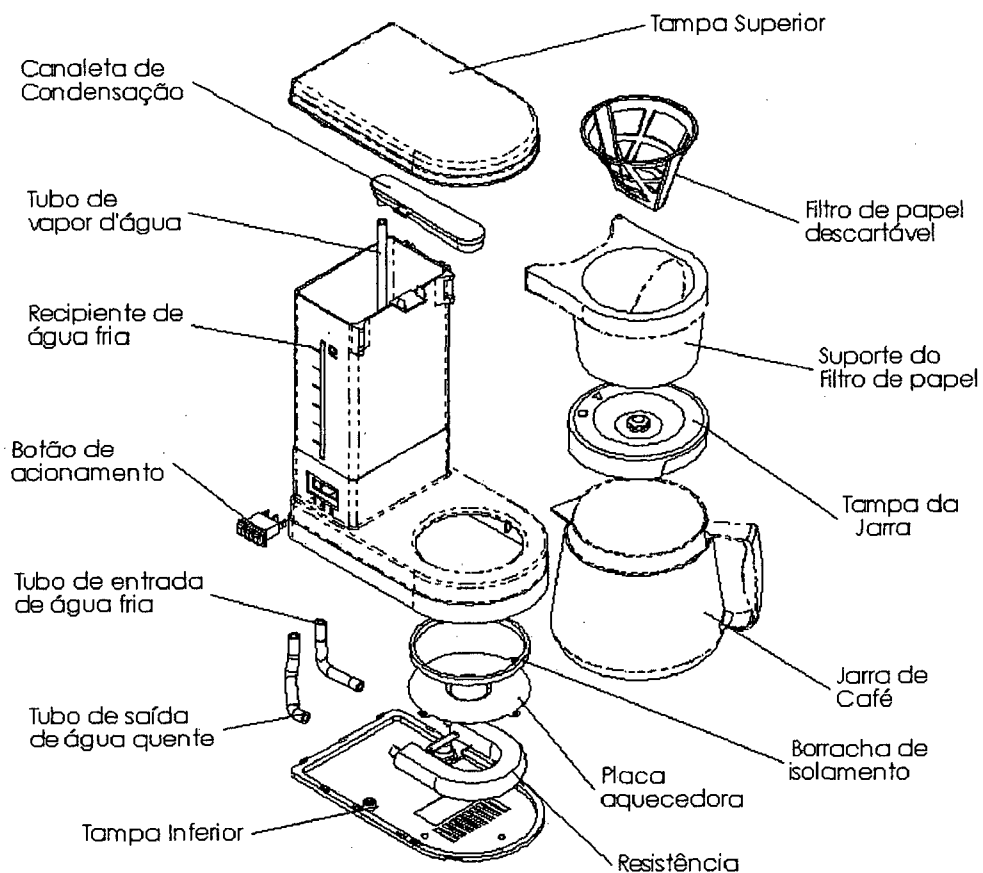


Figura 5-5 – Concepção modificada da cafeteira elétrica

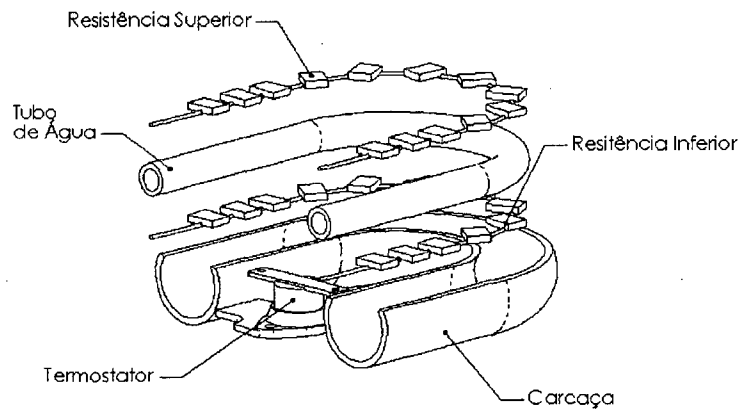


Figura 5-6 – Detalhe do sistema de aquecimento da concepção modificada

Estas modificações têm conseqüências negativas no custo de produção e no sistema produtivo, entretanto proporciona um melhor atendimento dos requisitos de reprojeto além de diminuir o impacto ambiental da cafeteira elétrica.

Continuando a aplicação das orientações da RePMA este resultado deve ser apresentado aos responsáveis pelo produto para que aprovelem as modificações e a continuação do processo de reprojeto. Mesmo não estando inserido num ambiente empresarial para que se possa realizar esta avaliação, considera-se necessária a continuação do processo de melhoria, pois as modificações propostas tem boas possibilidades de execução. Entretanto a confirmação dos seus benefícios dependem da elaboração do leiaute e detalhamento da concepção selecionada.

A seguir apresenta-se as considerações finais sobre a aplicação da RePMA neste estudo de caso.

5.6 Considerações finais

Neste capítulo apresentou-se o processo de reprojeto para o meio ambiente de uma cafeteira elétrica utilizando as orientações e ferramentas da RePMA. Na aplicação dos elementos da RePMA neste estudo de caso, observou-se que:

- A sua aplicação foi facilitada pela experiência da equipe de reprojeto na aplicação de metodologias de projeto;
- Os elementos da RePMA facilitaram a inclusão de aspectos específicos do processo de reprojeto e da melhoria ambiental de produtos;
- Apesar de serem apresentadas seqüencialmente, algumas atividades foram

realizadas em paralelo, como por exemplo as atividades da Fase 2.0 começaram antes do término da Fase 1.0;

- Os quadros propostos na RePMA necessitaram de adaptações para atender as características específicas do estudo de caso, contudo propuseram a organização das informações durante o processo de reprojeto;
- A principal dificuldade na aplicação das orientações da RePMA foi a impossibilidade de montar uma equipe de reprojeto multidisciplinar e considerar as informações do setor produtivo;
- A utilização do EI99 para avaliação do impacto ambiental facilitou a inclusão do conhecimento sobre impacto ambiental no reprojeto da cafeteira, entretanto a sua utilização exigiu diversas simplificação na avaliação do impacto ambiental do produto. Mesmo assim a sua utilização mantém-se válida para auxiliar na elaboração de requisitos ambientais;
- As orientações da fase de reprojeto conceitual foram mais fáceis de serem aplicadas do que a fase anterior, pois a RePMA utilizou-se de um conjunto de métodos de projeto conhecidos; e
- As especificações para o reprojeto orientaram as atividades de síntese na fase de reprojeto conceitual, principalmente nas Tarefas 2.2.2, 2.3.1 e 2.3.3.

No que se refere a melhoria ambiental da cafeteira elétrica, verificou-se que:

- Conseguiu-se cumprir os objetivos do estudo de caso, principalmente na resolução do problema de reprojeto, pois teve como resultado uma concepção alternativa para a cafeteira elétrica, que se apresenta com melhores características ambientais do que a concepção da cafeteira existente;
- Devido a condição de não ter informações provenientes da produção e distribuição o reprojeto assemelhou-se a um projeto de produto novo pois a equipe de reprojeto não tinha experiência com o produto, entretanto as orientações da RePMA auxiliaram na aquisição de informações do próprio produto; e
- A avaliação do ciclo de vida da cafeteira revelou um resultado semelhante aos encontrados na literatura, (Pré Consultants, 1999 e Goedkoop *et al*, 2000). A diferença encontrada deve-se a unidade funcional estabelecida com base na análise das respostas dos questionários.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões referentes ao desenvolvimento da metodologia de reprojeto para o meio ambiente (RePMA) e de recomendações para futuros trabalhos relacionados aos temas tratados nesta dissertação. De certa forma, durante o texto, apresentaram-se pareceres conclusivos sobre a elaboração e aplicação da RePMA. Mais especificamente, as conclusões relacionadas ao estudo de caso foram apresentadas no Capítulo 5.

Nos próximos itens são apresentadas as conclusões gerais sobre a dissertação, tendo em vista os objetivos e contribuições pretendidas, apresentadas no Capítulo 1. Além disso, apresentam-se recomendações para trabalhos futuros referentes à evolução e complementação da RePMA e ao projeto para o meio ambiente.

6.2 Conclusões gerais

Esta dissertação é o registro de uma pesquisa de caráter investigativo sobre três temas: metodologias de projeto, reprojeto de produtos e projeto para o meio ambiente, descrita nos Capítulos 2 e 3. Esse trabalho gerou conhecimentos, exemplificados nas considerações finais de cada capítulo, que foram utilizados no desenvolvimento da RePMA.

Os objetivos desta pesquisa foram alcançados. A própria proposição da RePMA é a realização do objetivo principal, pois a estrutura e elementos (orientações e métodos) da RePMA proporcionam a inclusão das demandas ambientais na melhoria do produto, além de suportar às especificidades do reprojeto.

Os objetivos específicos, por sua vez, também foram alcançados através dos elementos prescritos na RePMA, mais especificamente aqueles que dão suporte:

- ao esclarecimento das estratégias ambientais da empresa, através da utilização das LiDS, na tarefa de determinação da realização do reprojeto;
- à determinação do nível de reprojeto através de uma matriz que relaciona requisitos e níveis de reprojeto. Este relacionamento resulta em valores orientativos para determinar o nível de reprojeto mais adequado à melhoria do produto. Destaca-se o fato de que não foi encontrado na literatura um método de suporte a esta tarefa; e
- à melhoria na concepção do produto através de orientações para a inclusão da consideração ambiental no método da síntese funcional, na utilização da matriz morfológica e das matrizes de seleção da melhor concepção modificada.

No que se refere às contribuições pretendidas, considera-se que foram alcançadas através da apresentação deste texto, pois este agrega os métodos de suporte ao reprojeto para o meio ambiente e a organização de conhecimentos sobre PPMA. Além disso, a proposição da RePMA é uma forma concreta de cooperar com as iniciativas de desenvolvimento sustentável.

Estes objetivos e contribuições foram alcançados através do tratamento das informações referentes aos três temas relacionados a esta pesquisa: metodologia de projeto, reprojeto de produto e projeto para o meio ambiente.

Em relação à metodologia de projeto, encontraram-se informações, como por exemplo: as classificações das propostas de metodologias existentes, o modelo de consenso do processo de projeto e as diretrizes para o desenvolvimento de metodologias de projeto. Estas informações possibilitaram o esclarecimento dos elementos e características que deveriam estar presentes na RePMA, como por exemplo a divisão do processo de reprojeto em quatro fases e o desdobramento de cada fase em etapas e tarefas. Além disto, possibilitou classificar a RePMA como uma metodologia de natureza prescritiva.

O estudo sobre reprojeto de produtos possibilitou o entendimento da diferença entre o reprojeto e o projeto de produtos novos. A principal diferença é a pré-existência do produto, que implicam em atividades específicas, principalmente no que se refere à aquisição e organização das informações de diversas fontes, como por exemplo: dos documentos elaborados ao longo do ciclo de vida, do próprio produto e dos clientes. Baseado neste entendimento e no estudo de outras abordagens de reprojeto estabeleceu-se a estrutura do processo de reprojeto.

Por outro lado, entende-se que o reprojeto de produtos é uma atividade do desenvolvimento de produto. Desta forma, embora se tenha proposta uma nova metodologia para atender as características específicas do reprojeto, deve-se procurar agregar as orientações e

métodos da RePMA numa abordagem metodológica de desenvolvimento de produto, como por exemplo a desenvolvida no NeDIP/UFSC.

Noutro tema, o projeto para o meio ambiente, realizou-se uma pesquisa sobre as abordagens que tratam da demanda ambiental no setor produtivo. Deste estudo foi possível classificar a RePMA entre as abordagens que procuram reduzir o impacto ambiental do ciclo de vida do produto. Também se observou que a implementação do PPMA encontra diversos obstáculos e que para superar estas dificuldades existem duas formas: metodologias e eco ferramentas.

Estes conjuntos de informações suportaram a elaboração da RePMA. Elaborou-se o fluxograma geral da metodologia, detalhando-a em fases e etapas. As fases de reprojeto informacional e conceitual foram desdobradas até o nível de tarefas, apresentando orientações e métodos de suporte a equipe de reprojeto.

Em comparação com as outras abordagens de reprojeto para o meio ambiente, apresentadas no Capítulo 2, a RePMA destaca-se por apresentar o processo de reprojeto mais estruturado e detalhado, embora ainda não tenha elementos que possam prever e absorver as incertezas do cumprimento das metas como a ESP, e nem a experiência de seis anos de aplicação como o EcoReDesign.

Outra vantagem da RePMA é a facilidade de sua implantação num ambiente que já possui experiência em desenvolvimento sistemático de produtos, pois foi elaborada com base na metodologia difundida pelo NeDIP/UFSC. Os trabalhos desenvolvidos no NeDIP/UFSC, por sua vez, fundamentam-se num modelo de consenso entre metodologias prescritivas de projeto de produtos.

No que se refere à aplicação da RePMA no reprojeto da cafeteira elétrica, observou-se que:

- Essa foi facilitada pela experiência da equipe de reprojeto em desenvolvimento sistemático de produtos. As orientações e métodos da RePMA auxiliaram na elaboração de melhorias na concepção da cafeteira elétrica existente num processo conduzido de forma sistemática sem restringir a liberdade de criação da equipe de reprojeto;
- A integração entre os métodos propostos. Esta integração foi possível devido ao estabelecimento de um fluxo de informações necessárias em cada fase, o que possibilitou o desenvolvimento de ferramentas que atendessem estes fluxos; e
- Os ganhos ambientais obtidos no reprojeto da cafeteira elétrica vão ao encontro da

hipótese que norteou este trabalho (cf. item 1.4.2).

Diante deste conjunto de conclusões gerais propõem-se algumas recomendações para trabalhos futuros que visam trilhar os temas aqui discutidos.

6.3 Recomendações para trabalhos futuros

As recomendações apresentadas são divididas em grupos.

Recomendações referentes à RePMA:

- Desenvolver trabalhos referentes à evolução da RePMA, incluindo a consideração dos produtos concorrentes na identificação de possibilidades de melhorias do produto; avaliando-a e adaptando-a segundo as normas da série ISO 14000 e elaborando um método de avaliação qualitativa do impacto ambiental do ciclo de vida dos produtos, que deverá auxiliar a equipe de reprojeto na fase de reprojeto conceitual, em qual o grau de abstração dificulta a utilização de avaliações quantitativas;
- Complementar a RePMA desdobrando as fases de reprojeto preliminar e detalhado, propondo orientações e métodos de suporte às atividades da equipe de reprojeto; e
- Implementar computacionalmente as orientações e métodos da RePMA.

Recomendações referentes ao projeto para o meio ambiente:

- Desenvolver métricas de impacto ambiental de produtos, semelhante ao EI99, para a realidade brasileira; e
- Desenvolver orientações e métodos para a inclusão do PPMA no processo de desenvolvimento de novos produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, J. **Gráfico para interpretação de resultados**: texto base da disciplina ENG308 (Sistema de garantia de qualidade) do departamento de engenharia mecânica da Universidade Federal da Bahia, segundo semestre, 1997. Notas de aula. Mimeografado.

ASHLEY, S. Designing for the Environment. **Mechanical Engineering**, New York, v. 115, n. 3, p. 53-55, mar. 1994.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de produto**: texto base da disciplina EMC 6605 (Projeto conceitual) do programa de pós graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, primeiro trimestre, 1999. Notas de aula. Fotocopiado.

BAENA, J. C. Comércio Exterior e Meio Ambiente: Reflexos dos Programas de Rotulagem Ambiental sobre as exportações Brasileiras para a União Européia. In: **CICLO DE DEBATES SOBRE ECONOMIA E MEIO AMBIENTE**, fevereiro, 2000. Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sds/debates/doc/juliobaena.doc>>. Acesso em: 25 out. 00.

BEITZ, W. Designing for ease of recycling – General Approach and Industrial Application. In: **9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN**, 17-19 ago. 1993, The Hague. **Proceedings of ICED 93**, p. 731-738.

BEZERRA, M. C. L. de; e BURSZTYN, **Ciência & tecnologia para o desenvolvimento sustentável**. Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília: Consórcio CDS/UnB/Abipti 2000. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21bra/doctematicos.html>>. Acesso em: 25 out. 00.

BOOTHROYD, G.; ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. In: **Annals of the CIRP**, v. 41/2, p. 625-636, 1992.

BOR, J.M.; KANT, E.J.W. **Milion: a project on design for environment.** In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 17-19 ago. 1993, The Hague. **Proceedings of ICED 93**, p. 796-803.

BRAS, B. Incorporating Environmental Issues in Product Design and Realization. **Industry and Environment**, United Nations Environment Programme Industry and Environment (UNEP/IE), Paris, v. 20, n. 1-2, p. 7-13, jan-jun 1997.

CALUWE, N. de. **Ecotools manual: A comprehensive review of Design for Environment tools.** United Kingdom: Manchester Metropolitan University, Design for the environment research group, 1997. Disponível em:
<<http://sun1.mpce.stu.mmu.ac.uk/pages/projects/dfe/pubs/dfe33/frame.htm>>. Acesso em: 23 nov. 99.

CAMARGO, A. T. **O direito ambiental como ferramenta do desenvolvimento sustentável.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1998.

COULTER, S.; BRAS, B. **Reducing environmental impact through Systematic Product Evolution.** Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacturing, v. 6, n. 2, 1997. Disponível em:
<http://srl.marc.gatech.edu/e_library/papers/bras/ECDM97_Journal_Coulter.pdf>. Acesso em : 25 abr. 01.

DANNHEIM, F.; SCHOTT, H.; BIRKHOFFER, H. **The significance of the product's usage phase for design for environment.** In: 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 19-21 ago. 1997, Tampere. **Proceedings of ICED 97**, p. 641-646.

DIXON, L. A.; COLTON, J.S. **An anchoring adjustment process model for redesign.** Journal of Engineering Design. In: Carfax Publishing, Ed. Derek Sheldon, v. 9, n. 4, p. 297-314, 1998.

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

EVBUOMWAN, N.F.O.; SIVALOGANATHAN, S.; JEBB, A. **A survey of design philosophies, models, methods and systems.** *Proceedings*: Institution of Mechanical Engineers. v. 210, p. 301-319, 1996.

FINKELSTEIN, L.; FINKELSTEIN, A.C.W. **Review of design methodology**. *Proceedings: IEE-Science, Measurement and Technology*, v. 130, Pt. A, n 4, pp. 213-221, jun 1983.

FONSECA, A.J.H. **Desenvolvimento de uma sistemática para a obtenção das especificações de projetos de produtos industriais**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de elaboração das especificações de projetos de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

GERTSAKIS, J.; LEWIS H.; RYAN C. **A Guide to EcoReDesign™**. Improving the environmental performance of manufactured products. Publicado pelo Centre for Design at RMIT. Melbourne, 1997a. Disponível em: <<http://daedalus.edc.rmit.edu.au/dfe/download/ERDKit.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 01.

GERTSAKIS, J.; LEWIS H.; RYAN C. **Introduction to EcoReDesign™**. Improving the environmental performance of manufactured products. Publicado pelo Centre for Design at RMIT. Melbourne, 1997b. Disponível em: <http://daedalus.edc.rmit.edu.au/dfe/download/Intro_ERD.pdf>. Acesso em: 25 abr. 01.

GOEDKOOOP, M.; EFFTING, S.; COLLIGNON, M. **The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Manual for Designers**, 2 ed.. Amersfoort, 2000. Disponível em: <<http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>>. Acesso em: 25 abr. 01.

GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report**, 2 ed.. Amersfoort, 2000b. Disponível em: <<http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>>. Acesso em: 25 abr. 01.

HARJULA, T.; RAPOZA, B.; KNIGHT, W.A. E BOOTHROYD, G. **Design for Disassembly and the Environment**. *Annals of the CIRP*, v. 45/1, p. 109-725, 1996.

HASHIM, F.M.; JUSTER, N.P.; PENNINGTON, A. **A functional approach to redesign**. *Engineering with Computers*, Sprignger-Verlag, Londres, v 10, p. 125-139, 1994.

HEMEL, C. G. van. **Experiments in Dutch ecodesign**. Disponível em: <<http://www.co-design.co.uk/experime.htm>>. Acesso em: 25 abr. 01.

HEMEL, C. G. van. **Tools for setting realizable priorities at strategic level in design for environment.** In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 22-24 ago. 1995, Praha. **Proceedings of ICED 95**, p. 1040-1047.

HOGARTH P.; TABESHFAR K. **The Influence of Design Visualisation in Reducing Investment in new Product Development.** In: 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 17-19 ago. 1993, The Hague. **Proceedings of ICED 93**, p. 127-134.

HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives.** Chapman & Hall, London, 1996.

ISHII, K. **Design for Environment and Recycling: Overview of Research in the United States.** CIRP 5^o Life-cycle Engineering Seminar, v. 8/4/98, p. 1-10, 1998.

KINLAW, D. C. **Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental.** São Paulo: Makron Books, 1998.

LÜCKE, H. A. H.; DE NEGRI, V. J. **Uma metodologia integrada para o desenvolvimento de sistemas automáticos.** In: 2^o CONGRESO INTERAMERICANO DE COMPUTACIÓN APLICADA A LA INDUSTRIA DE PROCESOS, 1994, Santiago - Chile. Anais... Santiago: CIT 290 pp. 6-13. (Apresentação em palestra especial).

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

MARIBONDO, J. F.; BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Diretrizes para o desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares.** In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, Águas de Lindóia, São Paulo, 22-26 nov. 1999a.

MARIBONDO, J. F.; BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Metodologia de projeto de sistemas modulares – SISMOD.** Publicação interna – Núcleo de desenvolvimento integrado de produto (NeDIP). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, nov. 1999b.

OGLIARI, A. **Estabelecimento da tarefa de projeto e ferramentas computacionais de apoio.** Trabalho não publicado. Estudo parcial sobre a formulação teórica da tese de doutorado no programa de pós graduação em engenharia mecânica da UFSC. Florianópolis, set. 1997.

OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

OTTO, K. N.; WOOD K.L. **Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology**. Research in Engineering Design - Theory, Applications, and Concurrent Engineering. v. 10 n. 4 Springer-Verlag GmbH & Company KG Berlin Germany, p. 226-243, 1998.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach - 2Rev.ed**, Berlin: Springer – Verlag London Limited, 1996.

PRÉ CONSULTANTS B.V. **SimaPro 4.0 Versão Demo**. Versão português do manual do software. Amersfoort, jun. 1999. Disponível em: <<http://www.pre.nl/download/default.htm>>. Acesso em: 25 abr. 01.

PUGH, S. **Total Design**. In: Addison-Wealey Publishing Company. 1990.

REYES, D. S.; WRIGHT, T. I. **A structured approach to successful design for the environment**. In: 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TOOLS AND METHODS FOR CONCURRENT ENGINEERING – TMCE-98, Manchester, England. 21-23 abr. 1998, p. 142 – 151.

RODRIGUES, O. O meio ambiente espera por você. **Você s.a.**, Rio de Janeiro, Editora Abril, edição 21, ano 3, p. 62-68, mar. 2000.

SILVA JUNIOR, A. C. da; BITENCOURT, A. C. P.; YAMASAKI, J. T.; DIAS, J. L. P. A., CARRAFA, W. M. **Moenda de caldo de cana: projeto conceitual**. Florianópolis. Trabalho não publicado, orientado por Fernando A. Forcellini – Dr. Eng na disciplina de Projeto Conceitual do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1999.

SOARES, S. R. **Análise do ciclo de vida**. Notas da aula 06. Disciplina Avaliação ambiental de sistemas – Trimestre 2000/2. Programa de pós-graduação em engenharia de produção e sistema, ago. 2000.

SOARES, S. R. **Análise simplificada do ciclo de vida de produtos**. Estudo de caso : embalagens para produtos líquidos. In: V CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE. SAE (Society of Automotive Engineers). Tema: Ciclo de vida total. São Paulo, 07-09 out. 1996.

SWEATMAN, A.; SIMON, M. **Design for environment tools and product innovation**. In: 3RD INTERNATIONAL SEMINAR ON LIFE CYCLE ENGINEERING "ECO-Performance '96", 18-20 mar. 1996, ETH Zürich, Switzerland.

TIPNIS, V. A. **Evolving Issues in Product Life Cycle Design**. Annals of the CIRP, v. 42/1/1993, p. 169-173, 1993.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. Singapore: McGraw-Hill Co., 1992.

US-EPA, Office of Pollution Prevention and Toxics, Pollution Prevention Division. **The use of life cycle assessment in environmental labelling programs**. Elaborado por Julie Wintes Lynch, Washington, D.C., setembro, 1993.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**. Nova York, Oxford University Press, 1987.

YOSHIKAWA, H. **Design Philosophy: The State of the Art**. Annals of the CIRP, v. 38/2/1989, p. 579-586, 1989.

Anexo A

LiDS (*Lifecycle design strategies*) – Estratégias de projeto
para o ciclo de vida

A LiDS é um método utilizado para estruturar, visualizar, comunicar, avaliar e documentar as estratégias de projeto para o ciclo de vida de produtos, (Hemel, 1995 e 2000). Consiste de um gráfico radar com oito eixos, que representam estratégias de projeto para o ciclo de vida do produto, como apresentado na Figura A-1.

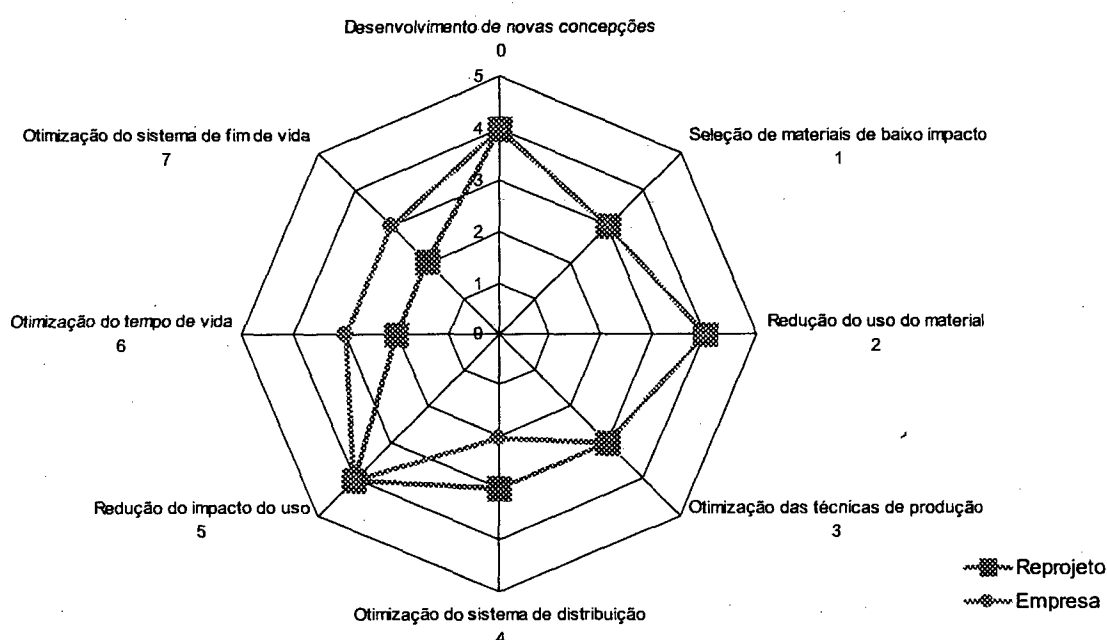


Figura A-1 – Estratégias de projeto segundo o ciclo de vida do produto. Adaptada de Hemel (2000).

Cada estratégia agrupa em si um conjunto de diretrizes de projeto que possibilitam a redução do impacto ambiental do produto. Por exemplo: Seleção de material de baixo impacto, agrupa diretrizes do tipo: não utilizar materiais tóxicos, utilizar materiais reciclados, utilizar materiais recicláveis, entre outras. Percorrendo os eixos do LiDS no sentido horário, as estratégias se relacionam com os níveis de componentes, de estrutura e das fases do ciclo de vida do produto. Os eixos possuem uma escala de valores, apresentada na Tabela A-1.

Tabela A-1 – Escala de valores do LiDS

Valor	Significado
0	A estratégia não tem importância alguma
1	A estratégia tem uma importância pequena
2	A estratégia tem uma importância regular
3	A estratégia tem uma importância boa
4	A estratégia tem uma importância maior
5	A estratégia tem uma importância máxima

Por exemplo, quando se relaciona um valor de 5 ao Desenvolvimento de novas

concepções, implica que para reduzir o impacto ambiental do produto é imprescindível implementar mudanças no conceito do produto, ou quando se relaciona um valor de 3 à Seleção de material de baixo impacto, implica que as ações relacionadas a esta estratégia podem gerar uma boa redução do impacto ambiental do produto, mas as principais fontes de impacto ambiental no ciclo de vida do produto não se restringe a questão de material.

Apesar desta escala de valores para o LiDS, o seu significado e preenchimento depende do objetivo de sua aplicação. Na RePMA, o LiDS é utilizado com dois objetivos:

- 1) Representar as estratégias ambientais da empresa em relação ao desenvolvimento de seu produtos; neste caso é denominado de LiDS da empresa, e
- 2) Representar uma avaliação prévia das ações necessárias para diminuir o impacto ambiental do produto; neste caso é denominado de LiDS do reprojeto.

Estes usos do LiDS dá-se na primeira atividade prevista na RePMA, que é a **determinação da necessidade do reprojeto do produto**, tendo em vista a demanda ambiental. Nesta atividade procura-se comparar o LiDS da empresa com o do reprojeto com o objetivo de determinar o necessidade da realização do reprojeto do produto em relação a demanda ambiental sobre o produto. Esta atividade é detalhada no item 4.3, Capítulo 4. A seguir apresenta-se um conjunto de orientação para auxiliar o preenchimento do LiDS.

O LiDS da empresa é preenchido com o objetivo de traduzir para o desenvolvimento de produtos a posição estratégica da empresa frente a demanda ambiental. Esta tarefa é melhor conduzida pela gerência, pois refletirá as intenções de investimento que a equipe de reprojeto terá na consideração da demanda ambiental. Por exemplo, a empresa pode optar em investir somente na melhoria ambiental nos seus processos de fabricação, nestes casos modificações que gerem melhorias em outras fases do ciclo de vida do produto, como transporte, uso ou descarte, não teria o apoio da empresa.

Ou, por outro lado, a empresa pode pretender diferenciar-se ecologicamente de seus concorrentes, e além disso, desejar que este diferencial seja identificado em todas fases de vida do produto. Este tipo de posicionamento estratégico implicaria num apoio amplo ao reprojeto do produto tendo em vista a demanda ambiental, mas necessita de um melhor detalhamento em que linhas ter-se-á maior destaque. Este detalhamento auxilia na resolução de conflitos entre diferentes aspectos da demanda ambiental durante o reprojeto do produto.

Diante do exposto anteriormente, é muito importante que a gerência procure expressar a estratégia ambiental da empresa em termos de estratégias de projeto para o ciclo de vida e que seu preenchimento baseie-se na missão da empresa, nas estratégias ambientais desta e na

regulamentação ambiental. A gerência deve analisar cada categoria de pressão ambiental do mercado em consonância com a missão geral e estratégias específicas da empresa. Esta análise deve ser realizada como o objetivo de determinar as prioridades de cada eixo do LiDS.

Já o LiDS do reprojeto baseia-se numa análise prévia do impacto ambiental do produto. Esta análise é facilitada quando a equipe de reprojeto é composta por representantes de diferentes áreas da empresa, principalmente marketing, produção e ambiental. A determinação da prioridade de cada eixo do LiDS deve representar o quanto é necessário priorizar determinada estratégia de projeto para que se possa reduzir o impacto ambiental do produto no seu ciclo de vida. A dificuldade está justamente na identificação do impacto ambiental do produto antes do processo de reprojeto.

O método mais indicado para identificação do impacto ambiental de produtos é a análise quantitativa do ciclo de vida do produto - ACV, no entanto a sua aplicação requer um investimento de tempo e recursos, mesmo nas versões simplificadas. Devido a isto propõem-se que se faça uma avaliação qualitativa do impacto ambiental do produto procurando identificar os principais impactos ambientais do produto no seu ciclo de vida. Desta avaliação qualitativa procura-se determinar a prioridade de cada estratégia de projeto descrita no LiDS.

Para ajudar na compreensão das estratégias de projeto contidas no LiDS, apresenta-se na Tabela A-2 uma descrição de cada estratégia de projeto para o ciclo de vida. Esta descrição serve de auxílio ao preenchimento do LiDS.

A gerência e a equipe de reprojeto devem transcrever estas descrições gerais de cada estratégia para o produto em análise. A gerência procurando traduzir as estratégias ambientais da empresa em termos de prioridade em cada eixo do LiDS, enquanto a equipe de reprojeto procura determinar prioridades na consideração de cada eixo do LiDS para a redução do impacto ambiental do produto.

Tabela A-2 – Estratégias das LiDS

Estratégia ambiental	Descrição
Desenvolvimento de novos conceitos	Corresponde às ações de mudanças em termos da estrutura funcional e/ou dos princípios de solução. A prioridade desta estratégia é maior, quando identifica-se que os principais impactos ambientais podem ser relacionadas a princípios de solução ou funções do produto.
Seleção de material de baixo impacto	Corresponde às ações de mudanças em termos do tipo de material que é utilizado na constituição dos componentes. A prioridade desta estratégia é maior, quando identifica-se que: <ul style="list-style-type: none"> - o produto é constituído de materiais que geram impactos ambientais significativo nos processos de extração e pré-fabricação; - o impacto ambiental nos processos de fabricação estão relacionados ao tipo de material utilizado, ou - o impacto ambiental do descarte de determinados materiais é muito alto.
Redução de material	Corresponde às ações de mudanças em termos da quantidade de material utilizado no produto. Refere-se principalmente à redução de peso e volume do produto.
Otimização das técnicas de produção	Corresponde principalmente a escolha de processos de fabricação com menor impacto ambiental: energeticamente mais eficiente; que produza menor quantidade de resíduos sólidos e efluentes e menor consumo de recursos tóxicos. A necessidade de uma maior prioridade desta estratégia ocorre quando identifica-se um impacto ambiental na fase de produção em relação as outras etapas do ciclo de vida.
Otimização do sistema de distribuição	Corresponde as ações que procuram minimizar o impacto ambiental na fase de distribuição e venda do produto, portanto um alto impacto nestas fases indicaria a necessidade de maior prioridade nesta estratégia. A prioridade nesta estratégia está relacionado ao impacto ambiental das fases do ciclo de vida responsável pela introdução do produto no mercado, ou seja correspondem aos impactos ambientais causados indiretamente pelo produto, relacionados, principalmente, à sua embalagem e ao seu acondicionamento no meio de transporte adotado.
Redução do impacto do uso	Corresponde as ações que procuram minimizar o impacto ambiental na fase de uso do produto, portanto a identificação de um alto impacto nesta fase indicaria a necessidade de maior prioridade nesta estratégia. O impacto ambiental nesta fase é relacionado tanto com o consumo de energia e material, quanto aos resíduos gerados na operação do produto.
Otimização do tempo de vida	Corresponde as ações que procuram estender a vida do produto, tais como: modularizar o produto; facilitar a desmontagem e manutenção; capacitar o produto em termos de projeto e funcionalidade, diminuindo o período de obsolescência. A necessidade de uma maior prioridade nesta estratégia é relacionada com um alto impacto ambiental na fase de produção e descarte em relação ao total geral do impacto ambiental do ciclo de vida, esta análise pode ser feita através do Quadro D-2.
Otimização do fim de vida	Corresponde às ações que procuram diminuir o impacto ambiental no descarte do produto, tais como: melhorar a reciclabilidade, estimular o reaproveitamento; facilitar a desmontagem do produto; entre outros. A necessidade de uma maior prioridade nesta estratégia é relacionada com um produto que possui componentes com impacto ambiental significativo em relação ao impacto total do produto ou quando a fase de produção ou descarte do produto possui impacto ambiental alto em relação ao impacto total geral do ciclo de vida do produto.

Anexo B

INVERSO DA SÍNTESE FUNCIONAL

O principal objetivo do inverso da síntese funcional é a recuperação do concepção do produto existente, nos casos em que se não consegue recuperar os documentos que descrevem a estrutura funcional e a estrutura morfológica.

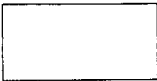

O inverso da síntese funcional consiste dos passos enumerado a seguir.

- 1) Pressupor uma função global e seu desdobramento numa estrutura funcional preliminar. Esta pressuposição é facilitada quando considera-se o produto como um sistema técnico, descrevendo as relações de suas interfaces com o ambiente, no qual está inserido. Estas relações são expressas como as entradas e saídas dos fluxos de material, energia e informação;
- 2) Identificar os princípios de solução, com suas interfaces e seus inter-relacionamentos. Este passo pode ser realizado através de uma análise dos desenhos de conjunto e detalhamento ou pode ser através da desmontagem do produto;
- 3) Descrever a função dos princípios de solução. As funções são descritas através de um verbo e um substantivo. As funções de ligação (juntas e uniões fixas) e auxiliares podem ser, inicialmente, desprezados neste estudo. As funções descritas podem ser agrupadas em grupos funcionais. Esta descrição é guiada pela a estrutura funcional pressuposta no passo 1);
- 4) Registrar os inter-relacionamentos entre os grupos funcionais através dos fluxos de energia, material e informação;
- 5) Montar a estrutura morfológica do produto existente, utilizando-se do Quadro B-1, no qual registra-se os grupos funcionais, princípios de solução, inter-relacionamento com outros grupos funcionais antecedentes e subsequentes, segundo os fluxos de energia, material e informação; e
- 6) Descrever o arranjo da estrutura funcional, a partir da estrutura morfológica e dos fluxos de energia, matéria e informação. Representar as funções e as suas interligações segundo a simbologia apresentada na Figura B-1.

Quadro B-1 – Estrutura morfológica do produto

Grupo funcionais (função)	Entrada	Saída	Subfunções	Princípios de solução	Inter-relacionamento com outros grupos funcionais	
					Antecedente	Subsequente

Elementos básicos

Símbolo	Descrição
	Representa um grupo funcional, no interior do retângulo inscreve-se a função com o binômio verbo-substantivo. Por exemplo: aquecer chapa, transmitir calor, entre outras.
	Representa o fluxo de material, energia ou informação. No interior do círculo inscreve-se a forma com que se expressa estas grandezas. Por exemplo: energia elétrica de baixa voltagem, fluxo de calor, entre outras.

Interligação dos Elementos

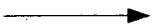


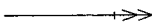
Símbolo	Descrição
	Fluxo de informação
	Fluxo de matéria
	Fluxo de energia
	Fluxo de matéria e energia

Figura B-1 – Simbologia para a descrição da estrutura funcional*

* Esta simbologia foi inspirada na técnica de modelagem de sistemas denominada de Rede Canal/Agência (Lücke e De Negri, 1994).

Anexo C

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E ECO INDICADOR

C.1 Introdução

O ciclo de vida é entendido como a descrição da vida do produto, através das diversas fases que este passa, desde a concepção e produção, até o descarte do produto. Este conceito é utilizado de diversas formas no desenvolvimento de produtos. Por exemplo em Back (1983, p. 24) utiliza-se o ciclo de vida para ilustrar o fluxo de informações dos consumidores à produção e em Fonseca (2000, pp. 64-68) para representar o processo de desenvolvimento de produtos.

No presente trabalho o ciclo de vida do produto serve de suporte a diversas atividades no processo de reprojeto do produto, desde a identificação dos clientes e suas necessidades até a avaliação do impacto ambiental do produto. Para uniformizar o entendimento do ciclo de vida na RePMA, propõem-se abordar o ciclo de vida segundo os fluxos de informação, matéria e energia entre as principais fases da vida de um produto, como representado na Figura C-1.

Na Figura C-1 apresenta-se as principais fases do ciclo de vida de um produto genérico. As interligações entre estas fases são apresentadas segundo os principais fluxos de informação, material e energia. Esta abordagem possibilita a diferenciação dos tipos de entradas e saídas em cada fase, auxiliando a utilização do ciclo de vida, com diferentes enfoques:

- Aquisição e organização das informações referentes ao produto – segue-se o fluxo de informações, ou
- Inventário e avaliação do impacto ambiental do produto – segue-se o fluxo de material e energia.

No próximo item, apresenta-se a análise do ciclo de vida (ACV), que é um método de suporte a identificação e avaliação do impacto ambiental do produto. Portanto, na aplicação da ACV considera-se o fluxo de material e energia.

C.2 Análise do ciclo de vida

A ACV é um método que ainda não possui um pleno consenso sobre seu conceito e sua estrutura. A seguir apresenta-se algumas das principais abordagens deste método:

US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) – “Um conceito e metodologia para avaliar holisticamente os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade, analisando o ciclo de vida completo de um produto, processo ou atividade. A avaliação do ciclo de vida consiste de três componentes complementares (inventário, impacto e melhoria) e um procedimento de integração conhecido como escopo” (US EPA, 1993, p. 2);

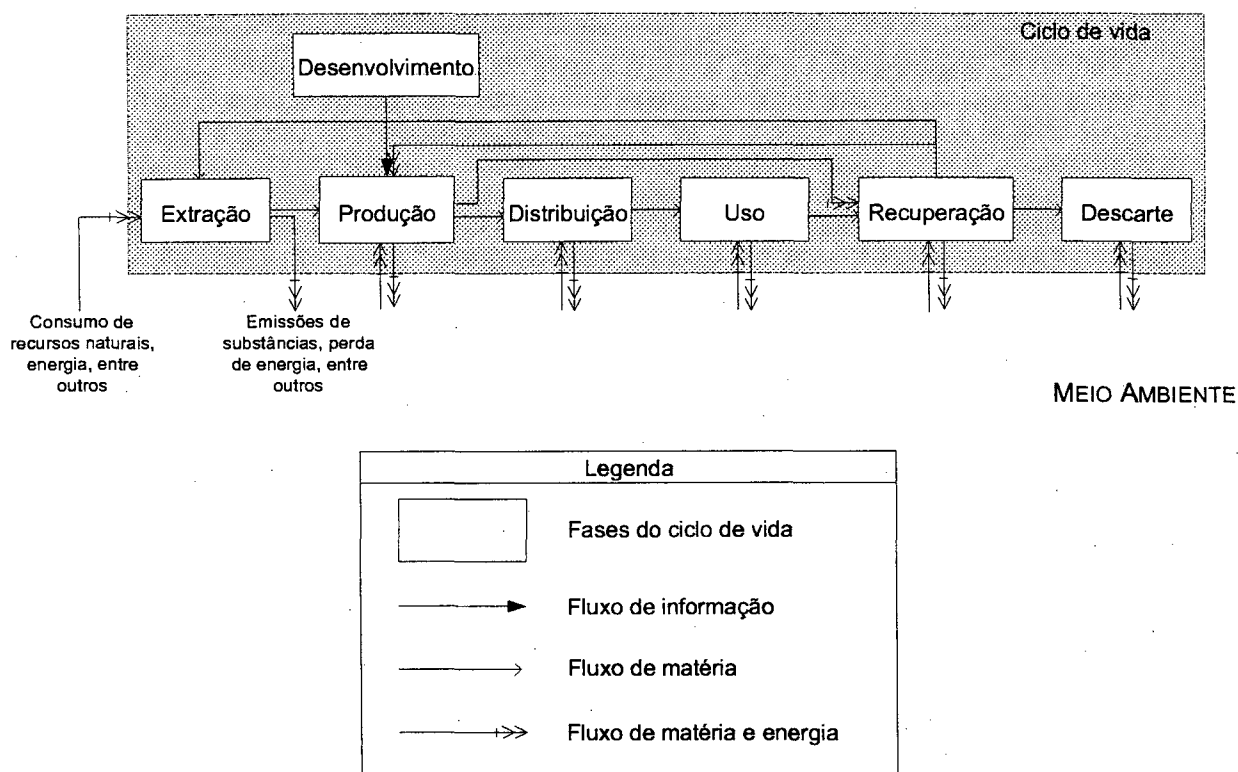


Figura C-1 – Ciclo de vida de produtos. Adaptada de Grüner e Birkhofer (1999)

SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) – “Procedimento de avaliação dos efeitos ambientais associados a um produto, processo ou atividade pela identificação e quantificação da energia e materiais usados e os resíduos emitidos no meio ambiente; pela avaliação dos impactos da energia e materiais usados e liberados no meio ambiente; e pela identificação e avaliação de oportunidades para melhorias ambientais. A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final” (Soares, 2000); e

ISO 14040 – “ACV é uma ferramenta de avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto ou serviço para: construir um inventário de entradas e saídas do sistema; avaliar os impactos ambientais potenciais destas entradas e saídas; interpretar os resultados da análise do inventário e da avaliação de impactos do sistema, relacionados ao objetivo do estudo” (Soares, 2000).

Depreende-se destas abordagens alguns elementos comuns:

- A ACV auxilia na avaliação do impacto ambiental de produtos, processos ou atividades;
- O impacto ambiental é avaliado em todo o ciclo de vida; e

- Constitui-se basicamente em quadro elementos: determinação do **objetivo e escopo** do estudo; **inventário** das entradas e saídas do ciclo de vida; **avaliação** do impacto ambiental do inventário e **interpretação dos resultados**. A relação entre estes elementos* é representada na Figura C-2.

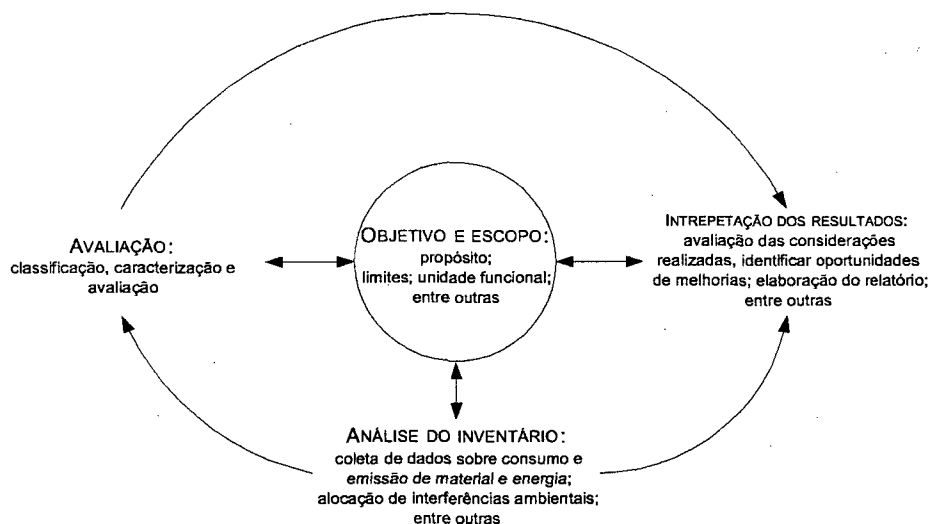


Figura C-2 – Esquema da ACV com seus elementos principais.

Nos próximos itens apresenta-se uma visão geral de cada passo da ACV. Não se pretende apresentar todos os detalhes das atividades envolvidas nestes. O objetivo da descrição subsequente é apresentar as principais dificuldades que a equipe de reprojeto pode encontrar na aplicação da ACV.

C.2.1 Definição do objetivo e escopo

A definição do objetivo e do escopo consiste na delimitação da aplicação da ACV, procurando definir claramente o que será avaliado, ou seja a descrição do ciclo de vida do produto que será considerado. Este passo refere-se ao estabelecimento do objetivo da aplicação da ACV. Por exemplo, pode-se utilizar a ACV: num processo de melhoria de um produto; na comparação ambiental entre produtos; ou na identificação e comunicação do perfil do impacto ambiental.

O escopo da ACV, por sua vez, é o esclarecimento dos limites de aplicação do método.

* Deste ponto em diante, estes elementos serão denominados passos da ACV;

Esta delimitação consiste em determinar:

- a unidade funcional que será avaliada;
- as fases do ciclo de vida do produto que serão consideradas;
- as diretrizes para o detalhamento de cada fase;
- os tipos de entradas e saídas que deverão ser consideradas;
- os critérios de avaliação; e
- a forma e conteúdo do relatório final da ACV.

A unidade funcional consiste da quantificação da função do produto. Um produto pode ter diferentes funções, portanto deve-se determinar sob qual função pretende-se avaliar o impacto ambiental. Abaixo apresenta-se uma unidade funcional para uma cafeteira elétrica:

A cafeteira foi projetada para uso doméstico e tem uma capacidade máxima de 10 xícaras. Supõe-se que o consumidor médio utiliza a metade da capacidade da máquina, duas vezes por dia durante 5 anos. Além disso, supõe-se que no uso, a máquina mantém o café aquecido durante meia hora. (Pré Consultants, 1999)

O papel da unidade funcional é esclarecer o que está sendo analisado, por exemplo, o tipo de uso do produto, o comportamento do usuário, a performance do produto, o tempo de vida do produto, entre outros. A unidade funcional é a base para o balanço de energia e massa que será realizado no próximo passo.

A partir das determinações realizadas neste passo, procura-se descrever o ciclo de vida do produto. A descrição do ciclo de vida deve conter as fases que serão consideradas, o detalhamento de cada fase em processos, os fluxos de material e energia internos (entre processos e entre fases) e externos ao ciclo de vida do produto (aqueles que atravessam os limites do ciclo de vida).

C.2.2 Análise do inventário

O inventário refere-se ao balanço de massa e energia do ciclo de vida do produto. Estes balanços são realizados com base no objetivo e escopo, na unidade funcional e na descrição do ciclo de vida, determinados anteriormente. Abaixo descreve-se um conjunto de itens que se deve ter cuidado na elaboração do inventário:

- Coleta de dados, na qual deve-se determinar claramente os procedimentos necessários à realização da coleta. Estes procedimentos devem procurar esclarecer a coerência, consistência e incertezas dos dados, além de garantir a reprodutibilidade

do procedimento de coleta por outros;

- Alocação de informações, que corresponde às atividades de alocação de fluxos de material e energia. Um exemplo disto, é quando ocorre a geração de subprodutos no ciclo vida do produto que se está analisando. Não é justo responsabilizar um produto por todos os fluxos de material e energia, necessitando alocar corretamente estes fluxos entre os subprodutos;
- O detalhamento dos dados do inventário devem ser coerentes com o objetivo e escopo determinados anteriormente. Este detalhamento pode levar a representação dos fluxos de material e energia em termos de substâncias químicas fundamentais ou em termos de subprodutos e partes do produto principal; e
- Realização de considerações, tanto na coleta quanto no cálculo dos fluxos de material e energia. As considerações devem ser registradas para que se avalie as influências no resultado final da ACV.

Ao final deste passo ter-se-á quantificado as interferências ambientais na forma dos fluxos de material e energia do ciclo de vida do produto. Apesar de ainda não se ter avaliado o impacto ambiental destas interferências ambientais, já se pode realizar um conjunto de análises que podem melhorar o desempenho ambiental do produto, por exemplo: identificação de desperdício nos processos de fabricação; identificação de consumos muito grandes tanto de energia quanto de material; entre outras. A avaliação do impacto ambiental propriamente dito é realizada na etapa subsequente.

C.2.3 Avaliação do impacto

Neste passo procura-se avaliar o impacto ambiental do inventário elaborado no passo anterior. A principal dificuldade deste passo está na falta de um consenso de como avaliar o impacto ambiental. “Alguns conceitos e métodos de avaliação de impacto são recentes e continuam a ser desenvolvidos. Até o momento, nenhum acordo geral internacional foi encontrado sobre metodologias específicas” de avaliação de impacto ambiental. (Chehebe, 1998, p. 65).

Entretanto existe um consenso no que se refere aos subpassos que constitui a avaliação do impacto ambiental: classificação, caracterização e avaliação, como representado na

Figura C-3. Dentre estes, o mais polêmico é a avaliação, principalmente quando realizado através de indexadores ambientais, pois “alguns cientistas defendem a tese de que o impacto ambiental de um sistema de produto pode ser todo transformado em apenas um único

indexador ambiental. Outros não vêem o mínimo sentido, nem econômico nem científico, nessa forma de agir” (Chehebe, 1998, p. 66).

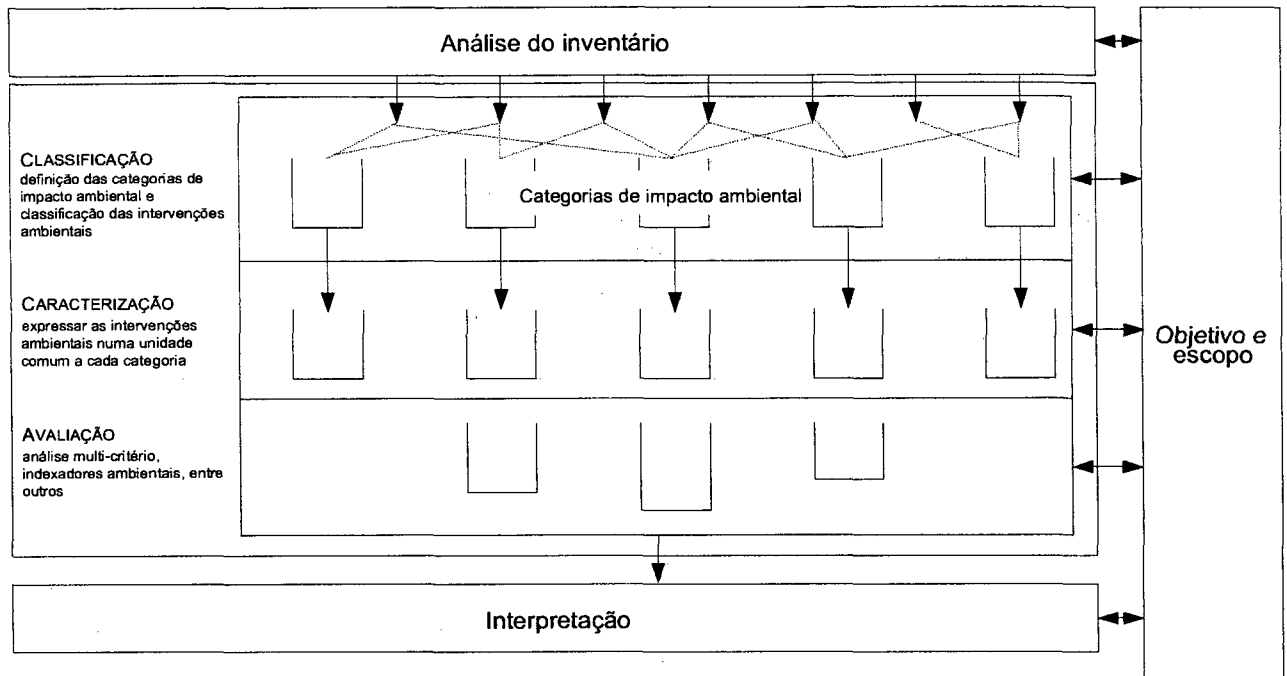


Figura C-3 – Avaliação do impacto ambiental. Adaptada de Chehebe (1998, p. 24)

Nos itens a seguir, apresenta-se uma descrição geral de cada elemento da avaliação do impacto ambiental e uma abordagem baseada na determinação de um indexador ambiental chamado de eco indicador, que facilita a realização da atividade de avaliação de impacto ambiental pelos projetistas.

CLASSIFICAÇÃO

As interferências ambientais identificadas e quantificadas no inventário são distribuídas em categorias de impacto ambiental. Esta atividade pode ser dividida em: determinação das categorias ambientais e na classificação das interferências ambientais nestas categorias.

A determinação das categorias de impacto ambiental deve levar em consideração as preocupações ambientais salientadas no objetivo e escopo do estudo. Estas categorias representam tipos de impactos ambientais, por exemplo: aquecimento global, acidificação, saúde humana, exaustão dos recursos naturais, entre outras.

Determinadas as categorias de impacto ambiental, realiza-se a classificação das interferências ambientais nestas categorias. A principal dificuldade nesta atividade é distribuir as intervenções ambientais entre as categorias, principalmente aquelas intervenções que podem

contribuir com diferentes tipos de impacto ambiental.

CARACTERIZAÇÃO

Esta tarefa corresponde à quantificação da contribuição nas categorias de impacto ambiental das intervenções ambientais identificadas, quantificadas e classificadas anteriormente. Para realizar a caracterização é necessário definir uma unidade de medida para uniformizar os dados das intervenções classificadas. Por exemplo, no caso da categoria de aquecimento global uma unidade que pode ser utilizada é o Potencial de Aquecimento Global (PAG), que por sua vez é medido em relação ao efeito de 1 kg de CO₂. Desta forma os gases classificados na categoria de aquecimento global devem ser expressos em termos quantidade equivalente de CO₂ (Chehebe, 1998, p. 76).

A dificuldade nesta atividade está na determinação das unidades de medidas e na adoção de fatores de equivalência para que se possa uniformizar as intervenções ambientais.

AValiação DO IMPACTO AMBIENTAL

Ao final da caracterização, têm-se um conjunto de categorias de impactos ambientais, quantificadas segundo unidades que congregam as intervenções ambientais. Entretanto estas categorias de impactos ambientais não têm a mesma importância.

Então, realiza-se uma avaliação para verificar a importância de cada categoria. A dificuldade nesta avaliação é que a valoração da importância de cada tipo de impacto ambiental depende de diversos elementos, como por exemplo:

- dos objetivos do estudo;
- da legislação local;
- da importância relativa entre os impactos ambientais no ecossistema local e global;
- entre outros.

Desta forma, é necessário esclarecer quais as considerações estão sendo feitas para avaliação da importância relativa entre as categorias de impactos ambientais. Ao final deste passo obtém-se um perfil do impacto ambiental do produto.

C.2.4 Interpretação dos resultados

Este passo corresponde à interpretação e registro das informações obtidas nos passos anteriores. A interpretação consiste em verificar como as considerações realizadas durante os

passos anteriores modificam os resultados encontrados na avaliação do impacto ambiental. Além disso, deve-se verificar as incertezas dos resultados obtidos. Ou seja, neste passo procura-se esclarecer o perfil do impacto ambiental obtido no passo anterior.

Uma vez refinado o perfil do impacto ambiental do produto, procura-se identificar oportunidades de redução deste impacto ambiental. Estas oportunidades devem ser avaliadas considerando os objetivos traçados para a ACV, além de ser apresentadas as implicações técnicas, econômicas e ambientais para cada possibilidade de melhoria ambiental.

Ao final destas avaliações elabora-se um relatório contendo todos os passos, considerações e resultados encontrados. Os principais objetivos deste relatório são:

- Comunicar os resultados encontrados; e
- Permitir a reprodução do estudo por outros interessados.

Diante do exposto anteriormente, percebe-se a dificuldade de aplicar de forma plena a ACV no desenvolvimento de produtos, quer seja pelos recursos ou quer seja pelo conhecimento necessário a sua aplicação. Esta dificuldade é agravada quando a equipe de projeto não é formada por especialista na área de impacto ambiental.

Para facilitar a utilização da ACV no desenvolvimento de produto têm surgido propostas que simplificam a sua aplicação, dentre elas pode-se citar Soares (1996)[†]. Outra forma de facilitar a utilização da ACV no projeto de produtos é a adoção de indexadores ambientais.

Na RePMA, além de uma abordagem simplificada da ACV, propõem-se a utilização do indexador ambiental desenvolvido pela empresa holandesa Pré Consultantes em parceria com o *Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM)*, como parte do programa *Integrated Product Policy (IPP)*. Este indexador é denominado de eco indicador 99 (EI99).

No próximo item apresenta-se a metodologia de obtenção do EI99 e sua aplicabilidade no processo de projeto.

C.3 Eco indicador 99

O EI99 é um método orientado ao cálculo de indexadores ambientais para materiais e

[†] Uma relação de outras abordagens simplificada da ACV encontra-se em Caluwe (1996, pp. 36-37).

processos. Este método foi desenvolvido pela empresa PRé Consultants[‡], com o apoio do governo holandês. O principal objetivo do EI99 é facilitar a aplicação da ACV no desenvolvimento de produtos. O EI99 consiste de uma escala de atribuição de pesos para o impacto ambiental de materiais e processos.

Para auxiliar no entendimento e aplicação desta abordagem, a PRé Consultants disponibiliza[§] documentos sobre o eco-indicador, como o:

- *Eco-indicator 99 Methodology report*. Este documento contém a descrição completa do método (Goedkoop e Spriensma, 2000); e
- *Eco-indicator 99 Manual For Designers*. Este apresenta uma introdução ao método e uma guia para o uso do EI99 no desenvolvimento de produtos (Goedkoop *et al*, 2000).

A seguir apresenta-se alguns aspectos do EI99 que se deve atentar na sua utilização numa ACV.

C.3.1 A metodologia de determinação do EI99

A metodologia de determinação do EI99 para materiais e processos baseia-se numa abordagem *top-down* da ACV, esquematizado na Figura C-4^{**}. Esta abordagem começa com a definição do resultado requerido da avaliação, ou seja, a valoração do impacto ambiental.

Para realizar esta valoração é necessário esclarecer os conceitos envolvidos na análise, principalmente o que se entende por meio ambiente e impacto ambiental (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 1).

[‡] A PRé Consultants é uma empresa especializada em análise de ciclo de vida de produtos e processos, principalmente no desenvolvimento de *software* de apoio a aplicação da ACV. Informações mais detalhadas sobre a empresa está disponível em: <<http://www.pre.nl>>. Acesso 27 nov. 00.

[§] Disponíveis em: <<http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm>>. Acesso 27 nov. 00.

^{**} Os retângulos brancos referem-se aos procedimentos e os cinzas aos resultados intermediários.

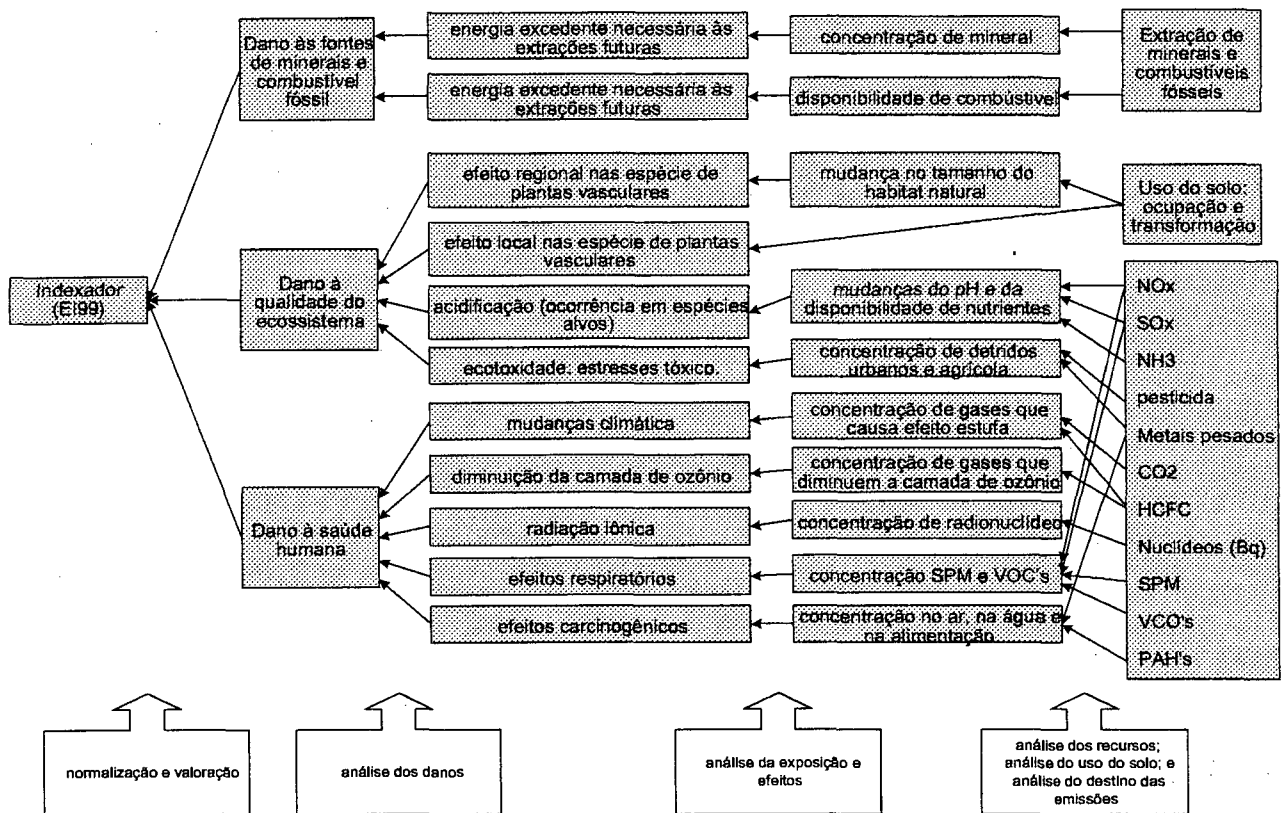


Figura C-4 – Representação esquemática da metodologia de determinação do EI99 (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 10)

Entende-se meio ambiente como “um conjunto de parâmetros biológicos, físicos e químicos influenciados pelo homem. Estes parâmetros são condições necessárias à existência do homem e da natureza. Estas condições incluem saúde humana, qualidade dos ecossistemas e provisão suficiente de recursos” (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 9). Nesta definição é necessário esclarecer o que se entende por:

- Saúde humana – consiste da idéia de que todos os seres humanos, desta geração ou futura, não devem sofrer doenças, deficiências ou mortes prematuras, relacionadas à impactos nocivos ao meio ambiente;
- Qualidade dos ecossistemas – consiste da idéia que os seres vivos, além do homem, não devem sofrer mudanças bruscas de suas populações e de sua distribuição geográficas; e
- Recursos – consiste da idéia de que os recursos naturais, como minérios, água, entre outros, necessários à sociedade humana, devem estar disponíveis para as gerações futuras.

Esta definição de meio ambiente não é completa, pois não considera questões como a preservação de tradições culturais ou de paisagens naturais, entre outros temas. Entretanto, já

envolve uma quantidade considerável de questões ambientais. Estes elementos constitui a base para definição das categorias de danos ambientais:

- Danos à saúde humana – nesta categoria inclui-se os efeitos respiratórios e carcinogenicos, os efeitos de mudanças climáticas, a depredação da camada de ozônio e radiação iônica. Estes efeitos são expressos em DALY (*Disability Adjusted Life Years*);
- Danos à qualidade do ecossistema – nesta categoria expressa-se com as percentagens de espécies que têm desaparecidos em decorrências de cargas ambientais. Os danos nesta categoria são expressos em percentagem de morte de plantas vasculares numa área em um ano; e
- Danos às fontes de minerais e combustíveis fósseis – nesta categoria relaciona-se os parâmetros que indicam a qualidade das fontes de recursos minerais e fósseis restantes. Os impactos nesta categoria são expressos na quantidade de energia excedente para futuras extrações de minerais e combustíveis fósseis.

De posse destas definições de meio ambiente e categorias de danos ambientais, os desenvolvedores do EI99 realizaram uma pesquisa com especialistas de um grupo suíço de estudo sobre ACV. Esta pesquisa foi realizada através de questionários, que continham uma definição detalhada dos conceitos apresentados acima e um conjunto de relatórios de impacto ambiental na Europa. Com base nestas informações, os especialistas estabeleceram pesos de importância relativa para cada categoria de dano ambiental.

Os resultados obtidos foram tratados de forma a se obter um esclarecimento e classificação dos pesos imputados pelos especialistas. Este tratamento revelou o conjunto de pesos apresentados na Tabela C-1.

Seguindo a abordagem *top-down*, estes pesos devem ser distribuídos entre as categorias de impacto ambiental que compõem cada categoria de danos. Para tanto necessitou-se realizar uma normalização dos impactos ambientais com o objetivo de transcrever os valores das categorias de danos em números adimensionais. O fator de normalização adotado foi a quantificação dos danos ambientais na Europa durante um ano, dividido pelo número de europeus (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 95).

Como base nestes valores normalizados e na escala adotada de Pontos^{††}, realizou-se a distribuição dos pesos de importância à cada categoria de impacto, segundo a contribuição de cada categoria de impacto ambiental na sua correspondente categoria de dano ambiental.

Tabela C-1 - Pesos aproximados das categorias de impacto. Adaptada de Goedkoop e Spriensma (2000, p. 95)

Categoria	Peso médio
Dano à saúde humana	0,4
Dano à qualidade do ecossistema	0,4
Dano aos recursos	0,2

Por sua vez, estes valores são traduzidos em termos das extrações de minerais e combustíveis fósseis; de uso do solo e da emissão de substâncias. Esta atividade de tradução baseia-se nos modelos de análise, tais como: de destino das substâncias e as correspondentes análises de exposição e efeito às substâncias. A exposição destes modelos está além dos propósitos deste texto^{††}.

Ao final desta metodologia, os pesos de importância no impacto ambiental são traduzidos em termos das unidades adotadas para as extrações de recursos, uso do solo e da emissão de substâncias. Obtendo-se informações do tipo, a emissão de SO₂ na atmosfera equivale à 1,42 mPt/kg. Este valor deve-se aos efeitos respiratórios no homem causado por substâncias inorgânicas (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 115).

Este valor carrega em si um conjunto de informações que devem ser observados na sua utilização: a opinião dos especialistas entrevistados, os fatores de normalizações adotados e os modelos de análise de impactos ambientais e seus respectivos danos ambientais. Este conjunto de informações carregam em si incertezas e limitações que devem ser consideradas na sua utilização.

C.3.2 Incertezas e limitações do EI99

Para que se possa ter segurança no uso do EI99 é necessário considerar as incertezas e

^{††} A escala de eco indicador é adimensional, mas os seus desenvolvedores resolveram adotar a nomenclatura de Pontos. A escala adotada é 1000 Pontos para o impacto ambiental de um europeu durante um ano, (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 100).

^{‡‡} Mais detalhes sobre estes modelos pode ser encontrado em Goedkoop e Spriensma (2000, p. 100).

limitações do método. As fontes de incertezas da determinação do EI99 tem duas origens principais:

Incerteza dos dados – refere-se as incertezas operacionais de medição e dos fatores de avaliação. Este tipo pode ser tratada estatisticamente, e

Incerteza nos modelos – refere-se as incertezas inerentes às definições e considerações adotadas na metodologia. Estas incertezas não são facilmente quantificadas, ainda mais que os conceitos relacionados à questão ambiental ainda não são consensuais e provavelmente não serão.

Com o objetivo de abarcar diferentes pontos de vistas sobre os danos ambientais, os desenvolvedores do EI99 procuraram identificar e expressar diferentes pontos de vistas em relação aos danos ambientais, classificando-os em três versões para os danos ambientais: igualitária, individualista e hierárquica (Goedkoop *et al*, 2000, pp. 19-21 e Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 15-18). Os resultados das pesquisas com os especialistas suíços sobre a importância relativa dos danos ambientais também foram tratados para se determinar pesos para cada ponto de vista (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 95-96).

Por outro lado, as limitações do método também estão relacionados principalmente as fontes de informações utilizadas. As informações no EI99 estão vinculados à realidade europeia, tanto a determinação da importância relativa entre as categorias de danos ambientais quanto as quantificações dos impactos ambientais, utilizadas nos modelos de análise de impactos e danos ambientais^{§§}. Desta forma, a sua utilização em outra realidade deve ser realizada com cuidado, pois os valores de eco indicadores disponíveis representam uma determinada realidade e conceito ambiental.

A seguir apresenta-se a aplicação do EI99 no projeto de produtos.

C.3.3 Aplicação do EI99 no projeto de produtos

O objetivo principal da metodologia de EI99 é facilitar a aplicação do conceito da ACV por parte dos projetistas, que geralmente não possuem conhecimento nas atividades de classificação, caracterização e avaliação de impactos ambientais. Para tanto, foram disponibilizados os seguintes meios de utilização desta metodologia:

^{§§} Alguns estudos estão sendo desenvolvidos para adaptar o eco indicador à realidade japonesa e colombiana (Goedkoop e Spriensma, 2000, p. 5).

- 1) Valores dos EI99 para emissão de substâncias, uso do solo e extração de recursos naturais, disponíveis em Goedkoop e Spriensma (2000, p. 95-96). Este meio necessita de um conhecimento mais apurado sobre meio ambiente e impactos ambientais por parte da equipe de projeto, pois estes devem estar atento aos seguintes detalhes: o inventário deve ser mais detalhado de forma que as interferências ambientais sejam dadas em termos mais fundamentais, realizar a classificação das interferências e escolher adequadamente os valores que melhor represente as opiniões das pessoas envolvidas com o ciclo de vida;
- 2) Valores padrões para subprodutos e processos mais usuais, (Goedkoop *et al*, 2000). Esta forma de uso dos eco indicadores é mais fácil de ser aplicada pelas equipes de projeto. Estes valores já agregam emissões, uso de solo e extração de recursos para cada material e processo, desta forma não é necessário um inventário muito detalhado. Também não é necessário realizar as atividades de classificação, caracterização e avaliação. Entretanto estes valores estão vinculados a cultura de extração e de processos de fabricação européia; e
- 3) *Software* de apoio ACV, (Pré Consultants, 1999). A Pré Consultantes desenvolveu o SIMAPRO, o qual agrega as duas formas de utilização apresentadas anteriormente, além de permitir a inclusão de novas bases de dados. A utilização do EI99 através de *software* é mais fácil, rápido e completa do que as formas anteriores, entretanto é um produto proprietário da Pré Consultantes e o custo de sua versão mais simples é Euro 2,800.00***.

A escolha da forma de utilização do EI99 depende do investimento pretendido pela empresa e o conhecimento da equipe de desenvolvimento de produtos. Contudo qualquer que seja a forma de utilização do EI99 no processo de desenvolvimento de produto, deve-se avaliar as incertezas e limitações deste método, principalmente no que se refere ao condicionamento deste método à realidade européia.

C.4 Considerações finais

O método mais indicado para a determinação do perfil do impacto de um produto,

*** Utilizando a taxa de conversão do dia 24 abr. 2001, equívale à R\$ 5.641,30. Fonte: Banco Central do Brasil.

processo e atividade é a análise do ciclo de vida, entretanto este método envolve conceitos e procedimentos que ainda não possuem um consenso entre diferentes pesquisadores. Esta falta de consenso deve-se a complexidade do que se entende por meio ambiente, impacto ambiental e suas medidas preventivas. Contudo existe alguns elementos gerais que estão presentes em diferentes propostas de ACV: definição do objetivo e escopo, inventário das intervenções ambientais, avaliação do impacto ambiental e interpretação dos resultados. A avaliação do impacto ambiental, por sua vez, pode ser subdividida em classificação, caracterização e avaliação.

O EI99 é um método de avaliação do impacto ambiental, que facilita as atividades dos projetistas na aplicação da ACV, principalmente no que se refere à avaliação do impacto ambiental de produtos. Este método foi desenvolvido baseado na realidade ambiental européia, mas pode ser adaptado ao projeto de produtos brasileiros, desde que se considere as incertezas e limitações de sua aplicação. A aplicação do EI99 é mais indicado às atividades de comparação em termos ambientais de alternativas de soluções de projeto.

Anexo D

ACV-SIMPLIFICADA E ELABORAÇÃO DOS REQUISITOS AMBIENTAIS

ACV-simplificada contém as fases de definição do objetivo e escopo, de inventário das interferências ambientais no ciclo de vida do produto e a de valoração do impacto ambiental destas interferências através da utilização do eco indicador. Esta abordagem de ACV é dita simplificada pois não compreende as fases de classificação e caracterização do impacto ambiental, que são absorvidas pela valoração utilizando o EI99

As tarefas necessárias para aplicação deste método são descritas nos itens a seguir. Para auxiliar na compreensão do método é utilizado o exemplo de uma cafeteira elétrica*.

D.1 Tarefa 1.2.1 Definir os objetivos específicos e escopo da ACV-simplificada

Antes do inventário das interferências ambientais é necessário determinar os objetivos específicos e o escopo da ACV-simplificada, pois a definição destes elementos delimitam as atividades das próximas tarefas. Em alguns casos, o objetivo pode ser a verificação do impacto ambiental de um produto, enquanto em outros pode ser a comparação do impacto ambiental do produto atual com um concorrente.

A definição do escopo, por outro lado, permite determinar o conteúdo do ciclo de vida que será analisado. O escopo consiste na determinação da função do produto e dos processos que serão considerados em cada fase do ciclo de vida, esclarecendo os limites da análise.

Por exemplo, deseja-se ter uma visão geral do impacto ambiental de uma cafeteira elétrica com a finalidade de identificar o seu perfil simplificado do impacto ambiental no ciclo de vida. Numa primeira análise permite-se aproximações e simplificações nos cálculos.

D.2 Tarefa 1.2.2 Elaborar a unidade funcional e a estrutura física do produto

O produto é descrito através da unidade funcional e da estrutura física. A unidade funcional corresponde a descrição quantitativa da função global do produto. Por exemplo, a unidade funcional da cafeteira elétrica que será analisada é descrita da seguinte forma:

A cafeteira foi projetada para uso doméstico e têm uma capacidade máxima de 10 xícaras. Supõem-se que o consumidor médio utiliza a metade da capacidade da máquina, duas vezes por dia durante 5 anos. Além disso, supõe-se que durante o uso, a

* O exemplo da cafeteira elétrica foi retirado de Goedkoop *et al* (2000) e Pré Consultants (1999).

máquina mantém o café aquecido durante meia hora, (Pré Consultants, 1999).

Percebe-se que na descrição acima tem-se elementos sobre o comportamento do usuário em relação ao produto e sobre o tempo de vida do produto no mercado, mas além destes poderia conter elementos referentes à manutenção do produto e à forma de descarte do produto.

Em muitos casos, como deste exemplo, é necessário fazer considerações sobre o ciclo de vida do produto, que geralmente estão relacionados com as fases de uso e descarte do produto. Estas considerações, como outras que serão feitas durante a aplicação da ACV-simplificada, devem ser registradas para que se possa verificar as suas influências no resultado final.

Por outro lado, a descrição física do produto corresponde a decomposição do produto em seus respectivos componentes, identificando o material e o processo de fabricação utilizado em cada um. Nos casos onde se consegue fazer a recuperação da documentação do projeto e produção do produto, esta descrição é facilitada, caso contrário será necessário desmontar o produto e registrar os materiais e processos de cada princípio de solução. A descrição física é apresentada através do Quadro D-1.

Quadro D-1 – Descrição física do produto

Item	Componente/ Grupos	Materiais/Processos de fabricação	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
Total Geral							

No caso de comparação com produtos concorrentes, dever-se-á elaborar as descrições funcionais e físicas de cada produto. A comparação entre os produtos deve ser feita sob uma base comum, desta forma é necessário cuidado especial com a descrição funcional.

No exemplo da cafeteira elétrica, considera-se um modelo simplificado com um suporte de poliestireno, jarra de vidro, placa de aquecimento de aço e tubos de alumínio, apresentada esquematicamente na Figura D-1. Na descrição física do produto, apresentada na Tabela D-1, não foram incluídos os fios e outros componentes pequenos.

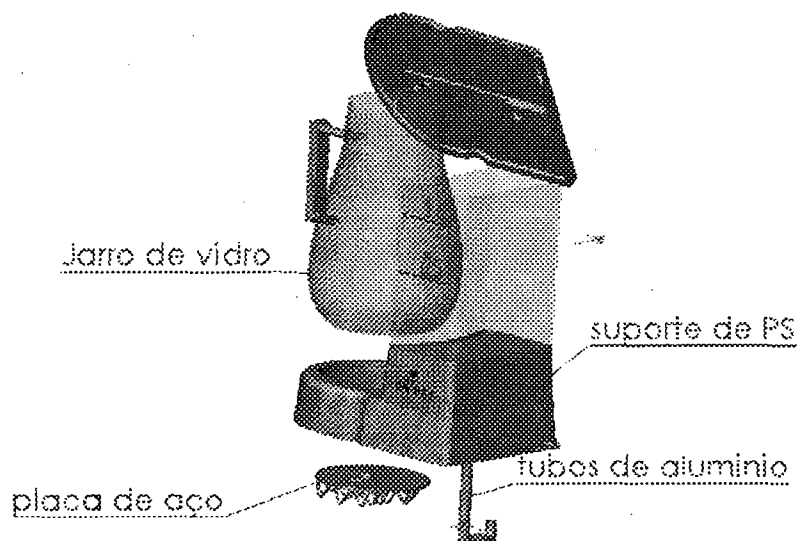


Figura D-1 – Cafeteira elétrica

Tabela D-1 – Descrição física da cafeteira elétrica. Adaptada de Goedkoop *et al* (2000).

Item	Componente/ Grupos	Materiais/Processos de fabricação	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
1	Tubos	Alumínio (bloco)	0,1	Kg			
		Extrusão de alumínio	0,1	kg			
2	Placa	Revestimento de aço 20% rec.	0,3	kg			
3	Suporte	PS(GPPS)	0,3	kg			
		Injeção em moldes	1,0	kg			
4	Jarra	Vidro aquecido à gás	0,4	kg			
		Fornalha à gás B	4,0	Mj			
Total geral							

D.3 Tarefa 1.2.3 Descrever e inventariar o ciclo de vida do produto

Percorrendo cada fase do ciclo de vida do produto, deve-se determinar os processos que ocorrem e os fluxos de material e energia (entradas e saídas) em cada processo.

Na elaboração do ciclo de vida de um produto deve-se:



- 1) Descrever cada fase,
- 2) Estabelecer os fluxos de material e energia entre fases,
- 3) Detalhar cada fase em seus processos principais, e
- 4) Estabelecer os fluxos de material e energia entre processos.

Muitas vezes, durante a descrição do ciclo de vida do produto serão necessários fazer

algumas considerações, quer seja no nível de detalhamento da fase do ciclo de vida, quer seja na descrição dos fluxos de material e energia. Recomenda-se prudência nestas considerações e coerência com os objetivos e escopo do estudo, para não comprometer a descrição do ciclo de vida.

A representação do ciclo de vida do produto será feita através da simbologia apresentada na Figura D-2. Esta simbologia foi inspirada pelo método de rede Petri Canal/Agência (Rede C/A). Neste método os fluxos de material e energia são representados por canais, enquanto os processos por agências.

Elementos básicos

Símbolo	Designação Genérica	Perspectiva Funcional	Perspectiva Comportamental
	Unidades funcionais atividades	Atividades/Processos	Agência
	Unidades funcionais passivas	Recursos	Canais

Interligação dos Elementos

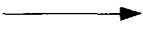
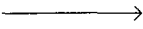
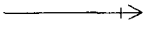

Símbolo	Arcos Direcionados
	Fluxo de informação
	Fluxo de matéria
	Fluxo de energia
	Fluxo de matéria e energia

Figura D-2 – Representação da Rede C/A. Adaptada de Lücke e De Negri (1994)

Uma regra da representação por Rede C/A é que só existe interligação entre agência e canal, ou seja não pode haver dois processos (agências) interligados sem ter trocas de recursos (canal), e nem tampouco a interligação entre recursos sem ter um processo. Esta regra serve como auxílio para o não esquecimento de recursos ou processos.

A descrição simplificada do ciclo de vida da cafeteira elétrica é apresentada na Figura D-3, somente os elementos cinza foram considerados na ACV-simplificada. Nesta descrição considerou-se que apenas os principais processos que ocorrem em cada fase do ciclo de vida da cafeteira.

Desta forma, não se detalharam os processos de montagem e embalagem, de descarte da embalagem, de produção e transporte do filtro e do grão de café; e tanto a cafeteira quanto os filtros são descartados diretamente no aterro municipal.

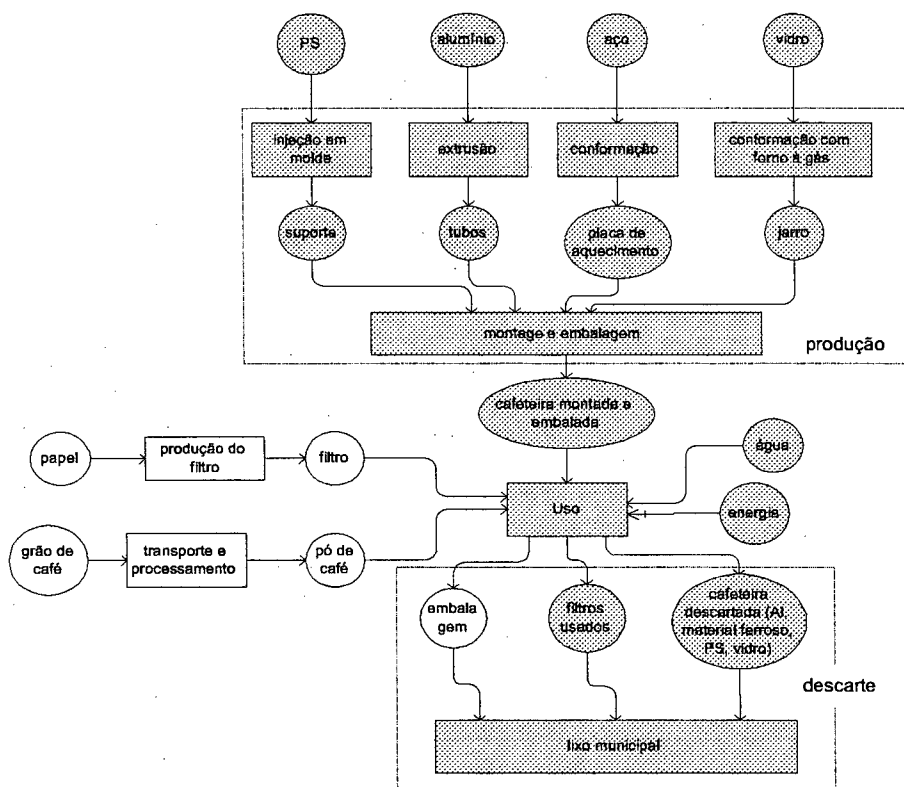


Figura D-3 – Ciclo de vida da cafeteira elétrica

A descrição do ciclo de vida serve de apoio para o inventário dos recursos que perpassam cada processo. Este inventário também se baseia nas descrições funcional e física do produto. Os procedimentos e considerações necessárias aos cálculos destas quantias devem ser registrados. As fases, processos, fluxos e suas quantidades são registrados segundo o Quadro D-2.

Quadro D-2 – Inventário do ciclo de vida

Item	Fase do ciclo de vida	Fluxos /Processos	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
Total Geral							

O inventário do ciclo de vida da cafeteira elétrica é apresentado na Tabela D-2, na realização dos cálculos considerou-se que:

- O tempo de vida da cafeteira é de 5 anos. Desta forma, pode-se calcular a

quantidade de filtros utilizados, que no caso é 3650, equivalente a 7,3 kg;

- A eletricidade consumida durante a elaboração do café pode ser aproximado pela multiplicação do tempo do processo pela potência da máquina, desconsiderando as perdas; e
- O consumo de energia para manter o café aquecido é mais difícil de calcular, desta forma o valor foi obtido por uma simples medição.

Tabela D-2 – Inventário do Ciclo de Vida de uma cafeteira elétrica.
Adaptada de Goedkoop *et al* (2000).

Item	Fase do ciclo de vida	Processos/Recursos	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
	Produção	<i>Poliestireno</i>	1,0	<i>Kg</i>			
		<i>Injeção</i>	1,0	<i>Kg</i>			
		<i>Alumínio</i>	0,1	<i>Kg</i>			
		<i>Extrusão Al</i>	0,1	<i>Kg</i>			
		<i>Aço 20% rec</i>	0,3	<i>Kg</i>			
		<i>Vidro</i>	0,4	<i>Kg</i>			
		<i>Fornalha à gás</i>	4,0	<i>Mj</i>			
	Uso	<i>Eletricidade baixa potência</i>	375,0	<i>kWh</i>			
		<i>Papel</i>	7,3	<i>kg</i>			
	Descarte	<i>Lixo Municipal, PS</i>	1,0	<i>kg</i>			
		<i>Lixo Municipal, ferrosos</i>	0,4	<i>kg</i>			
		<i>Lixo Municipal, vidros</i>	0,4	<i>kg</i>			
		<i>Lixo Municipal, Papel</i>	7,3	<i>Kg</i>			
Total geral							

O nível de detalhamento do inventário das interferências ambientais depende de como será aplicado o eco indicador na próxima tarefa[†]. O exemplo apresentado acima pretende utilizar os valores de eco indicador para materiais e processos, por isso não se detalhou o inventário em relação à consumo e emissões de substâncias mais fundamentais.

D.4 Tarefa 1.2.4 Avaliar o impacto ambiental

A avaliação do impacto ambiental é feita segundo a metodologia de valoração do eco indicador 99 (EI99). Valores padrões de EI99 representam o impacto ambiental de determinados recursos ou processos, quanto maior é o valor de EI99, maior é o prejuízo ao meio ambiente gerado pelo recurso ou processo.

[†] As formas de aplicação do eco indicador é apresentado no item C.3.3 do anexo C.

A utilização do EI99 na RePMA será através da seleção de valores padrões que estão tabelados para alguns recursos e processos, (Goedkoop *et al*, 2000). A seleção do EI99 não é uma tarefa simples, pois nem todos os materiais ou processos estão valorados, nestes casos segue-se as orientações abaixo:

- Verifique se o EI99 que está faltando pode ter um valor significativo no impacto ambiental total; e
- Substitua pelo valor de EI99 de um recurso ou processo conhecido, que mais se aproxime do que está faltando. Caso contrário solicite a ajuda de especialistas ambientais para a valoração do impacto ambiental que está faltando[†].

Numa equipe de projeto multidisciplinar a dificuldade para esta valoração é menor, mesmo assim parte se do princípio que é melhor estimar o impacto ambiental do que omiti-lo. No exemplo da cafeteira elétrica considerou-se que:

- Como o processo de conformação do aço tem o valor do indicador muito pequeno, não se considerou o impacto ambiental do processamento do metal; e
- Como não há dados a respeito da fabricação da jarra de vidro, estimou-se uma quantidade de energia baseado no ponto de fusão do vidro, calor específico e eficiência da fornalha assumida.

Com os valores dos EI99 selecionados completa-se o preenchimento dos Quadro D-1 e Quadro D-2, segundo as orientações abaixo:

- Os valores de EI99 selecionados são transcritos na coluna **Indicador**, tendo o cuidado com a coerência das unidades, segundo cada recurso ou processo;
- O valor da coluna **Resultado** é o valor da coluna **Quantidade** multiplicado pelo **Indicador** correspondente;
- A coluna **Total** corresponde ao somatório dos **Resultados** em cada item; e
- O **Total geral** corresponde ao somatório da coluna **Total**.

Os Quadro D-1 e Quadro D-2 preenchidos descrevem o impacto ambiental do produto segundo os seus componentes e o seu ciclo de vida, respectivamente. A descrição do impacto ambiental para o exemplo da cafeteira elétrica é apresentado pelas Tabela D-3e Tabela D-4.

[†] A Pré Consultants disponibiliza uma lista de discussão virtual sobre o EI99. Os procedimentos para participação é disponível em: <<http://www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-usergroup.htm>>. Acesso em: 25 set 00.

Tabela D-3 – Impacto ambiental da cafeteira elétrica segundo seus componentes. Adaptada de Goedkoop *et al* (2000)

Item	Componente/ Módulos	Material/Processos de fabricação	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
1	Tubos	Alumínio (bloco)	0,1	kg	790,0	79,0	88,2
		Extrusão Al	0,1	kg	92,0	9,2	
2	Placa de aquecimento	Placa de aço 20% rec.	0,3	kg	100,0	30,0	30,0
3	Suporte	PS(GPPS)	0,3	kg	390,0	117,0	143,0
		Injeção em moldes	1,0	kg	26,0	26,0	
4	Jarra	Vidro aquecido à gás	0,4	kg	67,0	26,8	54,8
		Fornalha à gás B	4,0	Mj	7,0	28,0	
Total geral							316,00

Tabela D-4 – Impacto ambiental da cafeteira elétrica segundo o ciclo de vida. Adaptada de Goedkoop *et al* (2000)

Item	Fase do ciclo de vida	Processos/Recursos	Qtd.	Unid.	Indicador	Resultado	Total
1	Produção	Poliestireno	1,0	Kg	390,0	390,0	589,0
		Injeção	1,0	Kg	26,0	26,0	
		Alumínio	0,1	Kg	790,0	79,0	
		Extrusão Al	0,1	Kg	92,0	9,2	
		Aço 20%	0,3	Kg	100,0	30,0	
		Vidro	0,4	Kg	67,0	26,8	
		Conformação	4,0	Mj	7,0	28,0	
2	Uso	Eletricidade baixa potência	375,0	kWh	33,0	12375,0	13075,8
		Papel	7,3	kg	96,0	700,8	
3	Descarte	Lixo Municipal, PS	1,0	Kg	18,0	18,0	4,2
		Lixo Municipal, ferroso	0,4	kg	-7,5	-3	
		Lixo doméstico, vidros	0,4	kg	2,2	0,88	
		Lixo Municipal, Papel	7,3	kg	-1,6	-11,68	
Total geral							13.669,00

D.5 Tarefa 1.2.5 Verificar e interpretar os resultados

É necessário verificar a influência das considerações realizadas durante a aplicação ACV-simplificada nos resultados encontrados do impacto do produto. Com esta verificação obtém-se uma descrição mais coerente do impacto ambiental do produto.

No caso do exemplo utilizado, os impactos causados pelas suposições são desprezíveis. O consumo de energia elétrica medido é compatível com a realidade, mas a hipótese de que a cafeteira será utilizada duas vezes ao dia e que deve manter o café aquecido por 30 minutos não foi baseada em nenhum dado concreto. Se, entretanto, considerarmos que seja utilizada apenas

uma vez por semana, ainda assim o consumo de energia será predominante.

Depois da verificação dos resultados, procura-se interpretá-los, lembrando que:

- O Quadro D-1 – Descrição física do produto, apresenta uma percepção do impacto ambiental de cada componente em relação ao impacto do produto, isto representa o impacto deste a extração até a produção, e
- O Quadro D-2 – Inventário do ciclo de vida, por sua vez, apresenta o impacto ambiental em cada fase do ciclo de vida do produto.

Desta forma, pode-se identificar os componentes e/ou as fases do ciclo de vida do produto que mais causam danos ao meio ambiente. No exemplo apresentado, as conclusões que podem ser feitas a partir das Tabela D-3 e Tabela D-4, são apresentados abaixo:

Em relação aos componentes percebe-se que o suporte de poliestireno é o componente que tem o maior impacto ambiental, devido ao material utilizado;

- A fase de uso do produto tem o maior impacto ambiental. O valor obtido é maior que os demais fases, como produção e descarte. Isto é devido principalmente ao consumo de energia e de filtro de papel; e
- O impacto do descarte do produto é muito pequeno, mesmo se tivesse um maior detalhamento desta fase não mudaria de maneira significativa o valor do impacto final.

Ao final desta etapa tem-se descritas as informações referentes ao impacto ambiental e às oportunidades de melhorias ambientais do produto. Estas informações auxiliaram na elaboração de requisitos ambientais para o produto.

D.6 Tarefa 1.2.6 Elaborar requisitos ambientais

A elaboração de requisitos ambientais consiste em descrever o desempenho ambiental de um produto, obtido com a aplicação da ACV-simplificada na linguagem aplicada ao reprojeto de produtos. Os requisitos ambientais devem representar os principais impactos ambientais do produto e sua importância no reprojeto do produto. A importância dos requisitos ambientais são representados através de uma escala de pesos. Adota-se a mesma escala de peso sugerida na Tabela 4-5, item 4.4.1.

Estes pesos são fundamentados no quanto é significativo o requisito em relação ao impacto ambiental do produto e nas estratégias ambientais da empresa. Como exemplo desta tarefa, apresenta-se a seguir a elaboração dos requisitos para o exemplo da cafeteira.

A Tabela D-3 corresponde ao impacto ambiental do produto detalhado segundo seus componentes. Depreende-se, desta tabela, que os componentes Suporte e Tubos são os principais responsáveis pelo impacto ambiental do produto, 45% e 28% respectivamente. Além disso, percebe-se que estes valores estão relacionados aos tipos de materiais utilizados nestes componentes. Conseqüentemente, um requisito que pode ser declarado é *Utilizar material de baixo impacto*.

Por outro lado, na Tabela D-4, que corresponde ao impacto ambiental do produto em todo o seu ciclo de vida, depreende-se que a fase do ciclo de vida que mais contribui para o impacto ambiental do produto é a fase de uso, 95% do impacto total. Este valor deve-se, principalmente, ao consumo de eletricidade de baixa potência por parte da placa de aquecimento. Além disso, verifica-se um impacto devido ao consumo de filtros descartáveis. Desta forma, pode-se declarar os seguintes requisitos: *Reduzir o consumo de energia na fase de uso e Reduzir o consumo de material na fase de uso do produto*.

A determinação dos pesos de importância destes requisitos depende das estratégias ambientais da empresa e da sua significância em relação ao impacto do produto. Por exemplo, a empresa pode ter como estratégia preocupar-se somente com os impactos gerados na produção, neste caso o peso dos requisitos relacionados na fase de uso teriam um valor reduzido, apesar de estarem relacionados ao impacto ambiental do produto mais significativo. Por outro lado a empresa pode optar por uma estratégia mais arrojada, procurando reduzir o impacto ambiental do produto em qualquer fase do ciclo de vida do produto, neste caso os pesos dos requisitos serão determinados somente em relação a sua contribuição no impacto ambiental no ciclo de vida do produto.

Estes requisitos sugeridos é uma amostra do que pode ser elaborado dos resultados da ACV-simplificada, cada item das tabelas anteriores, que geram impacto ambiental, pode ser transcrito na forma de requisitos ambientais. A equipe de reprojeto deve decidir quais os requisitos que serão incorporados, contudo não é prudente negligenciar os principais aspectos do impacto ambiental do produtos.

Anexo E

MATERIAL DO ESTUDO DE CASO

E.1 Elaboração e aplicação de questionário

O questionário elaborado consiste de três grupos distintos de questões:

- Grupo 1 - procura identificar a demanda ambiental dos usuários, ou possíveis usuários, de cafeteira elétrica, verificando, por exemplo, a consideração ambiental na compra da cafeteira e disponibilidade de pagar mais por uma cafeteira com menor impacto ambiental;
- Grupo 2 - procura identificar o comportamento de uso, este tipo de informação é importante para a elaboração da análise do ciclo de vida, pois permite descrever a fase de uso do produto; e
- Grupo 3 - procura identificar a importância e a satisfação dos usuários em relação a características específicas da cafeteira, esta informação é base para a avaliação do produto segundo estas características.

As respostas desses questionários foram analisadas segundo cada grupo de questões. As conclusões obtidas dessas respostas são apresentados no item E.1.2.

E.1.1 Questionário elaborado

GRUPO 1 - QUESTÕES SOBRE A DEMANDA AMBIENTAL DO USUÁRIO FINAL

1. Que você entende por impacto ambiental?
2. Qual a sua opinião sobre o impacto ambiental de uma cafeteira elétrica?
3. Você consideraria, ou considerou, o impacto ambiental de uma cafeteira elétrica no momento da compra?
4. Você estaria disposto a pagar mais por uma cafeteira com menor impacto ambiental? Quanto? (em termos de porcentagem)
5. Em quais informações você se basearia para comprar uma cafeteira elétrica mais “ecológica”?

OBS.: As questões a seguir são direcionadas às pessoas que utilizam ou utilizaram uma cafeteira elétrica.

GRUPO 2 - QUESTÕES SOBRE O COMPORTAMENTO DE USO.

6. A cafeteira é utilizada no ambiente doméstico ou de trabalho?

7. Qual é a quantidade de café que você faz por vez?
8. Quantas vezes você faz café por dia?
9. Você utiliza filtro de papel? Caso não utilize este tipo de filtro, indique o tipo de filtro que utiliza?
10. Café feito é logo consumido?
11. Em caso de uma resposta negativa na questão 10), o café é mantido aquecido pela cafeteira elétrica ou num recipiente térmico?
12. No caso onde o café é mantido aquecido na cafeteira elétrica, quanto tempo o café é mantido aquecido?
13. De que forma você realiza a limpeza de uma cafeteira? (material utilizado e frequência de limpeza)
14. Qual o principal motivo que leva você trocar de cafeteira elétrica? Quebra, novos modelos no mercado, etc.?
15. Em quanto tempo pretende trocar de cafeteira elétrica?
16. De modo geral, na sua opinião, o que poderia melhorar na cafeteira elétrica?

GRUPO 3 - QUESTÕES SOBRE A SATISFAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO USUÁRIO EM RELAÇÃO A CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE UMA CAFETEIRA ELÉTRICA

Qual a importância que você dá à vida útil de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a vida útil de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá à estética de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a estética de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá ao consumo de energia de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com ao consumo de energia de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá à forma de armazenamento da água na cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a forma de armazenamento da água na cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá à forma de armazenamento do café na cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a forma de armazenamento de café na cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá à forma de filtragem proporcionada pela cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a forma de filtragem proporcionada pela cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

Qual a importância que você dá à capacidade de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Está satisfeito com a capacidade de uma cafeteira elétrica?

0 - 1 - 3 - 5 -

Comentários:

E.1.2 Análise das respostas dos questionários

Das respostas ao Grupo 1 de questões, percebeu-se que existem diversos entendimentos sobre impacto ambiental. Os respondentes utilizaram diferentes termos para se referenciar:

- aos meios de geração do impacto ambiental: *produto, qualquer ação, atividades, emissões*, entre outras; e
- às expressões do impacto ambiental: *alteração, interação, interferência, dano, emissão*, entre outras.

Por outro lado, o meio ambiente não é só visto como o ambiente local onde a pessoa vive e que não se restringe à fonte de recursos às atividades humanas. Outro destaque, é que o resultado do impacto ambiental é o desequilíbrio da inter-relações de seus componentes. Entretanto não ficou evidente o papel do ser humano, se ele é compreendido como mais um componente deste meio ambiente ou se é visto como um agente externo.

Estes entendimentos sobre impacto ambiental e meio ambiente indicam que a percepção ambiental está se expandindo para além dos grandes desastres, apesar de ser ainda a principal

motivação para a mobilização da opinião pública em torno da causa ambiental. Este aumento da consciência ambiental apresenta-se como uma oportunidade de trabalhar o diferencial ambiental como elemento de marketing.

Mais especificamente, sobre o impacto ambiental de uma cafeteira elétrica, os respondentes revelaram uma percepção de que o impacto ambiental pode ocorrer em todas as fases do ciclo de vida. As fases do ciclo de vida mais destacadas foram as fases de produção e descarte do produto, principalmente na preocupação de uma opção por processos de produção menos poluentes e adoção de ações que potencializem a reciclabilidade da cafeteira. Contudo, alguns respondentes revelaram a falta de informação sobre o assunto ou acreditam que o impacto de uma cafeteira elétrica seja pouco significativo.

As outras questões deste grupo, nas quais procurou-se identificar a demanda ambiental na aquisição de cafeteiras elétricas, verificou-se que:

- cerca de 81% dos respondentes não consideraram o impacto ambiental na aquisição da cafeteira;
- cerca de 73% dos respondentes afirmaram que estariam dispostos a pagar, em média, 15% mais caro por uma cafeteira com menor impacto ambiental; e
- os respondentes que afirmaram que não pagariam mais caro, 15% do total, expressaram que uma melhoria ambiental da cafeteira elétrica é uma obrigação do fabricante, não justificando o acréscimo do preço.

As verificações, expostas acima, representam um perfil das intenções dos consumidores em adquirir uma cafeteira com menor impacto ambiental. Apesar de que estas intenções estarem distante de uma prática, representam um indicativo de que uma melhoria ambiental do produto pode ser suportada pelo interesse dos consumidores.

No que se refere à base de informação que os consumidores consideram para identificar uma cafeteira com menor impacto ambiental, destacou-se a necessidade por informações dos fabricantes referentes aos processos de produção, materiais utilizados e consumo de energia. Estas informações poderiam ser apresentadas através de marketing e rótulo no produto.

No Grupo 2 de questões, procurou-se descrever o comportamento de uso de cafeteiras elétricas. Estas informações são fundamentais para a avaliação do desempenho ambiental dos produtos, pois é a base para a elaboração da unidade funcional. Das respostas obtidas verificou-se que:

- 47% utilizam a cafeteira somente no ambiente doméstico, 5% somente no trabalho e 5% em ambos;

- Em média a quantidade de café processada por vez é de 0,8 l;
- 61% responderam que a frequência de uso é duas vezes ao dia, enquanto o restante afirmam que é uma vez por dia;
- 84% utilizam filtro de papel, enquanto o restante utilizam outros tipos de filtros;
- 53% dos respondentes afirmaram que mantém o café aquecido com a própria cafeteira elétrica. A média do tempo que a cafeteira permanece ligada para o aquecimento do café é 2,6 h;
- Cerca de 78% afirmaram que a lavagem da cafeteira é realizada uma vez por dia. Os principais elementos utilizados para limpeza da cafeteira é detergente, água e esponja;
- O principal motivo de troca de cafeteiras elétricas é a quebra ou o fim da vida útil do utensílio; e
- Quando questionado sobre o tempo de vida útil do produto, apenas 4 respondentes expressaram um valor, que em média é 4,6 anos.

Uma outra questão deste grupo refere-se à opinião geral sobre a melhoria de uma cafeteira elétrica. As respostas desta questão foram transcritas na forma de necessidades dos usuários na Tabela 5-2.

O Grupo 3 de questões referem-se à identificação da importância e satisfação dos usuários referentes a características específicas de cafeteiras elétricas. O resultado da análise destas questões é apresentado na Tabela 5-3.

E.2 Casa da qualidade para o reprojeto original da cafeteira elétrica

Legenda	
Relacionamento	Teiçado
● Forte 5	⬆ Formente Positivo 5
⊙ Médio 3	⬇ Positivo 1
○ Fraco 1	⬇ Negativo -1
	⬆ Formente Negativo -5

		Requisitos do reprojeto																													
		Unid	Unid	% cons	Unid	h	kg	mm	Unid	kg	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	% peso	% peso	
		No. novos proc. de prod.	Prod. no. de comp. inj.	No. de gavetas do molde	Temp. proj./fab. molde	Quant. de resid. de prod.	Peso do café em Kg	Interm. sobre impresso amb	Peso da embalagem	Capacidade	Pontos de fragilidade	Custo da produção	No. de peças a jarr	Pro. de fisco seg. do usu	Vazamento no reservatório	Oper. phanuscusar o filtro	Variação da temp. do café	Velocidade de aquecimento	Energ. phant. cat. aquec	Cons. de energ. phraz.caf	No. oper. para limpeza	Pontos de acustamação	No. oper. phinjar resist	No. de comp. o/repósito	No. comp. c/dem. do mat	Peso do papel consumido	% Material reciclado	% Material reciclavel			
Requisitos do usuário e ambiental	Produção	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Distribuição	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Uso	Estética	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Capacidade	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Vida útil	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Segurança	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Armazenamento de água	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Filtragem	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Armazenamento do café	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Consumo de energia	Ter aquecimento rápido	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Mantem o café aquec. o/pouco cons. energ.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Ter baixo consumo de energia	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Limpeza	Ser fácil de limpar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Ser higiênico durante o uso	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Reparo	Ter reposição da resistência	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Ser fácil de reparar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Ter baixo consumo de papel no uso	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Recuperação/descont	Ser fácil de desmontar	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Ter identificação dos materiais	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Ter material reciclado	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Ter material recicláveis	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Importância do Requisito		108	120	120	109	140	170	118	1210	144	133	243	134	194	87	160	153	108	208	190	143	120	114	100	100	177	104	121	121		
Importância do Requisito (com teiçado)		2378.88	2468.12	2561.11	2697.6	2888.5	4848.78	2638.9	9405.44	1827.85	1153.58	2811.02	3186.87	4106.27	2787.78	3643.6	1907.5	3123.3	3429.84	5548.88	5480.08	3687.88	3832.87	2884.48	2884.77	2813.56	3147.8	2278.83	3882.88	2684.12	

E.3 Aplicação do inverso síntese funcional

A aplicação do inverso da síntese funcional objetiva recuperar a concepção da cafeteira existente a partir da desmontagem e análise dos componentes do produto existente. Ela é importante justamente quando não se consegue recuperar a estrutura funcional e os princípios de solução (PSs) do produto a partir da documentação disponível.

Neste estudo de caso não se obteve uma documentação que auxiliasse nesta tarefa, embora tenham-se encontrado algumas descrições físicas de cafeteiras elétricas em Harjula *et al* (1996) e Reyes e Wright (1998). Estas descrições auxiliaram na elaboração de uma estrutura funcional preliminar e no planejamento da desmontagem da cafeteira em estudo.

Seguindo as orientações para o inverso da síntese funcional, apresentadas no Anexo B, estabelece-se a função global do produto, ilustrada na Figura E-1 e uma estrutura funcional preliminar, ilustrada na Figura E-2. Estes dois elementos servem de apoio à determinação das funções dos componentes que serão desmontados.

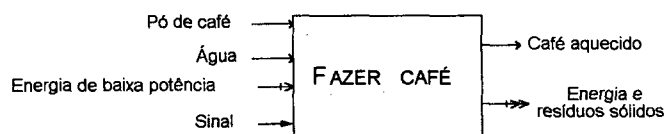


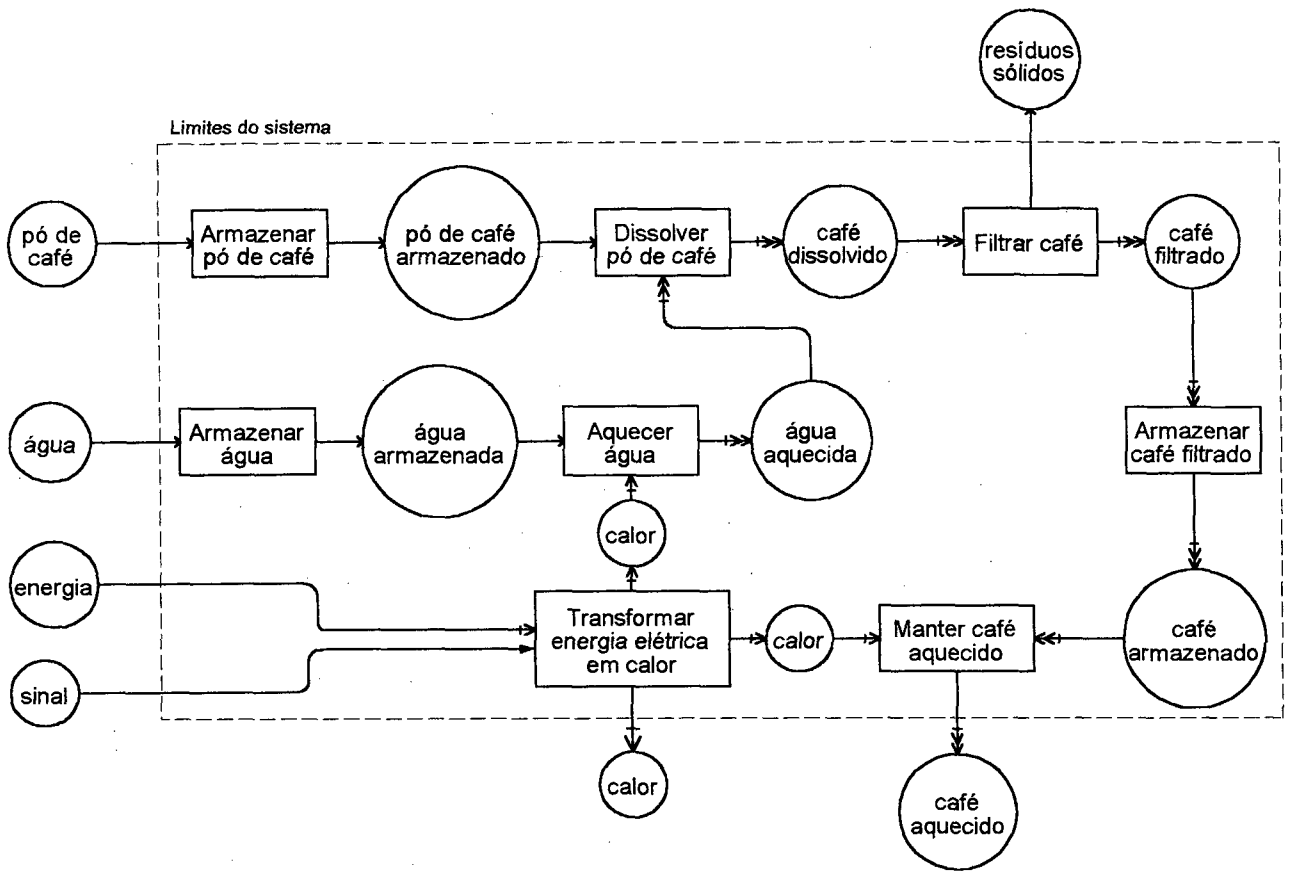
Figura E-1 – Função global da cafeteira elétrica.

No que se refere à desmontagem da cafeteira, primeiros elaborou-se um planejamento, atentando para as seguintes observações:

- o produto possui um conjunto de partes montadas no suporte inferior, que agrega os componentes internos, e outras desagregadas (jarra e suporte para o filtro);
- os principais elementos de união utilizados no produto são *snap-fits* e parafusos; e
- é necessário realizar experimentos com o produto, portanto deve-se evitar danos ao mesmo.

O resultado da desmontagem é apresentado na Figura E-3. Verificou-se, durante a desmontagem, que o produto tem uma boa desmontabilidade, necessitando de menos de 30 min para desmontar o produto, outro destaque é que os componentes não possuem contaminação de material*. Estas características potencializam a reciclabilidade do produto.

* Entende-se contaminação de material como a impregnação de um material em outro sem possibilidade de separação destes materiais, por exemplo uma placa de metal incrustado em um componente de plástico.



Legenda†

Símbolo	Descrição
	Grupo funcionais: grupo de funções executadas por um mesmo componente.
	Funções
	Entradas ou Saídas das funções ou grupo funcionais
	Fluxo de informação
	Fluxo de matéria
	Fluxo de energia
	Fluxo de matéria e energia

Figura E-2 – Estrutura funcional preliminar.

Com a estrutura funcional preliminar e o produto desmontado, procurou-se determinar os princípios de soluções e as funções que compõem o produto. Os princípios de solução são apresentados na matriz morfológica da cafeteira, apresentada na Tabela E-1.

† Esta simbologia foi inspirada na técnica de modelagem de sistemas denominada de Rede Canal/Agência (Lücke e De Negri, 1994).

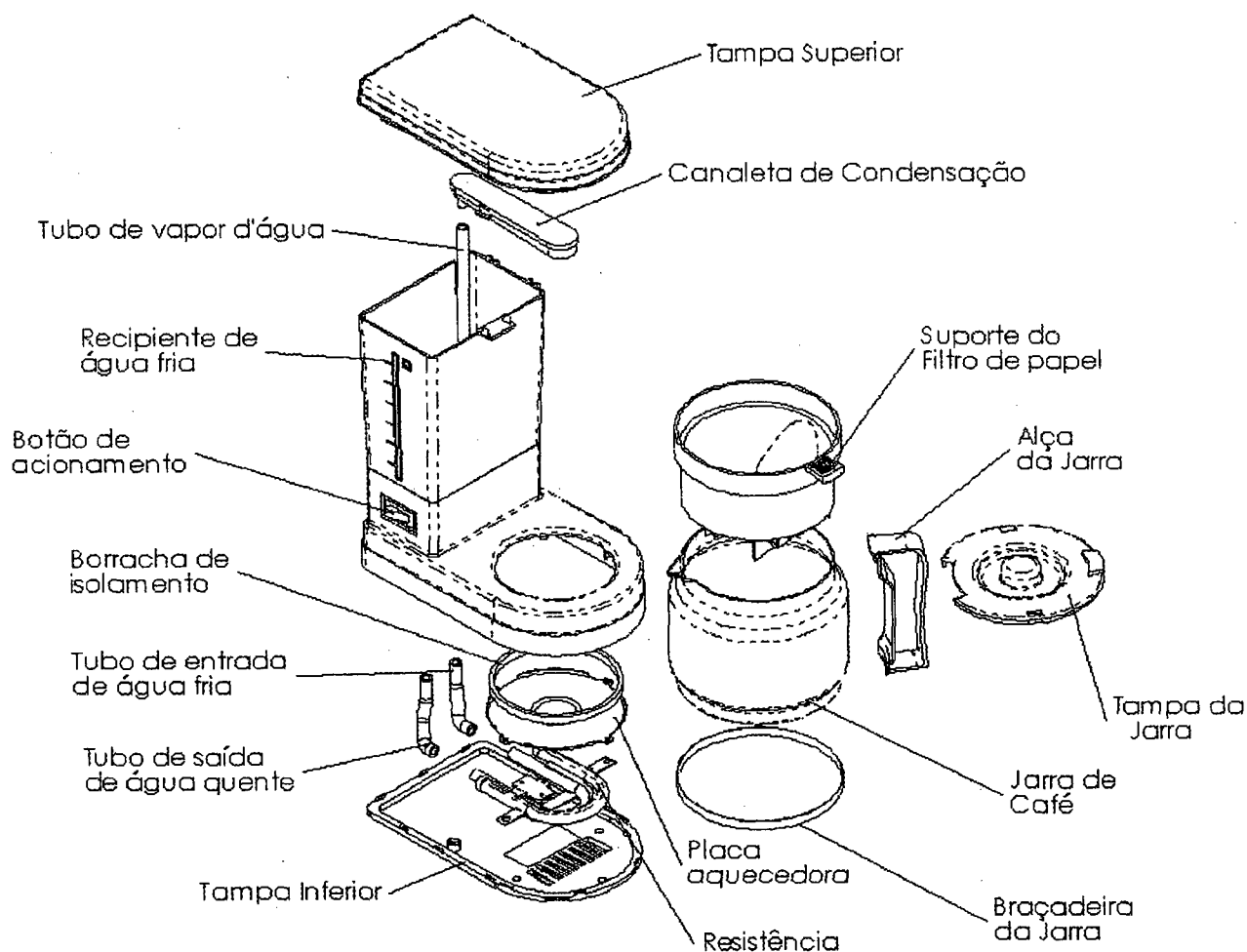


Figura E-3 – Vista explodida†

As funções, por sua vez, são apresentadas na estrutura funcional da cafeteira elétrica, apresentada na Figura E-4. A principal diferença da estrutura funcional preliminar e a resultante foi a percepção de que as funções de *Armazenar pó de café*, *Dissolver pó de café* e *Filtrar café* são realizadas por um mesmo componente e que por isso não existe uma percepção dos fluxos de matéria, energia ou informação.

Doutra forma, nem todas as funções relacionadas na matriz morfológica foram representadas na estrutura funcional, principalmente as funções referentes à condução da água dentro da cafeteira. Optou-se por não representá-las, pois nestas funções não ocorrem mudanças significativas entre a entrada e a saída.

† Estas e outras figuras contidas neste anexo foram elaboradas no *SolidsWorks99 Educational License*.

Outra observação é sobre aplicação da simbologia proposta na RePMA para descrição da estrutura funcional. Percebeu-se que a simbologia proposta auxilia no não esquecimento dos fluxos de materiais, energia e informação, entretanto deve-se utilizá-la com bom senso pois a descrição da estrutura funcional pode tornar-se cansativa tanto para quem elabora quanto para quem analisa.

Os resultados desta tarefa, estrutura funcional e PSs, que correspondem à concepção da cafeteira existente os quais devem ser confrontados com os requisitos de reprojeto.

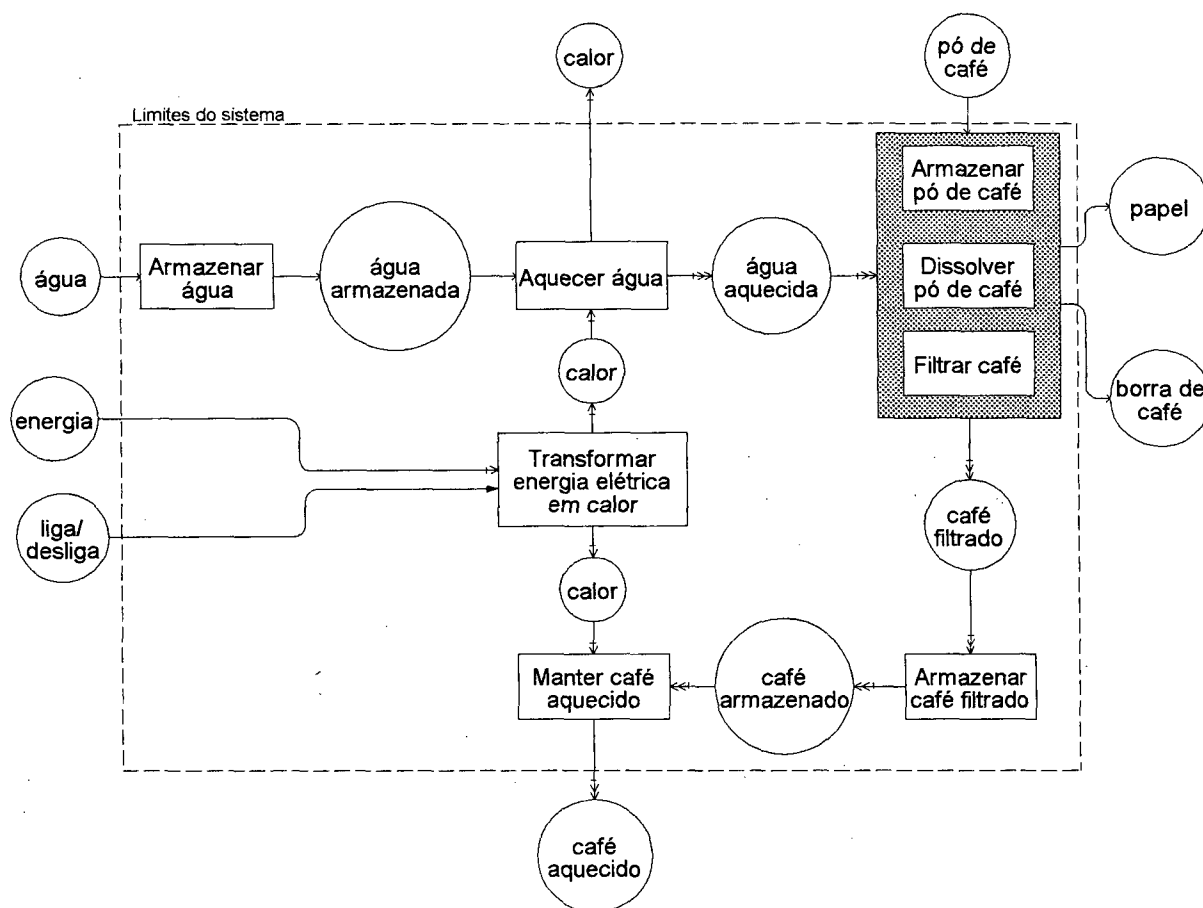
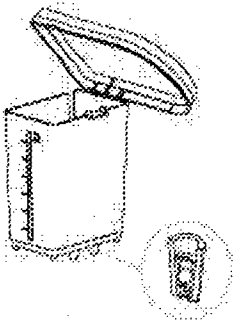

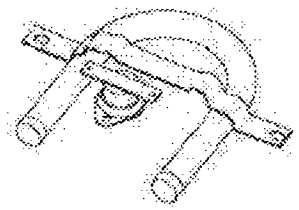
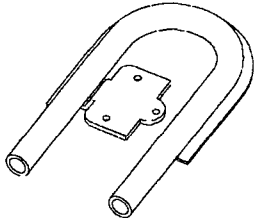

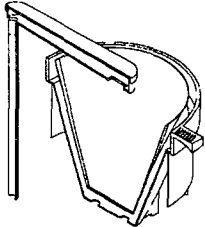
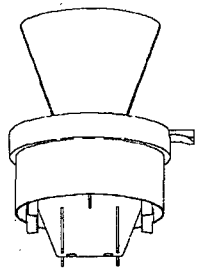
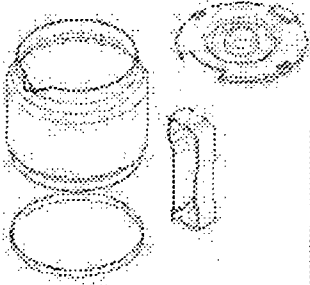
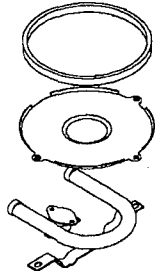


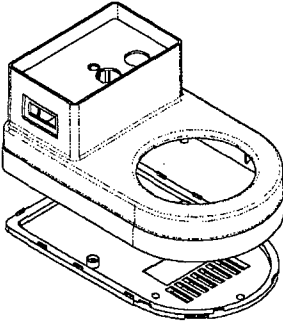
Figura E-4 – Estrutura funcional da cafeteira elétrica

Tabela E-1 – Estrutura morfológica recuperada do produto

It	Funções	Entrada	Saída	Subfunções	Princípios de solução	Inter-relacionamento	
						Antec.	Subseq.
1	Armazenar água	Água do ambiente externo	Água armazenada	Conter água Indicar nível de água	 <p>Recipiente com mostrador de nível de água em equivalente em xícaras de café. O recipiente possui uma entrada que proporciona um local para guardar o fio e tomada.</p> <p>Além disso, possui duas saídas na base inferior. Uma saída da água para o sistema de aquecimento e outra é a entrada de água quente, provinda do sistema de aquecimento, para o sistema de condução de água quente</p>		2
2	Conduzir água ao aquecedor	Água armazenada	Água no aquecedor		 <p>A água é conduzida por uma mangueira através da gravidade e da pressão da coluna d'água. A entrada na mangueira é regulada por uma válvula esférica.</p>	1	3
3	Transformar energia elétrica em calor	Energia do ambiente externo Sinal de liga/desliga e controle da temperatura	Calor	Aquecer placa de aquecimento Controlar temperatura	 <p>Resistência elétrica num tubo de alumínio, localizada abaixo da placa de aquecimento. Também considera-se com elemento do princípio de solução o componente responsável pelo controle da temperatura. Este controle de temperatura consiste de um termostato. A tomada de temperatura do termostato é realizada na própria resistência.</p>	4	9

It	Funções	Entrada	Saída	Subfunções	Princípios de solução	Inter-relacionamento	
						Antec.	Subseq.
4	Aquecer água	Água no aquecedor	Água aquecida com vapor		 <p>Tubo de alumínio ligado a resistência elétrica através de solda de alumínio. A transmissão do calor é feita por condução.</p>	2;3	5
5	Conduzir água aquecida ao pó de café	Água aquecida com vapor	Água aquecida	<p>Conduzir água aquecida com vapor</p> <p>Condensar vapor</p>	 <p>A condução é feita com o aumento de pressão devido à vaporização da água. A água aquecida até a temperatura de vapor é conduzida através do tubo até o componente superior que funciona como uma válvula de expansão, catalisando a condensação do vapor. A saída do condensador é um furo quadrado com ressalto nas bordas para facilitar o direcionamento das gotas de água.</p>	4	6
6	Dissolver pó de café	<p>Água aquecida</p> <p>Pó de café armazenado</p>	Café dissolvido		 <p>A dissolução é feita por aspersão da água aquecida sobre o pó de café armazenado no filtro.</p>	5	7

It	Funções	Entrada	Saída	Subfunções	Princípios de solução	Inter-relacionamento	
						Antec.	Subseq.
7	Filtrar café	Pó de café do ambiente externo	Pó armazenado	Conter pó de café	 <p>Filtro de papel apoiado no suporte</p>	6	8
		Café	Café filtrado	Filtrar café			
8	Armazenar café filtrado	Café filtrado	Café filtrado armazenado		 <p>Jarra de vidro, com alça e braçadeira</p>	7	9
9	Manter café aquecido	Café filtrado armazenado	Café aquecido		 <p>Aquecimento da placa é feita por condução a partir do calor liberado pela resistência elétrica</p>	3;8	

It	Funções	Entrada	Saída	Subfunções	Princípios de solução	Inter-relacionamento	
						Antec.	Subseq.
10	<p>Suportar os componentes externos</p> <p>Proteger os componentes internos</p>				 <p>Consiste de um gabinete de plástico injetado. Este gabinete serve de suporte aos demais componentes da cafeteira, tantos internos quanto externos. É base de montagem da cafeteira.</p>		

E.4 Geração de princípios de solução – Aplicação do *brainstorm*

Neste estudo de caso optou-se pela aplicação do *brainstorm* para a geração de PSs para atender a estrutura funcional modificada da cafeteira. Aplicou-se este método de duas maneiras:

Na primeira maneira, enviou-se por correio eletrônico aos membros do NeDIP/UFSC um documento apresentando: orientações sobre o *brainstorm*, a lista de requisitos de reprojeto, a estrutura funcional modificada, uma tabela contendo os PSs do produto atual. De posse deste documento os membros do NeDIP foram convidados a proporem PSs para atender a estrutura funcional modificada. Estabeleceu-se um prazo de três dias após envio do documento. As pessoas que aceitaram participar desta atividade determinaram o local e a forma de recolhimento das sugestões. Esta maneira de realizar o *brainstorm* forneceu poucas sugestões, pois apenas três pessoas propuseram idéias para atender as funções.

A outra maneira foi uma reunião com quatro membros do NeDIP, na qual apresentou-se o problema a ser solucionado, utilizando o mesmo documento enviado por meio eletrônico. No início desta reunião propôs-se aos participantes que dessem sugestões de PSs para atender a estrutura funcional modificada. Entretanto, ao invés de proporem PSs para cada função, os participante elaboram três diferentes concepções para a cafeteira, apresentados na Figura E-5.

Desta forma, foi necessário desmembrar estas idéias em PSs para as funções da cafeteira elétrica. Esta discriminação das concepções em PS possibilita a utilização da matriz morfológica, usufruindo das suas principais vantagens que são organização e combinação dos PSs em novas concepções alternativas (CAs).

Contudo algumas funções ficaram sem alternativas de PSs, nestes casos a equipe de reprojeto pesquisou alternativas para a realização destas funções.

O conjunto de idéias geradas estão organizadas na matriz morfológica do reprojeto da cafeteira elétrica, item E.5.

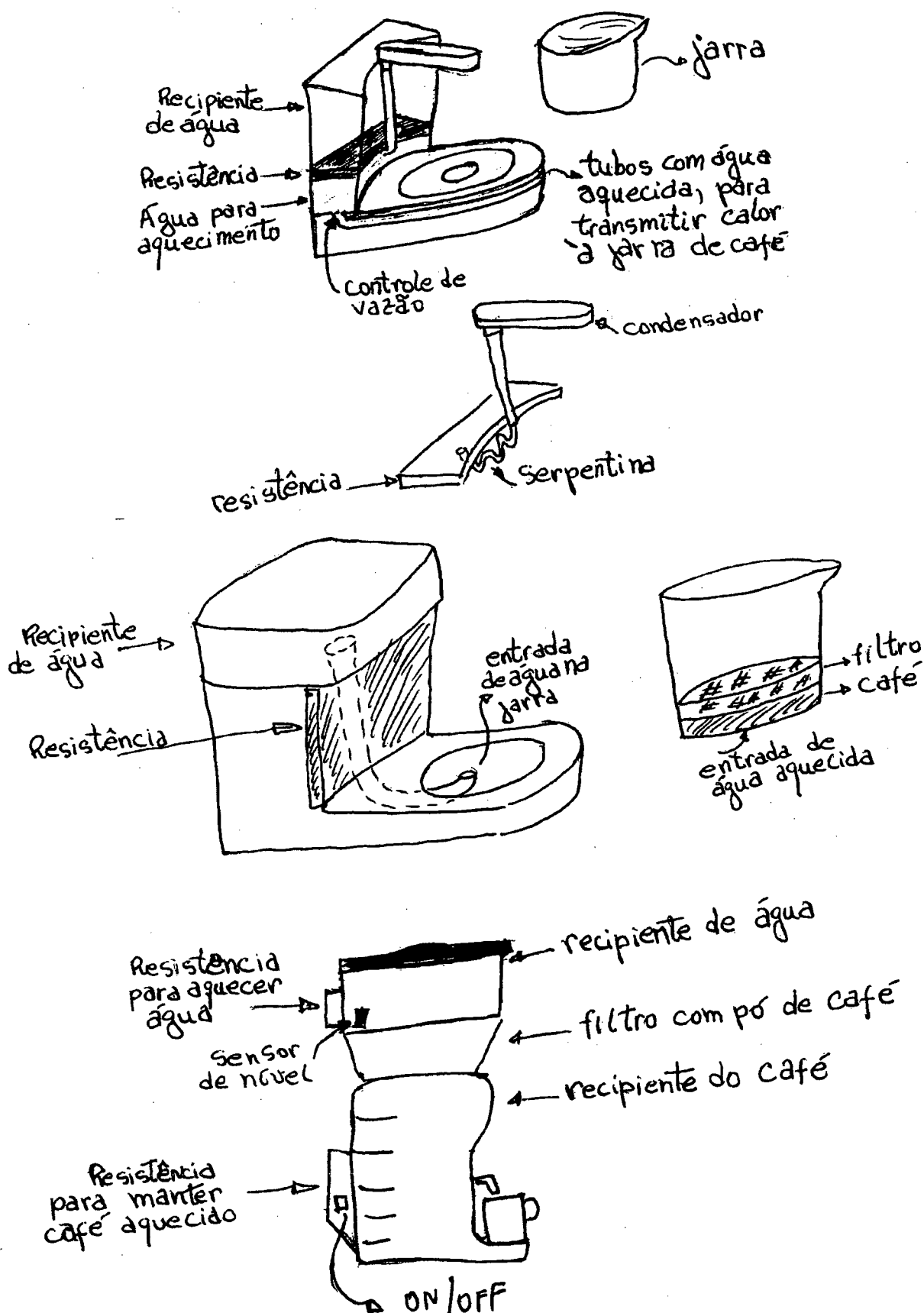
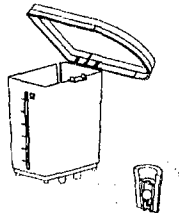
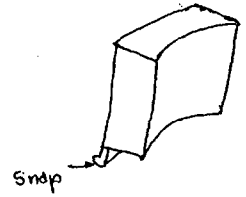
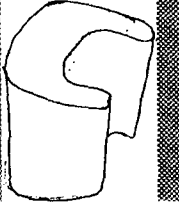
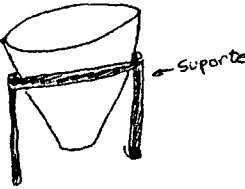

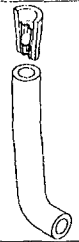
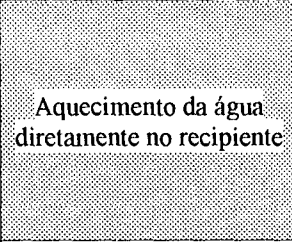
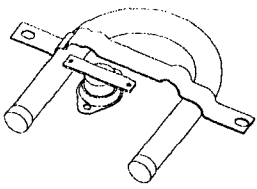

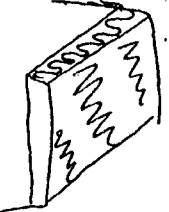
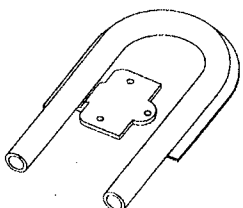
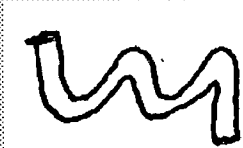
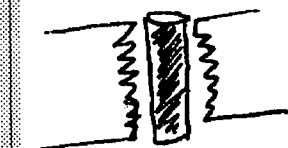

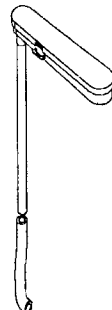
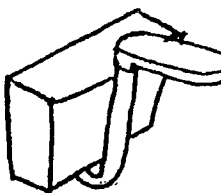

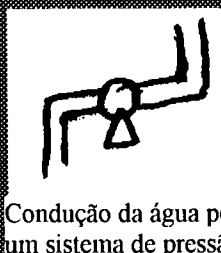
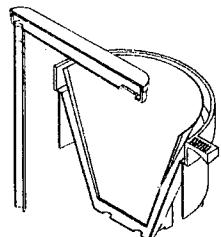
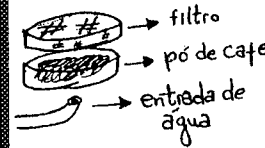
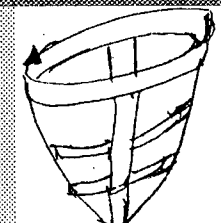


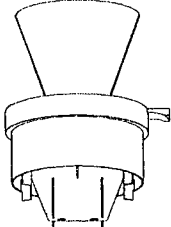
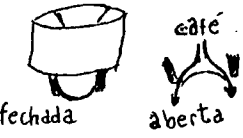
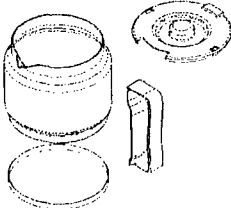
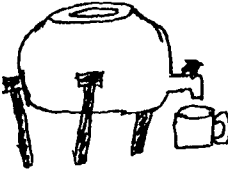
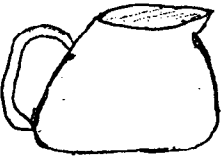
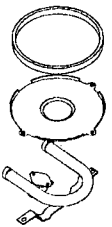
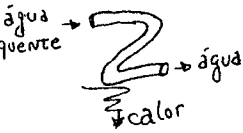
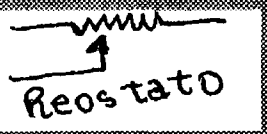



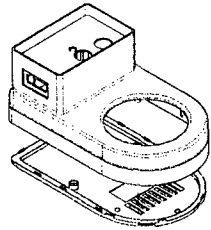
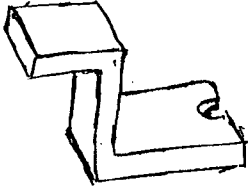
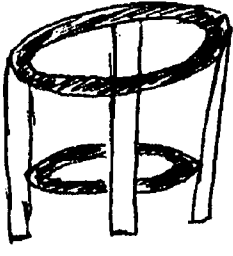
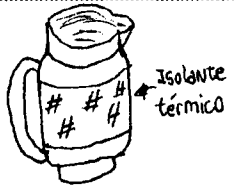

Figura E-5 – Idéias geradas no *brainstorm*

E.5 Matriz morfológica para o reprojeto da cafeteira elétrica

Funções		Subfunções	Princípios de solução				
			1	2	3	4	5
1	Armazenar água	Conter água Indicar nível de água		 Recipiente fixado por snap fit	 Recipiente com formato suficiente para envolver a jarra de café	 Na forma de tronco de cone invertido	 Retangular com dimensão horizontal maior do que a vertical
			2	Conduzir água ao aquecedor		Tubo rígido fixado diretamente no corpo do suporte da cafeteira	 Aquecimento da água diretamente no recipiente
3	Transformar energia elétrica em calor	Aquecer placa de aquecimento Controlar temperatura	 Resistência num tubo dobrado na forma de anel	 Resistência no formato de placa horizontal	 Resistência no formato de placa vertical		

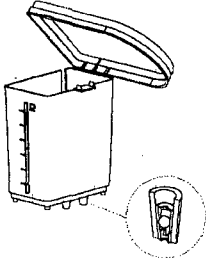
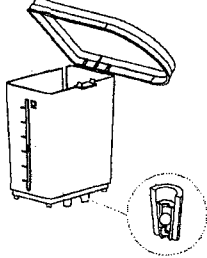
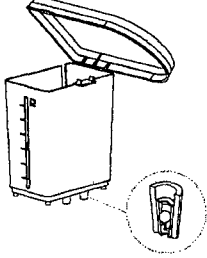
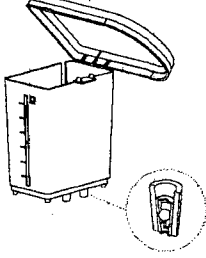
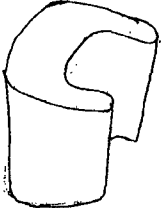





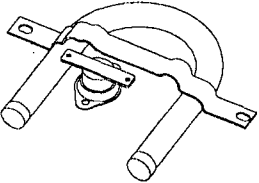
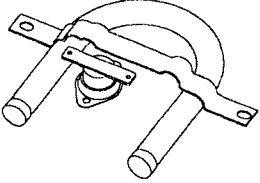



Funções		Subfunções	Princípios de solução				
			1	2	3	4	5
4	Aquecer água			 Serpentina em contato com a resistência.	 Tubo envolvido pela resistência	 Resistência dentro do recipiente de água	Resistência dentro do tudo de aquecimento.
5	Conduzir água aquecida ao pó de café	Conduzir água aquecida com vapor Condensar vapor		 Sistema de condução por vapor localizado fora do recipiente da água.	 Sistema de condução por gravidade.	 Condução da água por um sistema de pressão	Sistema de condução por vapor integrado ao recipiente de água.
6	Dissolver pó de café			 Promover a dissolução no sentido contrário da força da gravidade.	 Filtro de material plástico fornecido pela cafeteira.	 Promover a dissolução com água pressurizada	 Sistema de refil com filtro e pó de café.

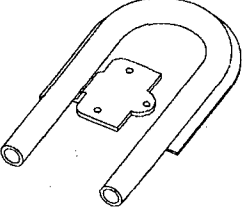
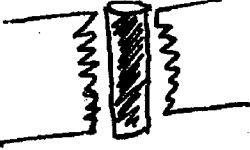
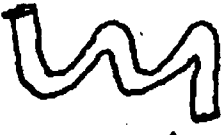
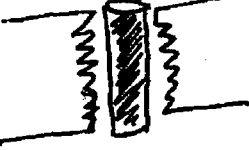
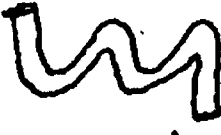
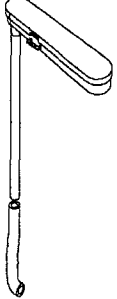
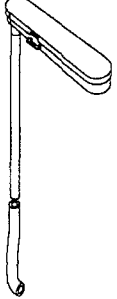
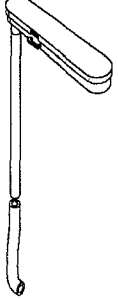
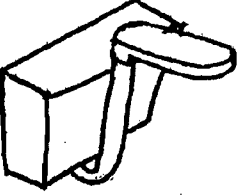
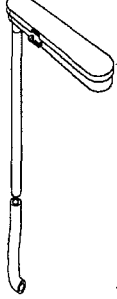
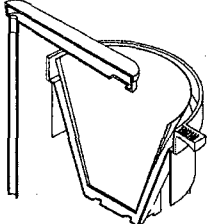
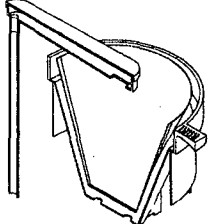
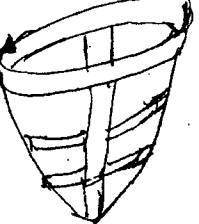
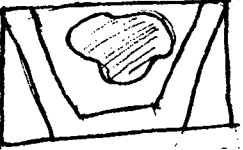
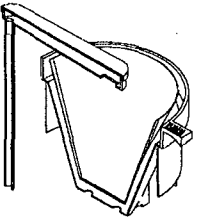
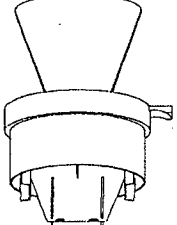
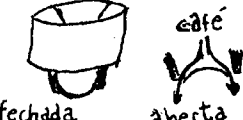
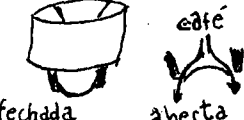
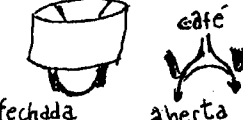
Funções	Subfunções	Princípios de solução				
		1	2	3	4	5
7	<p>Conter pó de café</p> <p>Filtrar café</p>		 <p>Válvula no final do suporte do filtro</p>	<p>Suporte de filtro integrado ao corpo da cafeteira</p>	<p>Filtro integrado ao suporte</p>	
8	<p>Armazenar café filtrado</p>		 <p>Jarra com saída do café (torneira)</p>			
9	<p>Manter café aquecido</p>		 <p>Sistema de aquecimento com serpentina de água sob o recipiente do café</p>	 <p>Reostato</p>	 <p>Utilizar o calor despendido na condensação do vapor para aquecer o café</p>	<p>Utilizar uma resistência de aquecimento do café diferente a utilizada para aquecer a água.</p>

Funções		Subfunções	Princípios de solução				
			1	2	3	4	5
10	Suportar os componentes externos			 Suporte para recipiente de água acima da jarra e local para colocar copos	 Suporte para uma distribuição vertical		
			<i>Time</i> que permita determinar o tempo que se quer manter a temperatura do café	Regulador do tamanho da resistência	Comutador de resistência	Controlador do fluxo da água de aquecimento	
12	Conservar a temperatura		 Jarro com isolante térmico	 Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor	Jarro em imersa banho-maria	Utilizar uma garrafa térmica com o recipiente do café	

E.6 Concepções alternativas para a cafeteira elétrica

Tabela E-2 – CA1 à CA5

It.	Funções	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5
1	Armazenar água					 Recipiente com formato suficiente para envolver a jarra de café
2	Conduzir água ao aquecedor					
3	Transformar energia elétrica em calor			 Resistência num tubo dobrado na forma de anel	 Resistência num tubo dobrado na forma de anel	 Resistência num tubo dobrado na forma de anel

It.	Funções	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5
4	Aquecer água		 <p data-bbox="754 457 990 516">Tubo envolvido pela resistência</p>	 <p data-bbox="1057 449 1300 509">Serpentina em contato com a resistência.</p>	 <p data-bbox="1373 457 1610 516">Tubo envolvido pela resistência</p>	 <p data-bbox="1676 449 1920 509">Serpentina em contato com a resistência.</p>
5	Conduzir água aquecida ao pó de café				 <p data-bbox="1351 746 1632 835">Sistema de condução por vapor localizado fora do recipiente da água.</p>	
6	Dissolver pó de café			 <p data-bbox="1035 1080 1322 1110">Filtro de material plástico</p>	 <p data-bbox="1344 1028 1632 1087">Sistema de refil com filtro e pó de café.</p>	
7	Filtrar café		 <p data-bbox="758 1273 979 1332">Válvula no final do suporte do filtro</p>	<p data-bbox="1035 1213 1322 1273">Suporte do filtro integrado ao corpo da cafeteira</p>	 <p data-bbox="1378 1273 1599 1332">Válvula no final do suporte do filtro</p>	 <p data-bbox="1687 1273 1908 1332">Válvula no final do suporte do filtro</p>

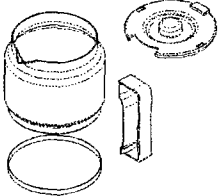
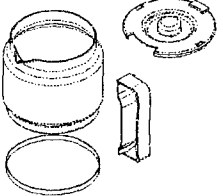
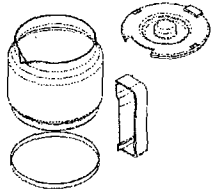
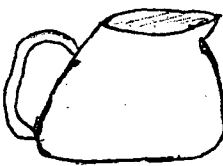
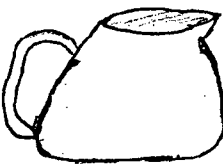



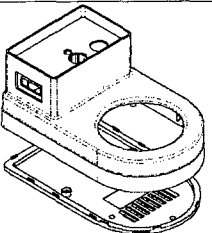
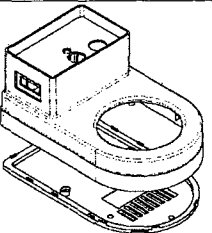
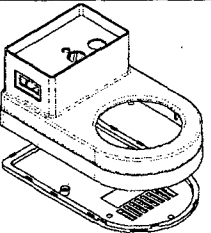
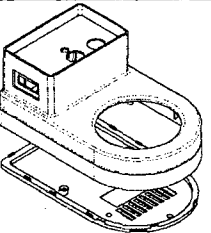
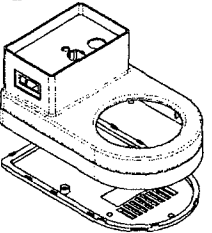
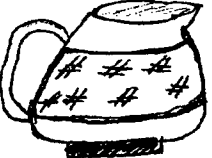


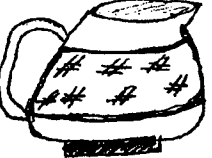
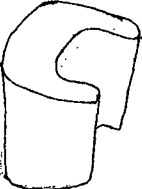
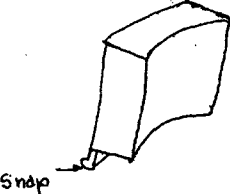
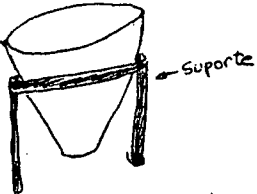
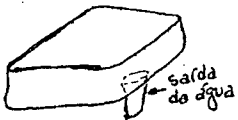
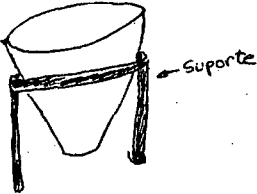



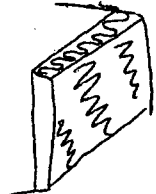
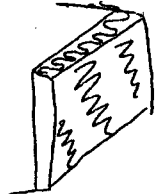
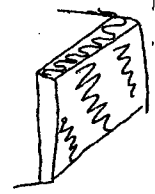


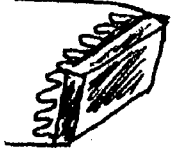

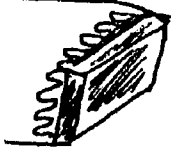
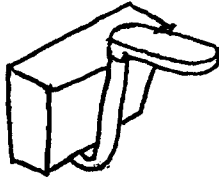



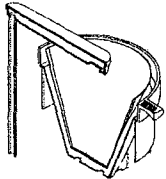
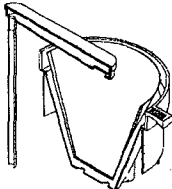


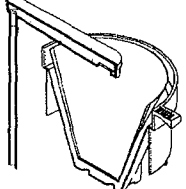
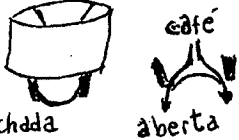
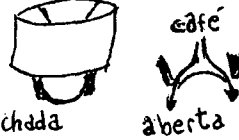
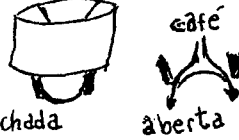
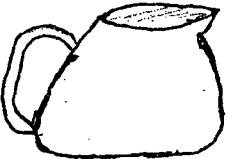
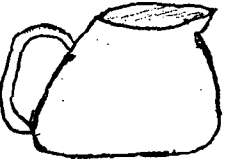
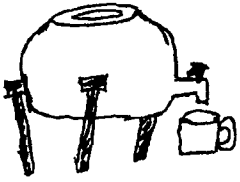
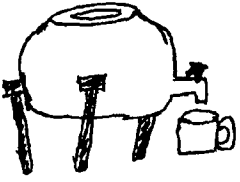

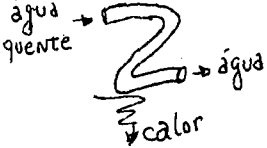
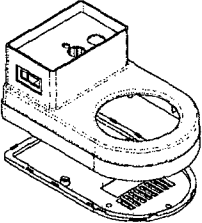
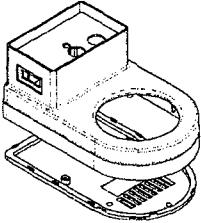
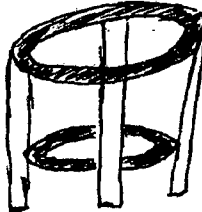
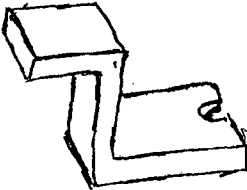
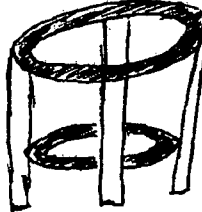


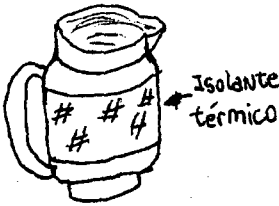
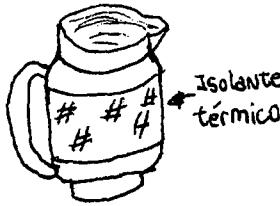
It.	Funções	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5
8	Armazenar café filtrado					
9	Manter café aquecido		Utilizar uma resistência de aquecimento do café diferente a utilizada para aquecer a água.	Utilizar uma resistência de aquecimento do café diferente a utilizada para aquecer a água.		
10	Suportar os componentes externos					
11	Controlar temperatura		Comutador de resistência	Comutador de resistência	Regulador do tamanho da resistência	Time que permita determinar o tempo que se quer manter a temperatura do café
12	Conservar a temperatura					
			Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor	Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor	Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor	Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor

Tabela E-3 – CA6 à CA10

It.	Funções	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10
1	Armazenar água	 <p>Recipiente com formato suficiente para envolver a jarra de café</p>	 <p>Recipiente fixado por snap fit</p>	 <p>Na forma de tronco de cone invertido</p>	 <p>Retangular com dimensão horizontal maior do que a vertical</p>	 <p>Na forma de tronco de cone invertido</p>
2	Conduzir água ao aquecedor		<p>Tubo rígido fixado diretamente no corpo do suporte da cafeteira</p>	<p>Aquecimento da água diretamente no recipiente</p>	<p>Aquecimento da água diretamente no recipiente</p>	<p>Aquecimento da água diretamente no recipiente</p>
3	Transformar energia elétrica em calor	 <p>Resistência no formato de placa horizontal</p>	 <p>Resistência no formato de placa horizontal</p>	 <p>Resistência no formato de placa vertical</p>	 <p>Resistência no formato de placa vertical</p>	 <p>Resistência no formato de placa vertical</p>
4	Aquecer água	 <p>Serpentina em contato com a resistência.</p>	 <p>Serpentina em contato com a resistência.</p>	 <p>Resistência dentro do recipiente de água</p>	 <p>Resistência dentro do recipiente de água</p>	 <p>Resistência dentro do recipiente de água</p>

It.	Funções	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10
5	Conduzir água aquecida ao pó de café	Sistema de condução por vapor integrado ao recipiente de água.	 <p>Sistema de condução por vapor localizado fora do recipiente da água.</p>	 <p>Sistema de condução por gravidade.</p>	 <p>Sistema de condução por gravidade.</p>	 <p>Sistema de condução por gravidade.</p>
6	Dissolver pó de café			 <p>Sistema de refil com filtro e pó de café.</p>	 <p>Sistema de refil com filtro e pó de café.</p>	
7	Filtrar café	 <p>fechada aberta</p> <p>Válvula no final do suporte do filtro</p>	<p>Suporte de filtro integrado ao corpo da cafeteira</p>	<p>Filtro integrado ao suporte</p>	 <p>fechada aberta</p> <p>Válvula no final do suporte do filtro</p>	 <p>fechada aberta</p> <p>Válvula no final do suporte do filtro</p>
8	Armazenar café filtrado			 <p>Jarra com saída do café (torneira)</p>	 <p>Jarra com saída do café (torneira)</p>	

It.	Funções	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10
9	Manter café aquecido	 <p>Utilizar o calor despendido na condensação do vapor para aquecer o café</p>	 <p>Sistema de aquecimento com serpentina de água sob o recipiente do café</p>	<p>Utilizar uma resistência de aquecimento do café diferente a utilizada para aquecer a água.</p>	<p>Utilizar uma resistência de aquecimento do café diferente a utilizada para aquecer a água.</p>	
10	Suportar os componentes externos			 <p>Suporte para uma distribuição vertical</p>	 <p>Suporte para recipiente de água acima da jarra e local para colocar copos</p>	 <p>Suporte para uma distribuição vertical</p>
11	Controlar temperatura	<p>Controlador do fluxo da água de aquecimento</p>	<p>Controlador do fluxo da água de aquecimento</p>	<p>Comutador de resistência</p>	<p>Comutador de resistência</p>	
12	Conservar a temperatura	 <p>Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor</p>	 <p>Jarro com isolante térmico na lateral e fundo de material condutor</p>	 <p>Jarro com isolante térmico</p>	 <p>Jarro com isolante térmico</p>	<p>Utilizar uma garrafa térmica com o recipiente do café</p>