UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

LUCIANE COSTA FACO

A INSERÇÃO DE REQUISITOS AMBIENTAIS
NA METODOLOGIA DE PROJETO EM DESIGN:
investigação dos aspectos a serem considerados no ciclo de vida
da lata de alumínio para bebidas no país

SÃO PAULO
2013

LUCIANE COSTA FACO

A INSERÇÃO DE REQUISITOS AMBIENTAIS
NA METODOLOGIA DE PROJETO EM DESIGN:
investigação dos aspectos a serem considerados no ciclo de vida
da lata de alumínio para bebidas no país

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Área de concentração: Design e Arquitetura.
Orientadora: Profa. Dra. Cibele Haddad Taralli.

SÃO PAULO
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL AUTORA: lucianefaco@gmail.com

F142i Faco, Luciane Costa
A inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto em design: investigação dos aspectos a serem considerados no ciclo de vida da lata de alumínio para bebidas no país / Luciane Costa Faco. --São Paulo, 2013.
XXX p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Design e Arquitetura) - FAUUSP.

Orientadora: Cibele Haddad Taralli

1.Design (Aspectos ambientais) 2.Projetos de produtos (Avaliação, Metodologia) 3.Ciclo de vida I.Título

CDU 7.05

Nome: FACO, Luciane Costa

Título: A inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto em design: investigação dos aspectos a serem considerados no ciclo de vida da lata de alumínio para bebidas no país

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

SÃO PAULO

2013

Agradecimentos

Agradeço a todos os professores e colegas da FAU USP que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora Cibele Haddad Taralli, pela atenção e disponibilidade, pelos conselhos e orientações, e por aceitar e participar ativamente deste desafio, contribuindo para o meu crescimento científico e intelectual.

À Prof. Dra. Cyntia Santos Malaguti de Sousa, que nos anos de convivência me ensinou uma nova forma de ver e pensar o design, prestando apoio e incentivos para o meu ingresso na vida acadêmica, desde a graduação.

Ao Prof. Dr. Gil Anderi da Silva, da Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, que me auxiliou na busca de dados pertinentes para a aplicação da ACV ao meu estudo de caso.

Aos professores Alex Rodrigues Nogueira e Luiz Alexandre Kulay, pelas discussões que tornaram mais clara a estrutura do método de ACV, e por me aceitarem na disciplina do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE).

Ao Jorge Maurício Bannitz, diretor da Latapack-Ball, pela acessibilidade e gentileza em me abrir portas nas diferentes empresas visitadas, possibilitando ampliar meu conhecimento sobre o ciclo produtivo da lata de alumínio.

À todos os funcionários que me forneceram informações durante as visitas técnicas às empresas Noveis do Brasil, Latapack-Ball, Grupo Petrópolis, Loga Logística Ambiental, cooperativa Vira Lata, Metal Can e ao escritório de design Designluce.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, pela confiança, amor e carinho, e por apostarem no meu sucesso. Sem eles nada seria possível.

Ao Marcelo, essencial, companheiro e confidente.

Os sóis dão voltas, os planetas dão voltas, os ciclones dão voltas, os rodamosinhos dão voltas, a vida, em seus ciclos múltiplos e emaranhados, dá voltas: ciclos homeostáticos, ciclos de reprodução, ciclos ecológicos do dia, da noite, das estações, do oxigênio, do carbono... O homem acredita ter inventado a roda, e, no entanto, nasceu de todas essas rodas.

Edgar Morin

Resumo

FACO, L. C. A inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto em design: investigação dos aspectos a serem considerados no ciclo de vida da lata de alumínio para bebidas no país. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

O presente trabalho é resultado de estudos e considerações sobre a inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto em design, investigando quais as contribuições da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como método de incorporação desses requisitos, uma vez que permite quantificar o desempenho ambiental dos diferentes produtos e processos, colaborando para a tomada de decisões na prática de projeto. Primeiramente, são selecionadas algumas propostas metodológicas de autores do design, verificando quais podem ser adaptadas ou atualizadas de acordo com critérios ambientais referentes ao ciclo de vida do objeto. Em seguida, apresenta-se a ACV e a sua relação com o campo em questão, finalizando com o estudo de caso do ciclo de vida da lata de alumínio para a indústria de bebidas brasileira, e com a avaliação dos seus impactos ao meio ambiente. O resultado discute as possíveis aplicações de aspectos ambientais presentes na ACV para representar requisitos do ciclo de vida do produto na metodologia de projeto em design, discutindo a sua representatividade como referência para abordagens que priorizam a área do design e da sustentabilidade, bem como a problemática efetiva da não consideração da ACV neste contexto.

Palavras-chave: Design. Metodologia. Projetos de produtos. Aspectos ambientais. Ciclo de vida.

Abstract

FACO, L. C. The inclusion of environmental requirements in the project methodology of design: a research of the aspects to be considered in the life cycle of aluminium cans for beverage in Brazil. 2013. 111 f. Dissertation (Master's degree) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

This dissertation is a result of studies and considerations on the inclusion of environmental requirements in the project methodology of design, investigating which are the contributions of Life Cycle Assessment (LCA) instrument as a method for inclusion of those requirements, since it allows quantifying the environmental performance of different products and process, collaborating for decision-making in the project practice. At first, some methodological proposals are selected from the authors of the design, verifying which of them may be adapted or updated in accordance with environmental criteria related to the life cycle of the object. Thereafter, LCA and its relationship with the concerned field are presented, ending with the case study of the life cycle of aluminum cans for the Brazilian beverage industry, and with the assessment of their impacts on the environment. The result discusses the possible applications of environmental aspects considered in the LCA to represent requirements of product life cycle in the project methodology in design, discussing their representativeness as a reference for approaches that prioritize design and sustainability areas, as well as the actual problem of non consideration of LCA in this context.

Key words: Design. Methodology. Product design. Environment aspects. Life cycle.

Lista de figuras

Figura 1 -	Roda de Deming (<i>Plan-Do-Check-Act</i>) relacionada às normas da série ISO.....	33
Figura 2 -	Modelo de integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto.....	35
Figura 3 -	RODA DA ECOCONCEPÇÃO, por Manual <i>Promise</i> do Pnuma e O2 France.....	49
Figura 4 -	Solução de reutilização e de valorização do produto, por O2 France.....	51
Figura 5 -	Os sete passos para a melhoria ambiental.....	64
Figura 6 -	Esquema de <i>mind mapping</i> cujas ramificações do tema central estão organizadas de acordo com as proposições metodológicas analisadas.....	73
Figura 7 -	Exemplo simplificado de <i>concept mapping</i> de acordo com conceitos da Figura 6.....	75
Figura 8 -	Etapas do ciclo de vida do produto, adaptado do esquema de Silva e Kulay (2006).....	78
Figura 9 -	Fases de uma ACV, adaptado da NBR ISO 14040.....	84
Figura 10 -	Representação do subsistema de energia elétrica, empregado em todos os outros.....	85
Figura 11 -	Exemplo de limites do sistema de produto, representados pela linha pontilhada.....	86
Figura 12 -	Etapas operacionais realizadas durante a fase de Análise de Inventário do Ciclo de Vida.....	88
Figura 13 -	Formação do índice ambiental (único indicador).....	91
Figura 14 -	Etapas da fase de interpretação.....	92
Figura 15 -	Primeira etapa da modelagem da ACV no <i>software</i> SimaPro, referente ao objetivo e âmbito do estudo.....	95
Figura 16 -	Descrição das fases do produto e modelagem do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) no <i>software</i> SimaPro.....	96
Figura 17 -	Seleção do método Eco-indicator 99 para a avaliação dos impactos presentes no ciclo de vida do produto.....	97
Figura 18 -	Gráfico comparativo para a avaliação dos impactos ambientais nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto.....	98
Figura 19 -	Ciclo de vida simplificado da lata de alumínio.....	105
Figura 20 -	Frente de mineração e mesma área após reabilitação.....	107

Figura 21 -	Frente de mineração e mesma área após reabilitação.....	107
Figura 22 -	Fluxograma básico de uma refinaria.....	107
Figura 23 -	Oportunidades no gerenciamento de resíduos sólidos.....	113
Figura 24 -	Embalagens existem dentro dos sistemas econômico, social e ambiental.....	115
Figura 25 -	Novos formatos para a lata de alumínio (o formato convencional é de 350 ml).....	117
Figura 26 -	Tampas SuperEnd da Crown (à esquerda) e tampa convencional no mercado (à direita).....	119
Figura 27 -	Fronteiras das pesquisas de campo para a análise do ciclo de vida da lata de alumínio.....	120
Figura 28 -	Fardos para reciclagem na fábrica da Novelis em Nova Iorque, EUA.....	123
Figura 29 -	Lingote de alumínio sendo transportado para os processos de laminação.....	123
Figura 30 -	Bobinas de alumínio em uma das fábricas da Novelis, em Nova Iorque, EUA. A estrutura industrial é muito semelhante à planta de Pindamonhangaba, em São Paulo.....	124
Figura 31 -	Instalações industriais da Latapack-Ball em Jacareí, São Paulo..	126
Figura 32 -	Instalações da Petrópolis em Boituva (SP), linha de enchimento de latas de alumínio.....	128
Figura 33 -	Máquina com estrutura giratória e mecanismos para despejar a cerveja dentro da lata.....	129
Figura 34 -	Estrutura que posiciona as tampas para uso na máquina onde a lata é fechada, e rolos de papel pardo contendo as tampas enviadas pela Latapack-Ball. Constatou-se que o volume compacto das tampas para o transporte justifica a produção na Bahia, ao invés da produção de latas, onde o volume é bem maior.....	129
Figura 35 -	Um dos vários instrumentos para contagem das latas, localizado após as máquinas responsáveis pelo envase e pela pasteurização.....	130
Figura 36 -	Pátio de separação dos materiais no galpão da cooperativa Vira Lata.....	133
Figura 37 -	Fardos de lata de alumínio na Vira Lata, em número reduzido, e equipamento de enfardamento.....	133
Figura 38 -	Fardos de lata de alumínio na Vira Lata, em número reduzido, e equipamento de enfardamento.....	133
Figura 39 -	Processos inclusos na ACV delimitados pela linha pontilhada, representando as fronteiras do estudo.....	137

Figura 40 -	Fluxos de massa no ciclo de vida da lata, considerando taxa de reciclagem de 98,2%.....	141
Figura 41 -	As quatro etapas da análise de valores: ações técnicas e ações de redução de custo.....	177
Figura 42 -	Alumínio laminado em bobinas.....	182
Figura 43 -	Packs de Brahma na linha de produção.....	184
Figura 44 -	Fardos para a indústria da reciclagem.....	185
Figura 45 -	Forno de fundição.....	185

Lista de tabelas

Tabela 1 -	Input-output para a seleção de métodos de design.....	47
Tabela 2 -	Objetivos e processos do método MPDS correspondentes à fase de projeto do produto.....	59
Tabela 3 -	Abordagem de John Christopher Jones.....	68
Tabela 4 -	Abordagem de Thierry Kazazian.....	69
Tabela 5 -	Abordagem de Ezio Manzini e Carlo Vezzoli.....	69
Tabela 6 -	Abordagem de Ezio Manzini.....	71
Tabela 7 -	Abordagem de Carlo Vezzoli.....	71
Tabela 8 -	Abordagem de UNEP e Mcaloone; Bey, 2009.....	71
Tabela 9 -	Grupos para elaboração das normas sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	83
Tabela 10 -	Simulação para a unidade de processo de produção de alumina, segunda fase do ciclo de vida da lata de alumínio, com dados extraídos da literatura.....	89
Tabela 11 -	Elementos obrigatórios fundamentais à Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	91
Tabela 12 -	Comparativo de quantidade (em toneladas) dos principais materiais recebidos pela Vira Lata.....	132
Tabela 13 -	Dados de transporte coletados para o estudo de ACV.....	139
Tabela 14 -	Valores estimados de emissões atmosféricas para o modal rodoviário.....	140
Tabela 15 -	Contribuição do consumo de energia elétrica na eletrólise por fonte de energia por região.....	140
Tabela 16 -	Resultados do ICV para a produção do alumínio primário.....	142
Tabela 17 -	Resultados do ICV para a produção da lata de alumínio.....	143
Tabela 18 -	Definição e organização dos requisitos ambientais a partir da ACV da lata de alumínio.....	154
Tabela 19 -	Simulação para a unidade de processo de mineração da bauxita..	186
Tabela 20 -	Simulação para a unidade de processo de produção de alumina...	187
Tabela 21 -	Simulação para a unidade de processo de produção do anodo...	188
Tabela 22 -	Simulação para a unidade de processo de eletrólise.....	189
Tabela 23 -	Simulação para a unidade de processo de formação do lingote....	191

Tabela 24 -	Simulação para a unidade de processo de produção da folha para lata. CORPO (780 kg).....	192
Tabela 25 -	Simulação para a unidade de processo de produção da folha para lata. TAMPA (220 kg).....	194
Tabela 26 -	Simulação para a unidade de processo de produção da lata de alumínio.....	196
Tabela 27 -	Simulação da unidade de processo de preparação da sucata (trituração e decapagem).....	199
Tabela 28 -	Simulação para a unidade de processo para refusão e fundição...	200

Lista de gráficos

Gráfico 1 -	Representação de sobreposição dos três gráficos “Redesign do existente” (eco-redesign) e “Soluções sustentáveis” (sustentabilidade); “Eficiência, suficiência e eficácia”, e “Percursos para a sustentabilidade”.....	54
Gráfico 2 -	Graus de melhoria ambiental e tipo de inovação necessária....	63
Gráfico 3 -	Proposta para o posicionamento das metodologias de acordo com as escalas de fatores ambientais presentes no campo do design e o tempo de proposição.....	67
Gráfico 4 -	Evolução da reciclagem de latas de alumínio.....	110
Gráfico 5 -	Consumo de energia elétrica e térmica durante o ciclo de vida da lata de alumínio.....	144
Gráfico 6 -	Consumo de água no ciclo de vida da lata de alumínio.....	144
Gráfico 7 -	Análise das emissões de CO ₂ durante o ciclo de vida da lata de alumínio.....	145
Gráfico 8 -	Redução no consumo e emissões para taxa de reciclagem de 98,2% (lata de alumínio).....	145
Gráfico 9 -	Potencial de acidificação medido por kg SO ₂ equiv./tonelada de alumínio.....	147
Gráfico 10 -	Potencial de eutrofização medido por kg Fósforo equiv./tonelada de alumínio.....	148
Gráfico 11 -	Potencial de aquecimento global medido por kg CO ₂ equiv./tonelada de alumínio.....	149
Gráfico 12 -	Potencial de criação fotoquímica do ozônio medido por kg Eteno equiv./tonelada de alumínio.....	149

Lista de abreviaturas e siglas

AA	Aluminum Association
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABCV	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRALATAS	Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade
ABRE	Associação Brasileira de Embalagem
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
D4S	Design for sustainability
DTU	Technical University of Denmark
GANA	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
IAI	International Aluminium Institute
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICSID	International Council of Society in Industrial Design
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
LCD	Life Cycle Design
MPDS	Method for Product Design for Environmental Sustainability
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PSB	Política de Saneamento Básico
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UNEP	United Nations Environment Programme

Sumário

Resumo	6
Abstract.....	7
Objetivos da dissertação	18
Materiais e métodos	19
 Capítulo 1 – Apresentação	 25
1.1. Design de produto e o conceito de sustentabilidade	26
1.2. Design, consumo e desperdício	27
1.2.1. Consequências ambientais.....	29
1.2.2. Certificações ambientais e a norma ISO 14062	32
1.3. Apresentação dos capítulos.....	36
 Capítulo 2 – Metodologia de projeto de produto em design	 39
2.1. Metodologia de projeto para produtos sustentáveis.....	39
2.2. Autores e metodologias selecionadas.....	42
2.2.1. John Christopher Jones.....	43
2.2.2. Thierry Kazazian.....	48
2.2.3. Ezio Manzini e Carlo Vezzoli	52
2.2.4. Algumas considerações sobre os métodos do design	60
2.2.5. Novas ferramentas de ecodesign: UNEP e DTU	63
2.3. Metodologia de projeto e requisitos ambientais	65

Capítulo 3 – Avaliação do Ciclo de Vida do produto e o design 77

3.1. Contextos e definições 78

3.1.1. Normas da série ISO 14040 / NBR ISO 14040 82

3.1.2. Etapas de execução da ACV 84

3.1.2.1. Definição de objetivo e escopo 86

3.1.2.2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV) 87

3.1.2.3. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) 90

3.1.2.4. Interpretação dos resultados 92

3.1.2.5. Relatório final e revisão crítica 93

3.1.3. Softwares e bancos de dados internacionais 94

3.2. Contexto brasileiro 99

3.2.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 99

3.2.2. Possíveis contribuições da ACV para o design 101

Capítulo 4 – Estudo de caso 104

4.1. O uso do alumínio em embalagens: o caso da lata 105

4.1.1. Indústria do alumínio e propriedades do material 106

4.1.2. A reciclagem da lata de alumínio no Brasil 109

4.1.3. Métodos para o projeto de embalagens 111

4.1.4. O design da lata de alumínio para bebidas 116

4.2. Ciclo de vida da lata de alumínio 119

4.2.1. Estrutura e limitações nas pesquisas de campo 119

4.2.2. Novelis do Brasil 121

4.2.3. Latapack-Ball 125

4.2.4. Grupo Petrópolis 127

4.2.5. Logística de transporte e distribuição 131

4.2.6. Consumo e coleta seletiva 131

4.3. Avaliação do Ciclo de Vida da lata de alumínio 134

4.3.1. Definição do objetivo e escopo.....	136
4.3.1.1. Objetivo	136
4.3.1.2. Escopo.....	137
4.3.2. Resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	142
4.3.3. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	146
4.3.4. Interpretação dos resultados da ACV	150
 Capítulo 5 – Análise e discussão dos resultados	153
 Referências Bibliográficas	160
 Glossário.....	171
 APÊNDICE A – Estratégias de Jones (1976)	175
 APÊNDICE B – Ciclo de vida da lata de alumínio.....	178
 APÊNDICE C – Estudo de ACV da lata de alumínio	186

Objetivos da dissertação

Objetivo Geral

Investigar, analisar e mapear alguns dos parâmetros necessários para a consideração de requisitos ambientais a serem incorporados nas metodologias de projeto de produto clássicas e contemporâneas mais utilizadas no design, com foco no estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da lata de alumínio para a indústria de bebidas no Brasil. Tal estudo tem como perspectiva possíveis contribuições da ACV para o design, possibilitando que futuros projetos de produtos sejam menos impactantes ao meio ambiente.

Objetivos Específicos

- Verificar e estudar as possibilidades de aplicação de alguns dos aspectos presentes na ACV no projeto de produtos, analisando a pertinência dos dados quantitativos gerados a partir deste estudo para o mapeamento qualitativo de requisitos ambientais a serem considerados ou inseridos na metodologia de projeto de produto em design;
- Revisar e analisar algumas das metodologias de projeto de produto relevantes para o design, identificando aspectos que poderiam ser atualizados, ou aqueles que já contribuem para a minimização de problemas ambientais gerados a partir da concepção, projeto, produção, consumo, descarte e reaproveitamento, tendo em vista os procedimentos e parâmetros da ACV.
- Identificar, sistematizar e organizar as diretrizes (caminhos a serem seguidos) mais relevantes para a consideração de critérios ambientais nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto, partindo da simulação do estudo de ACV da lata de alumínio. Discutir a representatividade da ACV como ferramenta de referência para a inserção de requisitos ambientais nas diferentes categorias de produtos industriais.

Materiais e métodos

O tema da pesquisa surgiu a partir de estudos, considerações e indagações sobre os padrões de consumo da sociedade atual, que trazem sérias implicações à cultura material. Neste cenário, os objetos se tornam cada vez mais substituíveis, e o modo de vida contemporâneo cada vez mais insustentável. Em relação ao design, e a ação do designer frente a esta realidade, considera-se que possa haver uma contribuição valiosa, na atuação, com competência para desenvolver projetos mais eficientes do ponto de vista da preservação do meio ambiente. As indagações iniciais apontam para dúvidas em relação ao conhecimento dos profissionais que atuam em projeto de produtos, sobre como e o que considerar na metodologia projetual em relação aos requisitos ambientais para a conceituação, concepção e desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis.

De maneira geral, este trabalho utiliza métodos das ciências sociais, com etapas iniciais focadas em levantamentos bibliográficos, explorando e colocando aspectos de metodologias clássicas e contemporâneas de projeto, tendo em vista o caso desta dissertação, o invólucro ou embalagem para bebidas no país, analisando os aspectos ambientais envolvidos, ou mesmo, os desconsiderados. Na sequência, a ampliação do escopo dos levantamentos aborda a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), aproximando-se dos conceitos e conteúdos das ciências exatas, mais especificamente da engenharia, buscando as possíveis intersecções com o design. As considerações, as posições e os conteúdos parciais são de caráter qualitativo.

Para averiguação da contribuição da ACV ao design, dentro do enfoque das metodologias projetuais validando a sua pertinência, adotou-se o método de estudo de caso, viabilizando os procedimentos quantitativos que caracterizam a ACV, e se procedendo ao estudo simulado para a lata de alumínio utilizada na indústria de bebidas brasileira.

Para o tratamento dos resultados deste estudo de ACV seguiram análises qualitativas respaldadas pelos dados quantitativos, justapostos às metodologias projetuais aqui apresentadas, tecendo considerações acerca da sua aplicabilidade, ou do possível diálogo com o design.

O que move e instiga esta investigação é expresso por questões decorrentes deste contexto de atuação na cultura material, na contemporaneidade, tendo como cenário os problemas ambientais atuais, e assim, formulou-se a questão fundamental da pesquisa, que norteou o tratamento dos diferentes assuntos inclusos na dissertação. Posteriormente, foram delimitados os seus subproblemas, de acordo com os métodos investigativos de Leedy (2009).

Questão fundamental:

De que maneira os dados quantitativos gerados e analisados a partir do estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto específico podem ser utilizados no mapeamento qualitativo de requisitos ambientais a serem inseridos ou considerados na metodologia de projeto em design?

Subproblema 01:

Quais dos aspectos presentes nas metodologias de projeto de produto em design podem ser atualizados ou já contribuem para a minimização de impactos ambientais nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto?

Tratamento dos dados e fontes de informação:

Dentre as diferentes metodologias de projeto em design existentes, foram selecionadas para a pesquisa as propostas dos seguintes autores: Kazazian (2005), Manzini e Vezzoli (2008, 2009, 2010), que possuem uma abordagem contemporânea caracterizada como exploratória, e do autor clássico do design Jones (1976), situado em tempos distintos entre a proposição metodológica e a priorização de questões ambientais atuais referentes à consideração do ciclo de vida do produto. São analisadas, ainda, duas das atuais ferramentas de ecodesign, desenvolvidas pela Universidade de Delft e UNEP e pela Technical University of Denmark (DTU).

Para estabelecer algumas associações de ordem comparativa e contextual, foram colocados, também, conceitos de outros autores da área do design, como Papanek (1995); Baxter (2000); Löbach (2001); Bürdek (2006); e Bonsiepe (2011).

A revisão das metodologias foi feita a partir de quadros de análise individuais de cada autor, organizados de acordo com a abordagem de questões ambientais significativas ao campo do design. Deste modo, houve a identificação dos pontos de convergência e de divergência existentes entre elas, incluindo suas associações, complementações e escalas de complexidade, tendo em vista a atualização e a inserção de requisitos ambientais nos métodos em questão.

Tratamento dos resultados:

Com os resultados avaliados, foi consolidada uma análise associativa dos subproblemas aqui apresentados, permitindo organizar os dados da pesquisa através do mapeamento de alguns dos principais requisitos ambientais referentes ao ciclo de vida do produto, identificando aqueles que já estão relacionados ou que podem ser vinculados às metodologias de projeto em design.

Subproblema 02:

Quais são as principais diretrizes e a estrutura utilizada para o desenvolvimento de um estudo de ACV, considerando as suas possíveis contribuições e intersecções com o projeto de produtos em design?

Tratamento dos dados e fontes de informação:

A primeira parte da pesquisa investiga a inclusão da preocupação ambiental na área do design, e do uso ou aplicação do conceito de ciclo de vida do produto, identificando o estado da arte relacionado ao tema. Considera-se, também, o enfoque da ferramenta de ACV; das certificações ambientais aplicadas aos produtos industriais; e das políticas públicas nacionais em vigor.

Para tanto, foi conduzido um levantamento histórico bibliográfico em instituições de pesquisa e ensino ligadas ao design e à engenharia, incluindo consulta a periódicos, relatórios de impactos ambientais, jornais e em fontes de mídias eletrônicas. Seguiu-se com a investigação de instrumentos e de bancos de dados que auxiliam no desenvolvimento de uma ACV, selecionando para estudo de caso a lata de alumínio para a indústria cervejeira brasileira.

A comunicação com empresas e profissionais do setor produtivo de chapas e latas de alumínio, além da reciclagem e coleta seletiva, foi considerada nesta fase, a partir da realização de entrevistas dirigidas e de visitas técnicas. Dentre as principais empresas visitadas, pode-se citar a Novelis do Brasil; a Latapack-Ball; o Grupo Petrópolis; a cooperativa de catadores Vira Lata; o escritório de design Designluce; e a Metal Can, responsável pelos testes de impressão do rótulo.

A pesquisa primária se baseou na estrutura analítica linear, na qual são apresentadas as descobertas, as conclusões e as ponderações geradas a partir do estudo empírico, posterior à revisão da literatura específica, sendo considerada como a abordagem padrão na elaboração de relatórios de pesquisa (YIN, 2001). Desta forma, são relatadas as impressões particulares da pesquisadora, que não se encontram em fontes secundárias.

Os dados secundários, por sua vez, tiveram como fontes principais os autores vinculados às áreas do design, da economia e da engenharia, como Packard (1960); Papanek (1995); Stahel (1995); Jensen et al. (1997); Chehebe (2002); Mourad et al. (2002); Sachs (2002); Baumann e Tillman (2004); Guinée (2004); Veiga (2005); Giudice et al. (2006); Silva e Kulay (2006); Baudrillard (2007); Manzini e Vezzoli (2008); Fry (2009); e Sánchez (2010), além da definição de design do ICSID (2012) e dos dados técnicos da ABNT (2000, 2001, 2002, 2004, 2009); ABRELPE (2007, 2010); ABRE e CEMPRE (2008); IBICT (2010); PNRS (2010); e ABCV (2011).

Para a simulação da ACV da lata de alumínio, em particular, os dados foram coletados em ABAL (2007, 2009, 2010); Lima (2007); Nogueira, Silva e Kulay (2010); John (2010); IAI (2011); ABRALATAS (2011); e Revista do Alumínio (2011). O estudo

de ACV usado como referência estrutural para a proposta da autora é da AA (2010). Os estudos nacionais citados são de Valt (2004); Gatti, Queiroz e Garcia (2007); e Stadler et. al. (2010).

A pesquisa traz, assim, um estudo que situa o design como processo de pensamento sistêmico e não somente aplicado ao produto final, tendo em vista a atualidade das metodologias de projeto tradicionais frente às demandas ambientais que progressivamente vêm sendo colocadas como estratégicas para a manutenção da vida hoje e no futuro. O resultado pode colaborar com as pesquisas existentes no campo do design e da sustentabilidade, instrumentando o profissional do design para além do que compreende sua área de atuação, sempre buscando colaborações nas demais áreas do conhecimento.

Capítulo 1

Apresentação

Capítulo 1

Apresentação

O design é uma atividade projetual criativa de concepção e de diferenciação dos produtos industriais. O projeto destes produtos é diretamente influente na geração de impactos ao meio ambiente, uma vez que, assim como qualquer atividade humana, resulta no consumo de recursos naturais (matérias-primas) e energia. A metodologia de projeto em design é importante neste processo, visto que permite (aos designers que a utilizam como referência) esquematizar e definir criteriosamente as melhorias projetuais propostas para o produto.

Neste contexto, coloca-se a importância da possibilidade de incorporar requisitos ambientais já nas etapas de concepção e de desenvolvimento conceitual dos produtos, previamente à sua produção industrial. Para tanto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é considerada como uma ferramenta relevante para a análise do desempenho ambiental dos diferentes produtos e processos. Existem outros instrumentos para quantificar os impactos ambientais, além de certificações e normas, mas esta pesquisa chama a atenção especificamente para a ACV, com recorte no estudo de caso da lata de alumínio para a indústria cervejeira nacional.

O estudo de ACV gera um inventário de impactos ao meio ambiente que define um perfil particular de desempenho ambiental, cabendo nesta dissertação salientar um ponto de intersecção entre a ACV e o projeto de produto em design¹, discutindo a sua validação, ou não, como instrumento de relevância para a formulação de requisitos e parâmetros ambientais para o projeto. O designer, por sua vez, pode utilizar este perfil para consolidar a melhoria ambiental dos produtos já nas fases de concepção e de desenvolvimento, tornando-os mais eficientes em todas as fases subsequentes.

---

¹ Este ponto é chave para as discussões que se seguem nos demais capítulos da dissertação.

1.1 Design de produto e o conceito de sustentabilidade

De acordo com a definição do ICSID, o design tem um papel indispensável para a prática do desenvolvimento sustentável²:

Design é uma atividade criativa cujo objetivo é estabelecer as qualidades multifacetadas de objetos, processos, serviços e seus sistemas, compreendendo todo o seu ciclo de vida. Dessa forma, o design procura identificar e avaliar relações estruturais, organizacionais, funcionais, expressivas e econômicas, visando: ampliar a sustentabilidade global e a proteção ambiental (ética global); fornecer benefícios e liberdade a toda a humanidade, aos grupos e aos indivíduos; fomentar a participação ativa de usuários finais e de produtores, tornando-os protagonistas do processo de geração de valor (ética social); apoiar a diversidade cultural, mesmo com o processo de globalização (ética cultural); dar aos produtos, serviços e sistemas, formas que expressem (semiologia) e sejam coerentes com (estética) sua própria complexidade (ICSID, 2012).

A abrangência atribuída ao campo do design (propositalmente explorada pelo ICSID, uma vez que a restrição por categorias de produtos, por exemplo, tende a reduzir o grau de aplicação conceitual) tornou esta definição ampla e genérica, como sugere o próprio conceito de sustentabilidade ambiental. Sob esta ótica, a atividade de projeto em design que não considerar o ciclo de vida do produto em sua totalidade, bem como os impactos ambientais associados a este ciclo, pode permanecer incompleta ou até mesmo incoerente.

As dimensões da sustentabilidade³ são também abrangentes e envolvem as diversas áreas do conhecimento, incluindo o design de produto, no qual o enfoque está basicamente na melhoria dos processos industriais. O adjetivo “sustentável” é constantemente utilizado para qualificar um crescimento econômico duradouro e estável. Passou a representar, nos últimos anos, uma negativa à incompatibilidade entre o contínuo crescimento econômico e a conservação do meio ambiente, trazendo uma possibilidade de “crescer sem destruir”. A sustentabilidade assumiu sentidos tão diferentes que se distanciou de sua gênese: um conceito da biologia populacional que passou a ser transferido, por analogia, aos sistemas humanos.

---

² O objetivo deste modelo (atender as necessidades do presente sem comprometer a sobrevivência das gerações futuras) já foi amplamente discutido desde a sua proposição, em 1987.

³ Ambientalmente adequada; socialmente justa; e economicamente viável.

Por evocar, em última instância, uma espécie de ética de perpetuação da humanidade e da vida, a expressão sustentabilidade passou a exprimir a necessidade de um uso mais responsável dos recursos ambientais [...] A sustentabilidade não é, e nunca será, uma noção de natureza precisa, discreta, analítica ou aritmética, como qualquer positivista gostaria que fosse. Tanto quanto a ideia de democracia - entre muitas outras ideias tão fundamentais para a evolução da humanidade -, ela sempre será contraditória, nunca poderá ser encontrada em estado puro (VEIGA, 2005, p. 165).

O conceito de sustentabilidade é utilizado, em geral, para classificar a sustentabilidade ambiental, mas possui outras dimensões, podendo-se citar:

- Em primeiro lugar, a sustentabilidade social, vista como a finalidade do desenvolvimento, “sem contar com a probabilidade de que um colapso social ocorra antes da catástrofe ambiental” (SACHS, 2000, p. 71);
- Consequentemente, a sustentabilidade cultural;
- Sustentabilidade do meio ambiente;
- Em consequência, distribuição territorial equilibrada da população;
- Sustentabilidade econômica como necessidade humana;
- Política, que concilia desenvolvimento e conservação da biodiversidade;
- Por fim, sustentabilidade do sistema internacional, com o objetivo de evitar guerras e de administrar o patrimônio da humanidade e estabelecer a paz.

1.2 Design, consumo e desperdício

Nas atuais proporções e padrões de consumo, o designer vive o dilema de conciliar desejos e necessidades dos consumidores com exigências dos fabricantes; viabilidade técnica; atratividade; concorrência; desempenho; inovação; impactos ao meio ambiente; dentre outros. As configurações dos produtos se tornam cada vez mais instáveis e mutáveis, à medida que são influenciadas por atividades que incentivam a ampliação do consumo por meio de rápidas transformações de padrão, como a moda e as estratégias de marketing, somando-se aos desarranjos econômicos e sociais.

De acordo com Packard (1960), a lógica da sociedade de consumo e do desperdício, discutida desde a década de 1960 e, ainda assim, considerada contemporânea por exprimir condições sob as quais os produtos são projetados na atualidade, pode ser resumida por alguns dos seguintes aspectos: indução do consumidor a comprar sempre mais; desgaste programado do produto; substituição x conserto do produto; estímulo ao crediário; paixão pelo “ter”; promoção da autorrealização pelo consumo; etc.

Sob o ponto de vista das ciências sociais aplicadas, das quais o design de produto faz parte, o consumismo está ligado à lógica social, partindo do conceito de satisfação ou de felicidade (alcançada por meio da aquisição de bens materiais). Segundo Baudrillard (2007), houve uma mutação na ecologia da espécie humana, onde os detentores de maior poder aquisitivo não estão rodeados por pessoas, mas sim por objetos. O mercado tem apresentado, cada vez mais, produtos similares com pequenas diferenciações e inovações. A quantidade de lixo gerada nos grandes centros urbanos é um reflexo deste modelo de vida.

Para limitar simultaneamente o uso de recursos naturais e a quantidade de rejeitos no meio ambiente, Stahel⁴ (1995) propõe a substituição do atual sistema linear de produção por um em espiral. Após o desuso do produto, o ideal é reutilizá-lo ainda em sua forma e função originais, como ocorre com garrafas de vidro para cerveja. Na segunda volta do produto, consertá-lo. Na terceira volta, o acondicionamento. Somente na quarta volta se considera o reprocessamento de materiais, ou seja, a reciclagem.

De acordo com Fry (2009), a utilização dos rejeitos de uma cadeia produtiva como insumo de outra (ou da mesma) pode ser uma alternativa para reintegrar o lixo à natureza. No Brasil, existem algumas iniciativas no desenvolvimento de produtos ecológicos em diferentes segmentos do setor produtivo, ainda em fase preliminar de aplicação dos critérios ambientais. Os produtos mais difundidos no mercado são aqueles com selo de certificação dos materiais e, geralmente, são produzidos ainda em pequena escala.

---

⁴ Diretor do Instituto do Ciclo de Vida do Produto em Genebra.

1.2.1 Consequências ambientais

Nesta subseção são consideradas as consequências associadas aos impactos ambientais gerados pela produção industrial de produtos, uma vez que são diretamente influentes no campo de atuação do design. Entende-se por impacto ambiental “o efeito sobre o ecossistema de uma ação induzida pelo homem” (WESTMAN, 1985, p. 5).

Os impactos ambientais causados pelos seres humanos e pelo seu sistema de produção são provenientes de extrações⁵ e emissões de agentes químicos e físicos⁶. Cada modalidade de impacto, portanto, carrega uma troca constante de substâncias entre os sistemas de produção e consumo e o meio ambiente. “Esse sistema, como conjunto de ações humanas na sua complexidade, determinou e continua a determinar uma situação insustentável de carga e descarga para o meio ambiente” (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p. 326).

Os impactos podem ter proporções locais, quando os efeitos danosos não ultrapassam o sítio de produção e arredores (ruas e avenidas); regionais, quando os efeitos se dispersam para regiões vizinhas às regiões industriais; ou globais, quando tomam proporções mundiais. Neste contexto, existem alguns indicadores para estimar o potencial de degradação ambiental de produtos e processos, a partir dos quais são definidas categorias de impactos ambientais utilizadas em estudos de ACV, por exemplo. Alguns dos principais indicadores são:

- Aquecimento global;
- Redução da camada de ozônio;
- Desmatamento;
- Esgotamento de recursos naturais;
- Crise energética;
- Perda da diversidade biológica;

---

⁵ Ato de extrair substâncias e recursos do meio ambiente.

⁶ Refere-se à liberação de substâncias diversas no meio ambiente.

- Desertificação dos solos;
- Aumento progressivo do volume de lixo;
- Poluição do solo, água e ar;
- Chuva ácida.

Outros aspectos são igualmente relevantes neste contexto, como algumas categorias principais de impactos ambientais:

- Depleção (ou diminuição/consumo) de recursos naturais:
  - Depleção de recursos energéticos (DRE);
  - Depleção de recursos materiais (DRM).
- Uso do solo (efeitos diversos sobre o solo);
- Uso de espaço para disposição final;
- Mudanças climáticas (MC);
- Depleção do ozônio estratosférico (DOE);
- Formação de foto-oxidantes (compostos oxidantes na atmosfera) (FFO);
- Acidificação (AC) e eutrofização (EUT) (excesso de compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio numa massa de água, elevando o número de algas);
- Toxicidade humana (TH); e eco-toxicidade (toxicidade no meio ambiente) (ET).

E, dentre as consequências dos impactos ambientais, pode-se citar:

- Exaustão das reservas de componentes utilizados em nosso sistema de produção e consumo, como combustíveis fósseis, por exemplo;
- A chuva ácida, responsável pelo acúmulo de ácido no solo e na água, pode impedir o crescimento das árvores, promover a corrosão de monumentos e edifícios, contaminar as águas, e causar riscos à saúde (como problemas respiratórios) (SÁNCHEZ, 2010);
- O derretimento das geleiras do Ártico e da Antártida representam um alerta para a crise climática. Outros problemas proveem de pragas, proliferação de algas no mar (alimentadas por poluição gerada pela atividade humana), novas doenças, além do retorno daquelas que já estavam controladas, etc.

A geração de lixo urbano e a disponibilidade de espaços para despejar e tratar os rejeitos têm estado em evidência no Brasil. Do total de resíduos sólidos urbanos coletados nos diferentes municípios brasileiros, mais da metade tem destinação inadequada⁷. As consequências são a contaminação do solo e dos lençóis aquáticos, além dos riscos de explosão durante a descarga.

Os locais mais comuns de destinação dos resíduos sólidos são: os aterros sanitários⁸, onde são aplicadas técnicas de engenharia⁹ e normas operacionais para “confinar” os resíduos, a fim de garantir a preservação do meio ambiente e da saúde pública; os aterros controlados, nos quais não há a aplicação destas técnicas; e os lixões, que são vazadouros a céu aberto, ou seja, o lixo é depositado sem qualquer controle (ABRELPE, 2007). A contribuição dos produtos decorrentes da atividade projetual em design é significativa para alimentar este cenário, com destaque para o setor de embalagens.

Em vista das consequências ambientais do modelo de vida contemporâneo, não se pode deixar de colocar que alguns dos avanços alcançados em áreas como da medicina e da comunicação, frutos da revolução científica tecnológica, trouxeram melhorias para a humanidade, mas não são garantia de sabedoria para utilizá-los¹⁰. O design pode contribuir na concepção e no projeto de produtos ambientalmente mais adequados, com o uso destas novas tecnologias.

Para que os produtos e sistemas de produtos gerados a partir de novos processos produtivos tenham um impacto mínimo sobre o meio ambiente, é importante considerar a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), ou seja, a previsão de consequências ambientais futuras de uma decisão, proposta ou ação presente.

---

⁷ Os dados valem para os resíduos coletados (195 mil toneladas/dia), sem contar os não coletados, que somam mais de 10 milhões de toneladas anualmente (ABRELPE, 2010).

⁸ Os problemas na coleta seletiva e a sua não ocorrência em diversas regiões do país tornam comum a presença de materiais recicláveis (plásticos, vidros, metais e papéis) em aterros sanitários.

⁹ Impermeabilização do solo; drenagem superficial; remoção/tratamento do líquido percolado; e cobertura diária dos resíduos depositados.

¹⁰ O poder tecnológico conquistado ao longo dos anos deve ser empregado, por exemplo, para a criação e o desenvolvimento de carros elétricos movidos à célula de hidrogênio; de transportes terrestres híbridos; de painéis solares; de turbinas eólicas; de políticas ambientais que incentivem uma mudança social e cultural; etc.

O campo de aplicação da AIA corresponde ao conjunto de ações humanas, incluindo o desenvolvimento de produtos, sujeito a análises que identifiquem e classifiquem os impactos significativos. “Um adequado planejamento dos estudos ambientais, calcado naquilo que é realmente relevante para a tomada de decisão, é a chave da eficácia da avaliação de impacto ambiental” (SÁNCHEZ, 2010, p. 134). Desta forma, a AIA pode contribuir para a escolha de processos que gerem menores danos ao meio ambiente, podendo, assim, estar associada ao estudo de ACV e, conseqüentemente, à aplicação de certificações ambientais que garantam a conformidade do sistema ou produto avaliado.

1.2.2 Certificações ambientais e a norma ISO 14062

O designer cria produtos para melhorar a vida humana, ao mesmo tempo em que a sua atividade exerce uma profunda influência no meio ambiente. Sendo assim, o design deve ser a ponte entre as necessidades humanas, a cultura e a ecologia (PAPANÉK, 1995). As crescentes preocupações com os impactos ambientais gerados durante o planejamento, a produção e o uso de produtos têm estimulado a difusão de selos de certificação internacionais, que buscam verificar os recursos naturais consumidos, as emissões de carbono do sistema e os resíduos produzidos.

Cabe citar algumas destas certificações: a NBR ISO 14001, que certifica o sistema de gestão ambiental de empresas de qualquer setor, compreendendo, por exemplo, o uso racional de recursos naturais, a proteção de florestas e a preservação da biodiversidade; o selo do Forest Stewardship Council (FSC), que atesta que os produtos florestais (como toras e móveis de madeira) vêm de um processo ecologicamente adequado, socialmente justo e economicamente viável; os diferentes tipos de “selos verdes” ¹¹, baseados em análises do ciclo de vida dos produtos do tipo “berço ao túmulo”; o selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel); e o selo de Alta Qualidade Ambiental (AQUA), para certificação de construções (edifícios) sustentáveis.

---

¹¹ É comum, também, a utilização do termo “rótulos ambientais”.

Em 1996, foram implementadas as primeiras normas para gestão ambiental (ISO 14001 e ISO 14004), que visam reduzir os impactos ambientais gerados na produção (incluindo a obtenção de matérias-primas), transporte, uso e disposição final (descarte) do produto. Desde então, outras normas foram propostas, abrangendo, por exemplo, a auditoria e a rotulagem ambiental e a ACV do produto.

Está representado abaixo (Figura 1) o *Plan-Do-Check-Act* (PDCA)¹², que é um sistema de gestão de qualidade que passou a ser utilizado para diversos propósitos, tornando-se modelo para gerar melhorias sistemáticas e contínuas nos produtos e processos, a partir de suas intersecções com as normas ISO (ABRE; CEMPRE, 2008).

Figura 1 - Roda de Deming (*Plan-Do-Check-Act*) relacionada às normas da série ISO.
Fonte: ABRE; CEMPRE, 2008.

¹² Também conhecido como “Roda de Deming”, proposto por William Edwards Deming na década de 1950, adaptado para diferentes contextos, conforme o diagrama da Figura 1.2.2.1.

A atuação em design (ISO 14062) está diretamente ligada ao planejamento (*Plan*) e ao “fazer” (*Do*), onde a integração dos aspectos ambientais depende de projetos intuitivamente mais eficientes. A série ISO 14040, correspondente à ACV, perpassa todas as partes que compõe o ciclo de gestão de qualidade, visto que descreve o desempenho ambiental dos diferentes produtos.

Este diagrama (Figura 1) representa um ponto claro de intersecção entre a ACV e o projeto de produto em design, já citado anteriormente. A atividade do design pode utilizar o perfil de desempenho ambiental gerado na ACV para efetivar a melhoria dos produtos.

Na fase de projeto do produto, as avaliações de impacto ambiental tendem a ser mais rápidas e objetivas, confrontando possíveis soluções para, posteriormente, individualizar os fatores mais críticos. A norma ISO 14062 (ABNT, 2004) propõe um modelo de integração dos aspectos ambientais no design, considerando a ACV como técnica relevante para as análises ambientais.

Como pode ser visto a seguir (Figura 2), a norma ISO 14062 (ABNT, 2004) pontua alguns critérios para a incorporação da ACV no design, bem como das demais abordagens ambientais que incluem considerações sobre o ciclo de vida, posicionando-os numa estrutura comum de projeto e desenvolvimento do produto. “A integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto busca prevenir os impactos ambientais adversos antes que eles aconteçam. Fornece uma oportunidade sistemática na antecipação dos problemas e suas soluções para todo o ciclo de vida do produto” (ABNT, 2004, p. 6).

Frente à estrutura apresentada, surge uma questão fundamental que diz respeito às possíveis intersecções existentes entre ACV e design: por quais motivos a norma ISO 14062, editada já em 2004, tem sido pouco discutida ou pouco aplicada no campo do design de produto? Da mesma forma, como será abordado no Capítulo 2, algumas discussões sobre design e sustentabilidade também não têm sido incorporadas, apesar do tempo de proposição.

Figura 2 - Modelo de integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto.
Fonte: ABNT, 2004, p. 17.

Primeiramente, prever ou identificar aspectos ambientais é algo complexo, uma vez que não depende apenas da atividade do design, ou seja, envolve estudos de outros campos do conhecimento, além da necessidade de considerar as variáveis de aceitação no mercado e de requisitos legais, por exemplo. Em segundo lugar, desde sua expansão na área gráfica brasileira durante a década de 1950, o design tem se posicionado como propulsor de uma comunicação visual persuasiva, que incentiva o consumismo. Do mesmo modo, a visão de que este é relevante para tornar os produtos mais atrativos visualmente, o afasta de estudos que priorizam a redução do consumo e, conseqüentemente, dos impactos ao meio ambiente.

De acordo com o panorama apresentado no Capítulo 4¹³, é possível dizer que, em alguns dos diferentes segmentos produtivos, o design permanece pouco representativo na indústria, ou seja, não exerce influência significativa no controle e no gerenciamento do ciclo de vida do produto. Mesmo que as recomendações da norma ISO 14062 sejam seguidas por designers, as políticas de importação de produtos e de tecnologia inibem o fortalecimento do design brasileiro (assim como de outras atividades no contexto nacional). É importante considerar, também, que nem sempre o projeto do produto é desenvolvido por designers, que pode ser transferido para outros campos, como da engenharia, por exemplo.

1.3 Apresentação dos capítulos

O Capítulo 1 busca contextualizar o design e o conceito de sustentabilidade ambiental, apresentando as bases conceituais mais significativas para a proposta desta dissertação, além das principais consequências ambientais dos modelos de produção contemporâneos, e as certificações e normas desenvolvidas para reduzir os prejuízos ao meio ambiente dos produtos e processos.

Já o segundo capítulo resgata algumas visões sobre a metodologia de projeto de produto em design, relacionando-as com conceitos de “ecodesign” e de “design sustentável”, tendo em vista a minimização dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto. A revisão das metodologias dos autores selecionados para análise é efetuada a partir de quadros individuais, organizados de acordo com as questões ambientais significativas abordadas ou não nos métodos expostos, tornando possível o apontamento prévio de requisitos ambientais que poderiam ser incorporados, hoje, às propostas dos autores em questão. É traçado, também, um panorama com as análises de cada metodologia, tendo em vista a identificação dos pontos de convergência e divergência, bem como das prováveis complementações, associações e escalas de complexidade.

---

¹³ Referente ao estudo de caso do ciclo de vida da lata de alumínio para a indústria brasileira.

Conforme discutido no Capítulo 3, que apresenta a estrutura e os conceitos que definem a ACV (trazida do campo da engenharia), o uso de ferramentas que busquem quantificar os impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de um produto pode permitir, no design, a previsão de danos ao meio ambiente nas etapas anteriores à produção industrial: de concepção e de projeto. Sendo assim, a metodologia de projeto de produto em design é tida, para esta pesquisa, como referência fundamental para definir e esquematizar criteriosamente as melhorias projetuais a serem incorporadas no produto, incluindo as ambientais.

No quarto capítulo, é realizada uma investigação dos diferentes aspectos envolvidos no ciclo de vida de um produto de ampla produção e consumo nacionais: a lata de alumínio para a indústria cervejeira brasileira. O sucesso de implantação do conceito de “logística reversa”¹⁴ da lata, viabilizada prioritariamente pelo alto valor da sucata de alumínio que converte a atividade de coleta em fonte de renda, favoreceu a simulação do estudo de ACV do produto, uma vez que as empresas responsáveis por sua produção e reciclagem estão organizadas para o controle de suas etapas, havendo uma quantidade considerável de dados disponíveis.

No quinto capítulo são discutidos os resultados obtidos durante a pesquisa, identificando, sistematizando e organizando as diretrizes mais relevantes para a consideração de critérios de preservação do meio ambiente, ao longo do ciclo de vida do produto, tendo em vista a relação dos requisitos ambientais presentes nas metodologias de projeto de produto em design, analisadas no Capítulo 2, com os indicadores de impactos ambientais mapeados a partir da simulação do estudo de ACV da lata de alumínio. Discute-se aí a representatividade da ACV como ferramenta de referência para inserir requisitos ambientais no projeto de produtos industriais.

---

¹⁴ Prática para facilitar o reuso ou a reciclagem dos produtos já consumidos e descartados, definida como o inverso da logística ou como a operação do fluxo físico dos produtos após o seu descarte.

Capítulo 2

Metodologia de projeto de produto em design

Capítulo 2

Metodologia de projeto de produto em design

A etapa de projeto do produto precede a de produção industrial e, em essência, é nela que os profissionais do design têm responsabilidade direta com o objeto concebido, bem como com outros aspectos relacionados à fabricação, comercialização, uso e descarte. Estes profissionais, em grande parte das vezes, adotam métodos particulares de trabalho, a partir de referências metodológicas que variam das clássicas às mais contemporâneas e experimentais. O presente capítulo expõe algumas destas referências, a fim de introduzir a estruturação dos métodos de projeto na produção industrial, relacionando-a com os conceitos de preservação ambiental trabalhados no campo em questão.

2.1 Metodologia de projeto para produtos sustentáveis

O crescimento quantitativo e irrestrito da oferta de produtos industriais no mercado mundial, apontado como fator contribuinte para o agravamento dos problemas ambientais, está intimamente ligado ao trabalho do profissional do design, na criação de novos produtos que contribuam com a permanência deste cenário (FEATHERSTONE, 1995). Aponta-se neste trabalho, assim, a necessidade de inserção de critérios de preservação do meio ambiente no ciclo de vida dos produtos previamente à sua produção: nas fases de concepção e projeto.

A análise de diferentes metodologias de projeto em design, sendo estas clássicas, contemporâneas, ou caracterizadas como abordagem exploratória, permite identificar de que forma cada autor considera critérios ambientais referentes ao ciclo de vida do produto, estabelecendo, assim, associações entre

elas, seja pela possibilidade de inserir parâmetros ambientais específicos, seja considerando a atualidade dos métodos inerentes a cada proposta¹⁵.

Em geral, os métodos mais recentes de projeto em design que consideram questões referentes ao meio ambiente são categorizados como propostas de “design sustentável” ou de “ecodesign”. Estes termos tornaram-se comuns na designação de produtos ambientalmente sustentáveis, ampliando a delimitação e a distinção entre eles¹⁶.

O ecodesign, enquanto terminologia, adota uma definição imprecisa do seu significado, principalmente pelo fato de que os próprios termos que o compõe - ecologia e design - são abrangentes e indeterminados. Conceitualmente, parte do princípio de que, assim como toda e qualquer atividade humana, o projeto de produtos provoca modificações e impactos ao meio ambiente, que podem ser reduzidos caso sejam identificados na etapa de projeto os danos ambientais potenciais de cada etapa do ciclo de vida. Deste modo, pode ser definido como um procedimento projetual no qual o designer não é somente responsável pela eficiência funcional, estética e cultural do produto na fase de uso, mas atuante até as etapas de desuso e descarte final (MALAGUTI, 2005).

De acordo com Silva e Oliveira (2008), os designers ainda encontram dificuldades em aplicar os conceitos de ecodesign em seus projetos, seja por falta de conhecimento prático e específico para sua utilização, seja pela forma como são apresentadas as diretrizes, que incluem a racionalidade no uso do material; o projeto para durabilidade e para otimização da função; o design para desmontar; dentre outros. “Sempre que possível, as diretrizes devem vir acompanhadas de exemplos de aplicações bem sucedidas em produtos que estejam de fato no mercado” (SILVA; OLIVEIRA, 2008, não paginado).

---

¹⁵ Já em 1965, Van Onck propôs uma modalidade abstrata do design, precedente do projeto em si: o “Metadesign”. Segundo o autor, o Metadesign “estuda o movimento dos elementos de um sistema” e pode ser útil na reformulação dos princípios de projeto comuns ao campo em questão. Em análise ao pensamento de Onck (1965), é possível dizer que sua abordagem contribuiria para um método de projeto focado no ciclo de vida do produto, onde o foco se desvia do produto final para o processo ou para a organização dos elementos dentro dos sistemas produtivos.

¹⁶ A pesquisa não busca definir o que é um produto sustentável, mas resgata o estado da arte desta questão, visando a inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto.

Após a realização de entrevistas com designers, Pêgo et. al. (2010) constatou que as dificuldades em inserir parâmetros ambientais no desenvolvimento de produtos estão também relacionadas com a falta de referências voltadas à realidade brasileira, além da complexidade na quantificação de impactos ambientais, geralmente identificados pela ferramenta de ACV¹⁷.

O design sustentável vai além do redesenho de produtos e da escolha dos materiais mais adequados, e caracteriza-se pela capacitação do sistema produtivo para responder às necessidades dos usuários utilizando uma quantidade muito menor de recursos naturais e humanos. Inclui a gestão coordenada de produtos, serviços e dos meios de comunicação, se tornando estratégico, já que busca a redução dos impactos causados ao meio ambiente durante todo o ciclo de vida do produto industrial. De acordo com Manzini e Vezzoli (2008), deve ser desenvolvido por empresas e/ou profissionais dispostos a assumir uma postura socialmente responsável frente aos problemas ambientais.

Desloca o objetivo final de alcançar um elevado desempenho ambiental, para a qualidade do estilo de vida que o uso do objeto sustenta. O design de sustentação começa pela questão absolutamente básica “do que deve ser sustentado e por que”. Significa um maior compromisso com o estilo de vida, a forma de trabalho, a tecnologia, a cultura e a relação entre o tipo de economia, o insustentável e a sustentabilidade (FRY, 1994 apud MALAGUTI, 2005, p. 24).

A quantificação dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida do produto ainda é uma prática imprecisa, visto que são poucos os estudos ou avaliações validadas desta no campo do design. As discussões apresentadas nos próximos subcapítulos resultaram em quadros de análise das metodologias atualmente significativas para o design de produtos, por autor, onde são identificados os métodos de abordagem dos critérios/requisitos ambientais, discutindo a sua explicitação direta, indireta ou inexistente.

---

¹⁷ A ACV, conforme será discutido nos Capítulos 3 e 4, fornece resultados que podem orientar o profissional do design na tomada de decisões durante a atividade projetual, uma vez que algumas das intervenções de projeto, como a proposição de novas matérias-primas, por exemplo, são efetivas e justificadas no design na medida em que se têm dados dos impactos associados ao seu ciclo de vida, de modo a validar as escolhas adotadas.

2.2 Autores e metodologias selecionadas

O ato de projetar implica em decisões de ordem técnica, ergonômica e que envolvam fatores ecológicos e políticos, indo além das exigências criativas, de invenção ou de configuração. Mas pensar em design significa compreender não só os procedimentos e as etapas de desenvolvimento dos produtos, como também os contextos de geração destes, tendo em vista a influência dos processos culturais, socioeconômicos e tecnológicos para o seu desenvolvimento.

A metodologia de projeto de produto em design é fundamental para a sistematização e aperfeiçoamento constante da geração de conhecimento (seja ele linear ou sistêmico, da concepção à simulação da produção dos objetos), além de controlar a subjetividade decorrente do pensamento e das prioridades projetuais. Sendo assim, para que os requisitos ambientais sejam incorporados na concepção dos diferentes produtos industriais, é relevante utilizar uma metodologia que encaminhe tal objetivo.

A apresentação de diferentes metodologias (considerando o tempo e o contexto de cada uma) é realizada com base na seleção de quatro autores do design que trabalham com a questão do método de projeto em suas abordagens e que constituem referência temporal na atuação profissional e na pesquisa no Brasil: Jones (1976), como exemplo de metodologia clássica, precursora da sistematização do processo de projeto; e Kazazian (2005), Manzini e Vezzoli (2008, 2009, 2010) que possuem uma abordagem exploratória, ou seja, mais atual e sensível às questões ambientais. São apresentadas, também, duas ferramentas de ecodesign contemporâneas, desenvolvidas pela Universidade de Delft e UNEP e pela Technical University of Denmark (DTU).

A seleção destes autores está relacionada principalmente à compreensão das várias possibilidades existentes para a incorporação de requisitos ambientais nos métodos de projeto neste trabalho, sem a intenção de esgotar o assunto ou tecer um quadro atualizado do estado da arte sobre este tema.

2.2.1 John Christopher Jones

Jones (1927-) se mantém, ainda hoje, como um dos principais autores de metodologia do design¹⁸. A sua preocupação em evidenciar os sistemas industriais por meio da exposição dos raciocínios e das prioridades projetuais, além dos instrumentos sequenciais empregados, garantiu uma estruturação clara e detalhada dos processos de concepção, planejamento e desenvolvimento dos produtos. O livro *Design Methods* (1970), publicado em espanhol no ano de 1976, apresenta, ainda, um questionamento sobre os reais propósitos e objetivos do design.

Segundo o autor, teóricos da época supunham que os métodos tradicionais¹⁹ do design não seriam capazes de atender à crescente complexidade dos novos objetos que compunham o mundo construído. A constante atualização dos métodos de projeto é evidente e não necessita de justificativas. As grandes dificuldades estão na falta de controle das muitas situações de projeto que, por vezes, são vivenciadas pela primeira vez, e a adoção do procedimento mais adequado ao problema de projeto pode ser demorada e nem sempre inequívoca.

Dentre os métodos descritos por Jones (1976), aqueles de maior interesse para o design quanto ao seu caráter instrumental são: o método de subdivisão do problema, onde a separação deste em subproblemas menores permite análises independentes, fornecendo diferentes arranjos para a composição da solução final; e as técnicas de desenvolvimento de soluções alternativas para os problemas, ou seja, o conjunto de regras gerais para alcançar objetivos também gerais.

Primeiramente, considera-se a ampliação do conhecimento sobre o produto, onde são exploradas as possibilidades do mercado e as necessidades do consumidor. Na sequência, há a exploração criativa, na qual as ideias são contextualizadas no

---

¹⁸ Formado em engenharia, Jones carrega a visão desta área em suas proposições metodológicas.

¹⁹ Jones coloca como métodos tradicionais aqueles baseados na atividade de arquitetos, engenheiros e designers sem a sistematização de caminhos e ferramentas a serem seguidos, ou seja, tinham um caráter redutivo que transformou a metodologia de projeto em “receita” para qualquer situação. Estes métodos são anteriores às propostas desenvolvidas durante as décadas de 1950 e 1960, podendo-se citar Alexander (1963); Archer (1965); Booker (1964); Fielden (1963); e Reswick (1965).

cenário político, social e ambiental. Por último, há a redução de incertezas para que o designer chegue a uma solução ótima (a melhor dentre todas as soluções).

Examinando mais detalhadamente a amplitude do processo de desenho, com o objetivo de incluir tanto o planejamento de sistemas (relações entre os produtos) como os próprios produtos, encontra-se a agregação de outro nível à hierarquia de elementos com os quais tradicionalmente o designer tem estado relacionado. Se ampliarmos o conceito de design e incluirmos os aspectos políticos e sociais do comportamento do usuário, importantes nas relações entre sistemas, há um quarto nível que poderíamos chamar de comunidade (JONES, 1976, p. 26, tradução nossa).

Consideram-se, assim, os níveis básicos compostos por componentes e produtos; o nível intermediário de “sistemas”; e a inserção de um nível mais complexo: a comunidade ou a sociedade. A complexidade aumenta na medida em que o sistema se amplia e incorpora novas variáveis. Tal relação ocorre repetidamente nos processos de projeto, a depender do enfoque e do objetivo pretendido, assumindo um caráter atemporal na história, independente do surgimento de novas complexidades, com as quais os métodos já estabelecidos ficam limitados ou defasados, caso não sejam alterados e atualizados.

A principal dificuldade de qualquer projeto está relacionada à consideração da complexidade de um campo rigoroso de investigação, identificando todos os componentes para facilitar possíveis combinações. Esta variedade é comumente enfrentada pelo atendimento de um único subproblema por vez (sistemas simples), restringindo, assim, as combinações entre os componentes para que o projeto se limite aos elementos cujas relações são percebidas e manipuladas com facilidade. Ao trabalhar com sistemas complexos, nos quais estão presentes juízos de valores e de repertório sociocultural (JONES, 1976), este processo se torna inviável.

Neste ponto, fica clara a necessidade de que os profissionais do design tenham uma visão multidisciplinar do processo de projeto, que extrapola apenas os níveis de intervenção no objeto, incluindo também os sociais²⁰.

---

²⁰ As inovações nos métodos projetuais devem acompanhar as constantes inovações da comunidade, seguindo a finalidade real dos produtos produzidos pela indústria: permitir que uma parcela maior da população tenha acesso a bens materiais antes restritos àqueles com maior poder aquisitivo.

O autor coloca que é comum a introdução de três etapas básicas no processo de design: análise, síntese e avaliação. Estas etapas podem ser definidas como “dividir o problema em partes, organizar de novo as peças em outra ordem e colocá-lo à prova para descobrir, na prática, as consequências da nova organização” (JONES, 1976, p. 55, tradução nossa). Alguns teóricos sugerem que cada ciclo de “análise, síntese e avaliação” é progressivamente menos geral e mais detalhado que o anterior, visto que estão em um constante aprimoramento.

Jones (1976) trabalha estas etapas como “divergência, transformação e convergência”. A “divergência” procura ampliar os limites da situação de design na fase de investigação para buscar a melhor solução de projeto. Nesta etapa, as metas e os objetivos são ainda instáveis e experimentais, e os limites do problema permanecem indefinidos²¹. Para o designer, é importante abandonar as soluções pré-definidas e incrementar o universo de incertezas para reprogramar seus processos mentais habituais.

Pode ser útil considerar a investigação divergente como uma análise de estabilidade e instabilidade de tudo o que está conectado com o problema, uma tentativa de descobrir o que, na hierarquia de valores da comunidade, sistemas, produtos e componentes (e na mente daqueles que tomam as decisões críticas), é suscetível à transformação e ao que se pode considerar como pontos fixos de referência [...] O objetivo do designer é evitar, na medida do possível, a imposição de modelos prematuros em suas descobertas (JONES, 1976, p. 56, tradução nossa).

Na “transformação” é preparado e elaborado o modelo, sendo caracterizada por uma etapa altamente criativa e intuitiva. Esta é a fase de combinação entre os juízos de valores e as possibilidades técnicas, que refletem a realidade política, econômica e operacional do local para o qual o design de um novo produto será sugerido. Pode ocorrer em qualquer momento do projeto, mas a sua aplicação está sempre condicionada a uma eficiente investigação divergente. “Neste contexto, a elaboração do modelo constitui um ato criativo que tem como objetivo a conversão de um problema complexo em algo simples, transformando sua forma e decidindo os pontos a enfatizar e os que devem ser abandonados” (JONES, 1976, p. 58, tradução nossa).

---

²¹ São realizadas, por exemplo, pesquisas de mercado para identificar as propostas concorrentes já existentes, e entrevistas com usuários e empresas, principais interessados no novo produto.

Na última das três etapas, de “convergência”, o designer define uma alternativa única, selecionada dentre todas possíveis. Para isso, é feita uma redução progressiva das incertezas secundárias até chegar a uma última solução, tida como a mais adequada para o fim ao qual se propõe, considerando análises para cada caso em sua especificidade (JONES, 1976).

Conforme apresentado na tabela a seguir (Tabela 1), Jones (1976) propõe que os métodos de projeto em design (hoje considerados clássicos), sejam selecionados de acordo com o cruzamento de inputs e outputs que descrevem requisitos gerais para o projeto de produtos, sistematizados de acordo com as três etapas mencionadas acima.

Por mais que as particularidades de cada estratégia de Jones (1976) sejam notáveis, a divisão em tantos métodos parece redundante, visto que alguns dos critérios são semelhantes e torna-se difícil optar por uma ou outra resolução de problemas (APÊNDICE A). A segmentação também dificulta a visão do processo de projeto como um todo, onde podem ser inseridas quaisquer estratégias, métodos ou ferramentas.

Os critérios de preservação ambiental, por exemplo, não são abordados diretamente, mas o autor cita a importância de considerar o ciclo de vida do produto, no nível de sistema. A clareza das diferentes fases de projeto, ampliando as relações para os sistemas de produtos e para os sistemas sociais, permite inserir novas estratégias em qualquer ponto do processo.

A divisão do problema em partes menores (subproblemas) para a análise independente e o posterior reagrupamento, compondo diferentes soluções finais, é a que melhor contempla o trio “análise, síntese e avaliação”, sendo uma estratégia tradicional para qualquer projeto, como a regra de três na matemática.

Tabela 1 - Input-output para a seleção de métodos de design.

OUTPUTS → INPUTS ↓	2 Situação de desenho explorada	3 Estrutura do problema percebida ou transformada	4 Limites, subsoluções descritas/ conflitos	5 Subsoluções combinadas em desenhos alternativos	6 Desenhos alternativos avaliados e desenho final
1 Ordem transmitida	- Definição de objetivos - Investigação da literatura - Investigação das inconsistências visuais - Entrevista com usuários - Brainstorming	- Sinestesia	- Quadros morfológicos - Investigação das inconsistências visuais - Brainstorming	- Sinestesia	- Cambio de estratégia - MFD de Matchett
2 Situação de desenho explorada		Definição de objetivos/ Registro e redução de dados/ Matriz de interações/ Rede de interações/ Classificação da informação/ Especificações escritas		- Transformação do sistema - Inovação funcional - Método de Alexander	
3 Estrutura do problema	Investigação da literatura/ Questionários/ Comportamento do usuário/ Ensaios sistemáticos/ Seleção de escalas de medição/ Registro de dados		Investigação dos limites/ Ensaios sistemáticos/ Brainstorming/ Quadros morfológicos/ Critérios de seleção/ Classificação e ponderação/ Especificações	-Brainstorming - Sinestesia - Transformação do sistema - Inovação por alterações de limites	Investigação sistemática/ Análise de valores/ Engenharia de sistemas/ Desenho do sistema homem-máquina/ Investigação dos limites/ Estratégia acumulativa de Page
4 Limites, subsoluções descritas/ conflitos		Sinestesia/ Desaparição do bloqueio mental/ Transformação do sistema/ Inovação por alterações de limites/ Inovação funcional/ Método de Alexander		Brainstorming - Sinestesia - Desaparição do bloqueio mental	
5 Subsoluções combinadas em desenhos alternativos					Análise de valores/ Questionários/ Comportamento do usuário/ Ensaios sistemáticos/ Seleção de escalas de medição/ Lista de dados/ Critérios de seleção/ Classificação e ponderação/ Especificações escritas
6 Desenhos alternativos avaliados e desenho final					

Fonte: JONES, 1976, p. 72, tradução nossa.

2.2.2 Thierry Kazazian

Para Kazazian (2005)²², o designer deve considerar todas as etapas (ou parte delas) envolvidas no sistema do produto, de modo que seja possível aperfeiçoar os processos de concepção, projeto, produção, comercialização e destinação final. Para ele, o ideal é que os ciclos industriais (artificiais) estejam integrados aos ciclos da natureza, a fim de reduzir efetivamente os impactos ambientais causados durante toda a vida do produto.

Neste contexto, o autor trabalha com conceitos de interdependência, tempo, ciclo e “optimum”²³. A natureza se torna fonte de inspiração para novas propostas industriais e empresariais, modificando a relação indissociável homem-natureza-objeto. “Produzir sem destruir e conceber um objeto do cotidiano, do mais elementar ao mais sutil, tornando seu uso durável e seu fim assimilável por outros processos de vida, deve ser a finalidade de uma reflexão global que consideraria a complexidade dessa relação” (KAZAZIAN, 2005, p. 28).

Sob esta ótica, a palavra “globalização” compreende o alcance da equidade social e ambiental, onde o meio socioeconômico e a biosfera são interdependentes. “As empresas podem iniciar intercâmbios de matérias-primas secundárias em um mesmo parque industrial, cooperar com empresas complementares para novas ofertas comuns, e manter intercâmbios com as partes envolvidas, como as instituições, os investidores” (KAZAZIAN, 2005, p.34).

A visão empresarial tradicional considera um modelo linear de produção, onde as intervenções das empresas e do mercado são unilaterais, ou seja, são vistas de forma segmentada e individual. Uma nova visão busca integrar todos os elos da cadeia produtiva, articulando o conceito de ecodesign na roda da “ecoconcepção” (Figura 3), cujo principal objetivo é desenvolver uma economia “leve”, onde haja a previsão e a redução de impactos ambientais durante todo o

---

²² Kazazian foi um dos fundadores da rede O2 France, em 1988, primeira rede internacional de designers que trabalham em acordo com os princípios de preservação do meio ambiente.

²³ Do latim “optimus” (o melhor) e “opis” (abundância), ou seja, o estado mais favorável.

ciclo de vida do produto: da concepção ao fim de vida. Torna-se clara, assim, a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para que o ecodesign seja praticável, não só do ponto de vista da preservação ambiental, mas incluindo valores sociais, econômicos e mercadológicos.

Figura 3 - RODA DA ECOCONCEPÇÃO, por Manual *Promise* do Pnuma e O2 France.
Fonte: KAZAZIAN, 2005, p. 37.

O tempo, regulador de todos os ciclos e de todas as interdependências, também faz parte das dimensões discutidas por Kazazian (2005), visto que nas sociedades contemporâneas ele é cada vez mais curto e se reflete nos produtos produzidos. “É o tempo do consumo, da impaciência. Encolhido, precipitado, acelerado ainda pelo marketing, que, favorecendo a renovação incessante da oferta de objetos e opções inúteis, participa do aumento exponencial do volume dos resíduos” (KAZAZIAN, 2005, p. 40).

De acordo com este cenário, todas as empresas, adeptas ou não da economia leve, devem considerar o tempo de renovação dos recursos e matérias-primas (renováveis ou não). “As matérias-primas renováveis são produzidas pela natureza e transformadas pelo homem. Seu tempo de renovação é inferior ou igual ao de uma vida humana. Trata-se de materiais de origem vegetal ou animal, como a madeira, o algodão ou a lã” (KAZAZIAN, 2005, p. 42).

Somente a gestão eficiente de exploração destes materiais pode garantir a renovação dos recursos, como ocorre no manejo florestal ecologicamente adequado, certificado pelo selo do FSC²⁴, que considera a extração de árvores de acordo com seu tempo de vida: são extraídas as árvores avós, que por vezes até dificultam o crescimento de novos arbustos, contribuindo com a renovação da floresta (o velho dá lugar ao novo).

Já os recursos não renováveis estão em quantidade limitada no planeta, podendo-se citar o petróleo, o carvão e a bauxita. “A duração de sua reconstituição é muito superior à da vida humana - às vezes de milhões de anos. Utilizadas de forma intensiva, as reservas hoje em dia se esgotam sem que uma gestão a médio ou longo prazo tenha sido implementada” (KAZAZIAN, 2005, p. 42).

Como solução alternativa para essa problemática, as empresas podem responder às demandas sociais de satisfação não pela oferta de produtos, mas pela oferta dos seus serviços. “De fato, o produto é apenas o suporte de um serviço prestado, um intermediário que deve assegurar a qualidade da prestação a ser realizada” (KAZAZIAN, 2005, p. 43). As empresas, assim, se tornam responsáveis pela gestão dos serviços prestados aos clientes, que vão além do lançamento constante de produtos no mercado, considerando as necessidades dos usuários, a intensificação e o compartilhamento do uso do produto.

A dificuldade em instituir uma sociedade “de uso” reside nas transformações paradigmáticas de caráter culturais, governamentais, econômicas e produtivas que

---

²⁴ O selo do FSC (*Forest Stewardship Council*) atesta que o produto florestal, tanto as toras de tronco de árvores quanto os próprios móveis de madeira, por exemplo, vem de um processo produtivo ecologicamente adequado, socialmente justo e economicamente viável.

se fazem necessárias para alcançar tal objetivo. A “civilização industrial” se organiza de forma contrária ao fluxo contínuo de evolução e de recomposição, ou seja, é linear e unidirecional.

As matérias-primas são extraídas da natureza, depois transformadas em produtos acabados para abastecer o mercado, produzindo resíduos que representam sua única devolução para a biosfera. Daí um duplo desequilíbrio: de um lado, o esgotamento dos recursos naturais, de outro, um aumento crescente dos resíduos provenientes do consumo, que são fontes de poluição (KAZAZIAN, 2005, p. 51).

Kazazian (2005) propõe que os ciclos de vida dos produtos industriais sejam pensados em fluxos fechados, onde o foco da empresa está no controle do ciclo de vida do produto, possibilitando sua reutilização e valorização pós-consumo. Isso já é comum na indústria de eletrônicos ou, no caso das embalagens, na cadeia reversa da lata de alumínio.

Figura 4 - Solução de reutilização e de valorização do produto, por O2 France.
Fonte: KAZAZIAN, 2005, p. 54.

A valorização é etapa fundamental para a concepção e o desenvolvimento de produtos que integrem a variável ambiental (Figura 4), já que permite o retorno dos materiais ao ciclo produtivo, seja pela reciclagem, como matéria-prima secundária, seja pelo reaproveitamento energético ou pela simples atividade de compostagem²⁵.

²⁵ Conjunto de técnicas para controle da decomposição dos materiais orgânicos.

Um estado ótimo, ou “optimum”, só pode ser alcançado se houverem fortes alterações nos padrões de consumo já instaurados, onde a economia predatória ultrapassa os limites de uso dos recursos. Uma economia “leve”, porém, é utópica, e se relaciona com o conceito de “desmaterialização”, que visa diminuir o fluxo de matérias-primas necessárias para o perfeito funcionamento dos sistemas humanos. Assim, o crescimento econômico se desassocia da exploração de matérias-primas, priorizando, por exemplo, valores de origem imaterial, como os conhecimentos científicos e tecnológicos (KAZAZIAN, 2005).

Desta forma, o autor propõe uma mudança de paradigma da sociedade, sempre permeando as ações do design de produto quanto à concepção dos produtos e serviços que comporão a economia “leve”, entretanto sem estabelecer uma metodologia propriamente dita para encaminhar e sistematizar esta proposta.

2.2.3 Ezio Manzini e Carlo Vezzoli

Nesta subseção são apresentados alguns dos principais conceitos discutidos pelos autores Manzini²⁶ e Vezzoli²⁷. Posteriormente, é traçado um paralelo com suas abordagens mais recentes, propostas de modo individual, redirecionando seus trabalhos e complementando princípios e conceitos básicos das pesquisas realizadas conjuntamente por ambos na década de 1990²⁸.

Os autores colocam que o termo “design industrial”, nos dias atuais, não é aplicável somente ao produto físico, mas se estende ao sistema do produto, que compreende o produto, o serviço e a comunicação. A atividade do design pode ser definida como a ponte entre o tecnicamente possível e o ecologicamente

---

²⁶ Manzini é professor de Desenho Industrial no Politécnico de Milão e coordenador do doutorado em Desenho Industrial e do Comitê Científico do Mestrado em Design Estratégico.

²⁷ Vezzoli é professor de *Environmental Requirement of the Industrial Product (Life Cycle Design)* e de Design de Sistemas para Sustentabilidade no Politécnico de Milão, sendo também diretor da Unidade de Investigação em Design e Inovação Sustentável (DIS).

²⁸ Expostos no livro *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. A primeira publicação é de 1998, em italiano. No ano de 2002 foi publicado na língua portuguesa. Neste trabalho, utiliza-se a segunda reimpressão em português, de 2008.

necessário, elaborando propostas que sejam aceitas pela sociedade. Neste contexto, são propostos quatro níveis de interferência do design em relação à preservação ambiental:

1. **Redesign do existente:** as escolhas são mais técnicas e não requerem mudanças nos estilos de vida e consumo;
2. **Projeto de novos produtos ou serviços que substituam os atuais:** requer propostas que sejam válidas e aceitas socialmente. Ex.: carros elétricos;
3. **Projeto de novos produtos e serviços “intrinsecamente” sustentáveis:** trata-se de um novo “mix” de produtos e serviços que deve ser socialmente aceito, a fim de superar a inércia cultural e comportamental dos consumidores. A empresa que seguir por este caminho se arrisca em um mercado indefinido, mas pode gerir um novo negócio, de caráter inovador;
4. **Proposta de novos cenários que produzam “estilos de vida sustentáveis”:** proposta de novos critérios de qualidade que colaborem com a sustentação do meio ambiente, além de serem socialmente e culturalmente aceitáveis.

A divisão em níveis é válida, mas os conceitos merecem aprofundamento por parte de quem os acata, podendo trazer incompreensões não desejáveis e reduzir sua aplicabilidade prática. O último nível, sobre a construção de um cenário sustentável, de acordo com os próprios autores, requer uma ação conjunta (multi ou interdisciplinar) que vai além do design e envolve as instituições, a sociedade e a política. Atualmente, os dois últimos níveis são os mais relevantes, já que não basta apenas reprojetar aquilo que já existe, sendo preciso criar produtos ou serviços que gerem uma mudança nos hábitos de consumo.

É evidente que o sistema produtivo e de consumo da sociedade sustentável será profundamente diferente do que até hoje conhecemos. E de tal forma diferente, que nenhuma modificação de cunho parcial, nenhuma inovação de incremento das tecnologias aplicadas, nenhuma operação de redesign de tudo que hoje existe poderia resolvê-lo (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p.30).

Estão representados abaixo (Gráfico 1) três caminhos (eficiência, suficiência e eficácia) que sugerem maior ou menor interferência para alcançar o nível ideal de sustentabilidade, buscando a harmonia entre a máxima mudança cultural e tecnológica.

Gráfico 1 - Representação de sobreposição dos três gráficos “Redesign do existente” (eco-redesign) e “Soluções sustentáveis” (sustentabilidade); “Eficiência, suficiência e eficácia”, e “Percurso para a sustentabilidade”. Fonte: MANZINI; VEZZOLI, 2008, p. 37, p. 39, p. 41.

Na **eficiência**, parte-se de produtos limpos e recicláveis para alcançar soluções de ecologia industrial com *tecnociclos* (mudança aliada à tecnologia). Os percursos da **suficiência** consideram os atuais produtos biodegradáveis e biológicos, chegando a uma ecologia industrial com *biociclos* (mudança aliada à cultura). Já na **eficácia**, ponto máximo do gráfico, os produtos e serviços com baixa intensidade material (ecoeficientes) representam uma ecologia industrial mais racional.

Deste modo, a sustentabilidade ambiental pode ser alcançada por caminhos distintos, considerando as possibilidades de combinações entre os diferentes percursos. O atual sistema de consumo de produtos individuais poderia, por exemplo, ser substituído por um “mix” de produtos-serviço para uso coletivo, com gestão de terceiros (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Os desafios para institucionalizar esta economia são, em grande parte, de origem social e cultural, visto que a lógica de mercado já consolidada nas sociedades ocidentais não considera a prestação de serviços mais prioritária do que a posse individual do produto.

As constantes inovações tecnológicas demonstram um potencial de migração do setor de produtos físicos para o setor de serviços. Este cenário se relaciona com o design estratégico e com o planejamento das empresas, onde as novas dinâmicas e os custos ambientais podem redefinir a própria ideia de trabalho. O conceito de “sociedade sustentável” implica na coexistência multipolar dos sistemas produtivos; das diferentes áreas de atuação profissional; da transição harmônica entre a eficiência produtiva e as atividades informais; e das relações virtuais juntamente com relações diretas de vizinhança (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Convém pensar em uma economia em que as empresas não mais vivam da produção e da venda de produtos, mas dos seus resultados - não automóveis, mas mobilidade; não máquinas de lavar roupa, mas limpeza e manutenção do vestuário. Um produtor que oferece resultados (isto é, que oferece um mix de produtos e serviços para chegar a eles) pode desenvolver suas atividades mesmo reduzindo o consumo de materiais (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p. 52).

Ao profissional do design não cabe projetar a sociedade sustentável e o seu respectivo estilo de vida, mas dar condições para que estilos de vida sustentáveis se tornem praticáveis. Por meio das orientações culturais e de consumo, o projetista pode propor soluções que tornem pontos fracos em oportunidade. O mercado pode se expandir e, ao mesmo tempo, criar novos padrões de qualidade e de produtividade, gerando perspectivas futuras, e não em curto prazo como ocorre atualmente (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Os autores propõem, também, algumas estratégias para integrar requisitos ambientais no design, considerando o conceito de ciclo de vida do produto, dentre elas: minimização do uso de recursos naturais ou redução do gasto com materiais e energia; escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental; melhoria dos processos produtivos; otimização da vida do produto (durabilidade); extensão da vida útil dos materiais ou valorização dos materiais descartados; separação dos materiais tóxicos e perigosos; e facilidade na desmontagem (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Além disso, são apontadas as seguintes referências:

- Durabilidade adequada: produtos sujeitos às rápidas mudanças tecnológicas, que sempre se tornam ultrapassados, não são indicados à durabilidade;

- Segurança (confiabilidade): garantia de qualidade;
- Fácil atualização e adaptabilidade: produtos envelhecidos tecnologicamente podem manter-se em uso pela troca das partes ultrapassadas. O ideal é que o produto seja intercambiável, modular e “reconfigurável”, a fim de acompanhar a evolução cultural;
- Fácil manutenção: evita os custos ambientais e econômicos causados pela eliminação de componentes do produto ou pela produção de substitutos;
- Reparo e Reutilização: um produto bem reparado será bem reutilizado;
- Facilitar a “refabricação”: produtos que sofreram danos durante o uso podem ser refabricados para retornar às condições originais. Isto é comum em peças de custo alto ou quando a mutabilidade é baixa, como em motores de avião ou móveis de escritório;
- Intensificação do uso: uso compartilhado ou coletivo.

Mesmo com estratégias preliminares, ainda restam dúvidas sobre os reais impactos ambientais envolvidos nas diferentes etapas dos processos produtivos. Cada produto tem um contexto particular para definição das diretrizes ambientais a serem adotadas. O conhecimento sobre o meio ambiente é limitado e muito complexo para ser definido em um único modelo.

De modo geral, Manzini e Vezzoli (2008) consideram as questões ambientais sob o enfoque do desenvolvimento de produtos com baixo impacto ambiental, dando importante atenção às estratégias de design necessárias para alcançar tal objetivo. Estas estratégias, conforme apresentado, concentram-se na inteligência do sistema produtivo e no aporte do conceito de ciclo de vida, essencial para obter produtos “ecoeficientes”.

Em outros trabalhos, os autores apresentaram propostas complementares aos métodos anteriores. Manzini (2008) se ateve ao design de serviços e às redes colaborativas, baseadas em inovações sociais. Vezzoli (2010), por sua vez, tem desenvolvido métodos de projeto voltados para a análise do ciclo de vida do produto e para os sistemas sustentáveis.

Manzini (2008) discute que o ideal de inovação social se estende às relações humanas e aos modelos de vida das sociedades contemporâneas, das quais o design (e demais áreas do conhecimento) faz parte. “O termo *inovação social* refere-se a mudanças no modo como indivíduos ou comunidades agem para resolver seus problemas ou criar novas oportunidades. Tais inovações são guiadas mais por mudanças de comportamento do que por mudanças tecnológicas ou de mercado” (MANZINI, 2008, p. 61 e 62).

Iniciativas espontâneas de comunidades autossuficientes²⁹, que se organizam através do trabalho cooperativo para resolver problemas cotidianos, são representações do conceito de “comunidades criativas” discutido por Manzini (2008). O autor sugere não somente um novo modelo de design, baseado no decréscimo do produto, mas propõe um novo contexto social e econômico, composto por grupos de indivíduos que atuam localmente, mantendo, em paralelo, ações de alcance global.

Para Manzini (2008), o designer pode interagir com essa “sociedade que se mostra como uma trama de redes projetuais” como um “especialista do design”, que atua em duas modalidades principais: projetando *em* e projetando *para* as comunidades criativas.

A primeira modalidade exige novas habilidades do design, tais como: “promover a colaboração entre diferentes atores sociais [...] participar na construção de visões e cenários compartilhados; e combinar produtos e serviços já existentes para suportar a específica comunidade criativa” (MANZINI, 2008, p. 97). Já na segunda modalidade, o design poderia intervir sob os contextos das comunidades. “Isto significa conceber e desenvolver soluções habilitantes para organizações colaborativas específicas e/ou outras iniciativas facilitadoras tais como plataformas, cenários e eventos catalisadores (como por exemplo, exposições, festivais e outros eventos culturais)” (MANZINI, 2008, p. 97).

---

²⁹ Em desenvolvimento principalmente na Europa.

De acordo com esses conceitos e com os novos direcionamentos para o design e para as sociedades, é possível dizer que os trabalhos desenvolvidos por Manzini se distanciaram da abordagem do ciclo de vida do produto e de avaliações técnicas. O foco está principalmente no viés social, associado à promoção de modos de vida alternativos, onde a procura por bem-estar e as relações interpessoais são flexíveis e, ao mesmo tempo, mais estreitas.

Já Vezzoli (2010) manteve-se atento ao aprimoramento técnico dos métodos de projeto em design, buscando a incorporação de ferramentas de análise do desempenho ambiental. Dentre estas ferramentas, o autor considera que a ACV é a mais popular e confiável para auxiliar na definição de prioridades e, ao final do projeto, para validar a redução de impactos ou fornecer dados para que o produto seja reprojeto de forma mais eficiente.

Sob este enfoque, o design deve minimizar a participação dos produtos nos efeitos de degradação do meio ambiente. No contexto atual, o LCD é a disciplina mais adequada para inserir requisitos ambientais no processo de projeto. O objetivo do “design do ciclo de vida” é reduzir tanto a entrada de matéria e energia quanto os impactos das emissões e dos resíduos gerados, resultando em um estudo quantitativo e, ao mesmo tempo, qualitativo, que supõe analisar os danos causados em cada etapa do ciclo de vida do produto (VEZZOLI, 2010).

É mais efetivo e barato prevenir os danos ao ambiente, nesse estágio de projeto, do que tentar remediá-los depois que o produto já está no mercado. A importância de uma abordagem de ACV é, portanto, identificar e mostrar, de forma conjunta, as vantagens ambientais, econômicas e competitivas, ou seja, intervir na origem, identificando as oportunidades para a ecoeficiência (VEZZOLI, 2010, p. 67).

O *Method for Product Design for Environmental Sustainability* (MPDS) é resultado de mais de quinze anos de pesquisa e consultoria a empresas, instituições públicas e associações. O objetivo central do MPDS é unir teoria e prática para permitir que o método se torne um instrumento de projeto de produtos com baixo impacto ambiental (Tabela 2).

O autor exemplifica a aplicação do MPDS no projeto de uma máquina para café, desenvolvendo a ACV de outra máquina similar já existente. O confronto dos resultados da ACV com o projeto do novo produto permitiu identificar os pontos críticos, que resultaram na seleção de seis critérios ambientais: conservação de recursos; redução da toxidade; extensão da vida do material; redução do gasto com energia; redução material; e intensificação do uso.

Tabela 2 - Objetivos e processos do método MPDS correspondentes à fase de projeto do produto.

Fase projetual	INTEGRAÇÃO MPDS	
	Objetivo (design para a sustentabilidade ambiental)	Processo (design para a sustentabilidade ambiental)
Análise estratégica (Briefing)	Avaliar as áreas críticas e as áreas com maior potencial de melhoramento dos níveis de sustentabilidade ambiental do produto; definir o objetivo final do projeto (a função que atenderá o produto, o contexto e a modalidade de uso...); e a estratégia principal de redução do impacto ambiental a ser utilizada na fase de projeto.	ACV de um tipo de produto já existente como orientação para o design sustentável
		Definição das prioridades de projeto ambiental
		Síntese das prioridades ambientais do projeto / design
Projeto do conceito	Definir as características fundamentais do projeto / produto final que permitirão uma redução do impacto ambiental em comparação às alternativas existentes.	Geração de ideias centradas no desenvolvimento sustentável
		Verificação do conceito de sustentabilidade: redefinição da prioridade ambiental e/ou escolha do conceito mais promissor.
Projeto do produto (engenharia)	Definir os detalhes de projeto que trarão ao produto final uma alta qualidade ambiental.	Escolha do processo e do detalhamento de projeto com menor impacto ambiental.
Comunicação	Comunicar as características do produto destacando os aspectos relacionados com a sustentabilidade ambiental.	ACV para avaliação comparativa dos tipos de produto para comunicação.
		Redação do documento de comunicação da qualidade ambiental do produto.

Fonte: VEZZOLI, 2009, p. 73, tradução nossa.

O MPDS, desta forma, é o método que mais se aproxima da incorporação de requisitos ambientais no projeto de produto em design, uma vez vinculado ao estudo de ACV, mesmo que ainda não estejam totalmente detalhados os procedimentos adotados para chegar aos critérios ambientais prioritários ou para o cálculo do desempenho ambiental. Cabe salientar que a exploração do MPDS tem ocorrido no contexto europeu, ou seja, não são fornecidos parâmetros diretos para seu desenvolvimento e para sua aplicação na realidade brasileira³⁰.

2.2.4 Algumas considerações sobre os métodos do design

Algumas considerações sobre as posições dos autores podem ser colocadas, relacionando-as com conceitos de outros autores importantes da área do design, como Papanek (1995); Baxter (2000); Löbach (2001); Bürdek (2006); e Bonsiepe (2011)³¹, estabelecendo associações comparativas e contextuais.

A complexidade dos produtos desenvolvidos a partir da segunda metade do século XX foi uma das razões para o surgimento de estudos pioneiros sobre os métodos de projeto de produtos nas décadas de 1950 e 1960. Até os anos 1970, a metodologia de projeto em design seguia o método de Descartes (1637), no qual soluções específicas resultam em uma solução geral. Esse modelo serviu bem aos propósitos e aos conceitos do período funcionalista, mas mudanças sociais, econômicas e filosóficas exigiram novas abordagens.

Os anos de 1970 foram marcados pelo esforço em estabelecer o design como ciência, alterando a configuração de proposições metodológicas mais descritivas para a elaboração de modelos de regras gerais para o campo (BÜRDEK, 2006). Traços atemporais e a flexibilidade estrutural parecem ter se tornado premissas para os métodos da época.

---

³⁰ Este método é tido como referência para as proposições desta pesquisa, que buscam incorporar requisitos ambientais na metodologia do design tendo em vista o uso da ACV no contexto brasileiro.

³¹ A pesquisa não buscou analisar os métodos destes últimos autores, visto que os conceitos por eles discutidos são utilizados apenas para estabelecer associações com as metodologias selecionadas.

O livro de Jones (1970) é tido como uma das principais publicações em metodologia de projeto de produto, sendo utilizado ainda hoje para o ensino do design, visto que traz um questionamento sobre seus reais propósitos e objetivos. Pela primeira vez, a ergonomia e o usuário (em conjunto) foram foco de estudo do design, considerando sua evolução paralelamente às evoluções da engenharia, articulando critérios de projeto e sua aplicabilidade prática, de acordo com as demandas culturais e tecnológicas recém-instauradas.

Traçando um paralelo, Baxter (2000) apresenta um esquema de projeto semelhante ao de Jones, só que orientado às necessidades contemporâneas do consumidor e do mercado. A ACV é colocada pelo autor como uma técnica analítica que pode ser útil ao design para gerar novos conceitos no desenvolvimento de produtos, considerando todas suas etapas. Tendo em vista que as proposições ocorreram em tempos distintos, existe a possibilidade de que Jones (1976) tenha influenciado indiretamente, já que o autor não faz referência ao primeiro, mas alguns dos métodos e ferramentas inseridos são coincidentes.

A metodologia projetual, um tema que hoje em dia não provoca mais polêmica, foi alvo de muito interesse. [...]... O processo projetual era considerado um processo decisório e de resolução de problemas. Tratava-se de libertá-lo da aura de subjetividade e encontrar procedimentos seguros para ajudar a resolver problemas complexos. Claramente, foi reconhecido que a criatividade só tem valor quando estiver associada à competência e ao know-how profissionais. Na perspectiva atual, o ponto fraco desse enfoque da metodologia tradicional está na deficiência para detectar e localizar problemas (BONSIEPE, 2011, p. 191).

Na citação acima, Bonsiepe coloca a metodologia de projeto em design como forma de controle da subjetividade, ou seja, como sistematização do pensamento projetual. As reflexões do autor explicam, em parte, o constante posicionamento da metodologia como um exercício acadêmico e não como peça fundamental para a atividade profissional do designer. Em análise, os métodos de projeto tradicionais devem evoluir e ser complementados, o que já ocorre de modo informal na prática, visto que as condicionantes temporais, tecnológicas, ambientais e geográficas se encontram em rápida transformação.

Para Papanek (1995), o futuro do design está intimamente ligado às várias disciplinas que constituem a matriz “socioeconômico-política”, da qual este faz parte. Os produtos futuros devem ser mais atemporais, tendo em vista a amplitude dos problemas ambientais.

De acordo com Löbach (2001), o design está diretamente relacionado à solução de problemas, sendo definido como uma atividade de projeto, plano ou ideia que se traduz em forma de produto, cuja configuração corresponde a uma demanda pré-determinada. Seguindo este raciocínio, pode-se dizer que os problemas ambientais necessitam de soluções de design para reduzir o gasto de materiais durante os processos produtivos, por exemplo.

Segundo Bonsiepe (2011), as principais diferenças existentes entre os métodos de projeto em design propostos nos anos de 1960 a 1980 e os métodos propostos a partir de 1990 estão relacionadas ao surgimento do ecodesign, quando a priorização dos critérios de preservação do meio ambiente se tornou efetiva. Kazazian é um dos precursores na propagação deste conceito, defendendo que os sistemas produtivos devem ser vistos a partir de uma “ecologia industrial”, permanecendo análogos aos sistemas naturais, a fim de gerar um fluxo fechado para economia de recursos naturais em todas as etapas do ciclo de vida do produto.

Vezzoli e Manzini (2008), por sua vez, trabalham com o conceito de *Life Cycle Design* (LCD), ou “design do ciclo de vida”, que considera todas as etapas do produto (pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte) durante o projeto, a fim de evitar impactos ambientais que podem ser identificados previamente à produção industrial. Sob esta ótica, o design passa a ter uma abordagem sistêmica, em oposição à estrutura linear de projeto dos métodos mais tradicionais.

Considerou-se, assim, a defasagem de tempo entre as metodologias e as questões ambientais contemporâneas significativas ao campo do design. Por este motivo, os métodos selecionados não são comparáveis, uma vez que cada um foi desenvolvido em um contexto particular, que envolve recortes temporais, locais, políticos, sociais, dentre outros.

2.2.5 Novas ferramentas de ecodesign: UNEP e DTU

Os métodos do *Design for sustainability* (D4S) têm sido desenvolvidos desde 1997 pela Universidade de Delft, em conjunto com a UNEP³², e buscam abordar a sustentabilidade e a inovação sob um viés ambiental, sempre vinculado aos fatores de influência social. Deste modo, o projeto pode abranger, em paralelo, aspectos econômicos, sociais e ambientais, onde a qualidade e a eficiência dos produtos e serviços estão associadas ao ambiente natural.

Observa-se que o principal diferencial do D4S em relação aos métodos tradicionais comuns ao design é a consideração simultânea da sustentabilidade e da inovação (Gráfico 2), apresentando um passo a passo para análises qualitativas e quantitativas das diversas questões presentes no ciclo de vida do produto. Sua estrutura é similar a de um manual, composto por formulários de trabalho (*worksheets*). É dividido em três etapas: análise das necessidades do projeto de acordo com os contextos econômico, ambiental e social; redesign para a melhoria de um produto já existente ou para o desenvolvimento de novas propostas; e *benchmarking*, que visa comparar produtos similares para ver qual é mais competitivo e/ou sustentável.

Gráfico 2 - Graus de melhoria ambiental e tipo de inovação necessária.
Fonte: adaptado pela autora de UNEP, 2009, p. 30.

³² United Nations Environment Programme.

A exploração de exemplos práticos facilita a compreensão dos métodos do D4S. Seguindo esta linha, a ferramenta de DTU³³ apresenta um guia de melhoria ambiental através do desenvolvimento de produtos. Para isso, as estratégias são divididas em sete passos básicos (Figura 5) que expõem as experiências do projeto: descrição do contexto de uso; visão geral dos impactos ambientais; criação do perfil ambiental e identificação das causas de impactos; desenho da rede de interesse; quantificação dos impactos ambientais; criação de conceitos ambientais; e desenvolvimento de uma estratégia ambiental (MCALOONE; BEY, 2009).

Na fase de criação de conceitos ambientais, são discutidos princípios de ecodesign, dentre eles: redução da intensidade material e de energia do produto; aumento da quantidade de materiais reciclados e recicláveis; incorporação de aspectos ambientais; design do ciclo de vida antes do projeto do produto em si.

Figura 5 - Os sete passos para a melhoria ambiental.
Fonte: adaptado pela autora de MCALOONE; BEY, 2009, p. 11.

³³ Projeto financiado pela Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental e realizado em colaboração com a Confederação da Indústria Dinamarquesa e a Universidade Técnica da Dinamarca (DTU).

Os modelos de trabalho desenvolvidos tanto no D4S quanto nos métodos de DTU são relevantes para lidar com dados e requisitos complexos de forma objetiva e sistematizada, condição indispensável para a abordagem de variáveis ambientais. Desta forma, estes modelos auxiliaram na etapa final desta dissertação, sendo que o D4S é utilizado como referência no Capítulo 5, para análise dos resultados.

2.3 Metodologia de projeto e requisitos ambientais

Entende-se por “requisito” a condição necessária para atingir determinado objetivo. Assim, “requisitos ambientais” são condições necessárias para atingir o objetivo central de preservação do meio ambiente. Dentre as mais significativas ao campo do design, são selecionadas para esta dissertação aquelas relacionadas à abordagem do ciclo de vida do produto (com foco na ACV), que possibilita a seleção de matérias-primas e componentes a serem utilizados, considerando a inclusão de critérios ambientais entre os tradicionais utilizados no desenvolvimento de produtos (como qualidade, custo e simplicidade de produção), além da eficiência no uso de materiais e na relação uso/função; da durabilidade e da extensão da vida útil; do reuso, recuperação e reciclagem.

Após a investigação das diferentes proposições metodológicas do design (apresentadas na seção 2.2) e considerando a relação intrínseca entre o tempo e o contexto das proposições dos autores e a incorporação dos problemas ambientais, fica clara a existência de, pelo menos, três categorias de fatores que direcionam a inserção de requisitos de preservação ambiental no design:

- Evidentes (compreendidos com facilidade);
- Subentendidos (implícitos);
- Ocultos (não explorados ou desconhecidos).

Parte das diretrizes ambientais, que podem ou não estar expostas nos métodos de projeto, parece ser evidente e possuir também fatores subentendidos:

O uso racional das matérias-primas é evidente, subentende-se que estas devem ser renováveis ou recicladas; a redução de impactos causados pelo uso de energia durante o processo de produção e de uso é evidente, a escolha de energias provenientes de fontes renováveis fica subentendida; facilitar o processo de reciclagem é evidente, subentende-se que o produto deve ser projetado para facilitar a desmontagem; dentre outros exemplos.

O design costuma explorar conceitos subjetivos, que fazem parte de um determinado repertório sociocultural. Diferente da ciência, a exploração segue as necessidades do usuário e não a descoberta. Na prática, mesmo que os fatores estejam compreendidos ou subentendidos, se tornam impassíveis de aplicação quando, inevitavelmente, esbarram em questões de complexidade, incluindo as que devem ser quantificadas. Qual meio de transporte é mais eficiente, o rodoviário ou o ferroviário? Como quantificar? Estas variáveis não são definidas somente com cálculos ou estatísticas, sempre dependerão do contexto e de outros fatores que estão além do campo de atuação do design.

Devido à difícil compreensão das variáveis que compõe o meio ambiente e de como estas se relacionam com o design, a quantificação dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida do produto permanece ainda oculta ou imprecisa, visto que são poucos os estudos ou avaliações validadas desta no campo em questão. Vezzoli (2009) é o autor que mais se aproxima dessa condição, chegando a propor um modelo de metodologia (MPDS) que integra ferramentas de quantificação, como a ACV, ao processo de projeto, com o objetivo de gerar produtos ambientalmente mais sustentáveis.

O MPDS de Vezzoli (2009), assim, constitui referência para esta pesquisa, uma vez que a proposta de integração da ACV ao processo de projeto em design, a fim de garantir a qualidade ambiental dos produtos, é similar ao que se propõe para a presente investigação. Cabe a ressalva de que, apesar de análogo, o método de Vezzoli não é diretamente aplicável ao contexto brasileiro, ou seja, as diretrizes discutidas no MPDS estão indissociáveis das condições econômicas, sociais, tecnológicas, produtivas e energéticas da Europa.

Neste ponto está um dos principais desafios da dissertação: a carência de parâmetros nacionais para a incorporação de requisitos ambientais nos métodos de projeto, ou para a realização de um estudo de ACV. As proposições e as análises deste trabalho pretendem mapear alguns destes parâmetros, tendo em vista o estudo do caso específico selecionado (ciclo de vida da lata de alumínio).

Com o intuito de situar as metodologias dos autores em análise em relação às escalas de fatores ambientais do design propostas, estão representados abaixo (Gráfico 3) os respectivos posicionamentos de acordo com o tempo de proposição. Nos níveis mais elevados da curva se observa a ampliação gradual da complexidade desses fatores.

Gráfico 3 - Proposta para o posicionamento das metodologias de acordo com as escalas de fatores ambientais presentes no campo do design e o tempo de proposição. Fonte: elaborado pela autora.

A fim de sistematizar a evolução da consideração de variáveis ambientais nas metodologias de projeto em design, são descritos abaixo os fatores mais relevantes presentes em cada uma das abordagens (compilados e sintetizados pela autora), de modo que seja possível realizar o apontamento prévio dos requisitos ambientais que poderiam ser abordados, hoje, pelos autores em questão.

Tabela 3 - Abordagem de John Christopher Jones.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (JONES, 1976)	
	Processos	Fatores Ambientais Indiretos
<i>Conceito de “Glass Box”</i>	A evidenciação do processo de projeto permite a melhor compreensão dos sistemas industriais e a estruturação das fases de concepção, planejamento e desenvolvimento do produto.	Ao tornar o processo de projeto evidente, como uma “caixa transparente”, fica mais fácil identificar os pontos onde pode haver a consideração de requisitos ambientais.
<i>Inserção de questões de complexidade no projeto</i>	A incorporação das variáveis de “sistema” e “comunidade” amplia a área de estudo do design e sua complexidade. O sistema considera não só os produtos, mas as relações entre os produtos e componentes.	A consideração do sistema do produto ao invés do produto isoladamente garante a ampliação do foco do projeto, que pode ser direcionado para a consideração dos ciclos de vida dos produtos e componentes envolvidos.
<i>Exteriorização do pensamento (novas ideias)</i>	A exteriorização do pensamento do design (racional e processual) garante a incorporação de diferentes técnicas e métodos no projeto dos produtos.	Dentre as técnicas que poderiam ser introduzidas na fase de projeto, cabe considerar àquelas de avaliação dos impactos ambientais, como a ACV.
<i>Método de subdivisão do problema (análise, síntese e avaliação)</i>	O problema é dividido em subproblemas menores para que seja feita uma análise individual de cada um, fornecendo diferentes arranjos para compor a solução. É uma alternativa para trabalhar com sistemas muito complexos.	Análogo ao que ocorre na ACV do produto (onde o sistema se divide em processos elementares menores para calcular os impactos ambientais associados a cada fase), esse método pode facilitar a incorporação de requisitos ambientais em cada uma das etapas do processo de projeto.
<i>Análise de valores</i>	Organização do processo de design e de fabricação visando à redução dos custos do produto. São abordadas todas as fases do projeto, inserindo a análise de custo nas etapas necessárias.	Poderiam estar inclusos nas análises de valor e de custo os “gastos” ambientais presentes em cada uma das etapas, visto que a economia de recursos naturais e de energia, por exemplo, também reduz o gasto com o produto.
<i>Ensaios sistemáticos</i>	Busca a identificação de ações capazes de produzir alterações significativas em situações de design complexas ou incompreensíveis.	Estes ensaios podem ser úteis para considerar as relações complexas de causa e efeito dos impactos ambientais do ciclo de vida do produto.

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Fica evidente o esforço do designer em atribuir valores e inserir requisitos ambientais hoje nos métodos de projeto, uma vez que nas décadas de 1960 e 1970, conforme observado na proposta metodológica de Jones (1976), esta terminologia, a importância e a premência das considerações ambientais não faziam parte das metodologias, dos procedimentos e das ações de projeto.

Tabela 4 - Abordagem de Thierry Kazazian.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (KAZAZIAN, 2005)	
	Fatores Ambientais Evidentes	Fatores Ambientais Subentendidos
<i>Conceito de “ecodesign” de acordo com a interdependência</i>	- Economia e ecologia pensadas em conjunto; - Intercâmbio entre as empresas para que haja uma integração de todos os elos da cadeia produtiva; - Desenvolvimento de uma economia “leve”, onde haja a redução de impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto.	- Os fatores ambientais têm igual ou maior valor que os fatores econômicos, visto que são interdependentes; - A vantagem econômica e ambiental do intercâmbio entre as empresas é evidente, visto que as matérias-primas podem ser compartilhadas em um ciclo fechado; - Abordagem multidisciplinar que viabilize o uso de novas fontes energéticas e tecnologias produtivas.
<i>Conceito de “ecodesign” pelo tempo</i>	- Considerar o tempo de renovação dos recursos e matérias-primas que serão utilizadas para compor um produto;	- Optar pela gestão eficiente de exploração de matérias-primas renováveis, para que possam se reconstituir com maior rapidez.
<i>Conceito de “ecodesign” de acordo com o ciclo</i>	- Todos os sistemas naturais se organizam na forma de ciclos de diferentes durações, então o sistema industrial também deve se integrar a esta condição, uma vez que é resultado dos ciclos da natureza.	- As empresas devem incorporar ciclos fechados, onde haja a consideração de todo o ciclo de vida dos produtos e dos processos produtivos.
<i>Conceito de “ecodesign” de acordo com o optimum</i>	- O equilíbrio entre todos os elos que compõe os sistemas artificiais humanos (sistemas industriais, por exemplo) não devem ultrapassar o que os limites da natureza podem tolerar.	- Este conceito implica em uma transformação radical do atual modelo econômico. O crescimento da economia não pode estar associado à exploração de matérias-primas (lógica existente desde os primórdios da civilização), ou seja, deve fazer uso das evoluções científicas e tecnológicas para atribuir valor aos conhecimentos “imateriais”.

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Tabela 5 - Abordagem de Ezio Manzini e Carlo Vezzoli.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (MANZINI; VEZZOLI, 2008)
	Fatores Ambientais Evidentes e Subentendidos
<i>Níveis de interferência do design para o desenvolvimento sustentável</i>	- <i>Redesign</i> de produtos já existentes (as escolhas são mais técnicas e não requerem mudanças nos estilos de vida e consumo); - Projeto de produtos ou serviços que substituam os atuais, como carros elétricos;

<i>Níveis de interferência do design para o desenvolvimento sustentável</i>	- Projeto de novos produtos-serviço que sejam “intrinsecamente” sustentáveis; - Proposta de novos cenários que correspondam a “estilos de vida sustentáveis”, onde haja novos critérios de qualidade, que colaborem com a sustentação do ambiente (requer uma abordagem multidisciplinar).
<i>Considerações para a integração de fatores ambientais na gestão social e empresarial</i>	- Encarar o ambiente como fator escasso (apelo relevante); - Sistema interconectado: A redução do consumo de recursos ambientais pode ser gerada por um fluxo maior de informações, tornando mais eficaz o uso da energia e da matéria, a fim de proporcionar bem-estar com menos materiais; - A inovação tecnológica, as dinâmicas demográficas e os custos ambientais, todos interligados, podem redefinir a ideia de trabalho; - As variáveis ambientais devem ter um valor elevado e o centro de interesse deve ser deslocado dos produtos materiais para os serviços e sistemas de informação; - Desenvolver uma economia em que as empresas não vivam da produção e da venda de produtos, mas dos seus resultados (não automóveis, mas mobilidade); - O conceito de “sociedade sustentável” implica considerar a qualidade social.
<i>Abordagem do conceito de ciclo de vida do produto</i>	- O design que considera o ciclo de vida do produto em todas as suas etapas passa a ter uma abordagem sistêmica, onde o projeto de um produto evolui para o projeto de um sistema-produto inteiro. Requisitos para pré-produção; produção; distribuição; uso; e disposição final: - Minimização do uso de recursos naturais (redução do gasto material e de energia); - Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental; - Minimização do uso de embalagem (quando aplicável); - Redução de distâncias percorridas e de consumo de recursos para o transporte; - Otimização da vida do produto (durabilidade); - Extensão da vida dos materiais (valorização de materiais descartados); - Facilidade na desmontagem do produto.
<i>Durabilidade e otimização da vida dos produtos</i>	- Durabilidade adequada (de acordo com o tipo de produto); - Segurança (confiabilidade); - Fácil atualização e adaptabilidade; - Fácil manutenção, reparo e reutilização; - Possibilidade de “refabricação” (para voltar a condições iguais às anteriores); - Intensificação do uso (uso compartilhado ou coletivo).

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Tabela 6 - Abordagem de Ezio Manzini.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (MANZINI, 2008)
	Fatores Ambientais Evidentes e Subentendidos
<i>Conceito de “comunidades criativas”</i>	- Novo modelo de design baseado no decréscimo do produto, incluindo um novo contexto social e econômico capaz de alterar a visão e os comportamentos sobre os problemas ambientais contemporâneos.

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Tabela 7 - Abordagem de Carlo Vezzoli.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (VEZZOLI, 2009; 2010)
	Fatores Ambientais Ocultos (Tornar evidentes fatores ocultos)
<i>Proposição do método MPDS</i>	- Quantificação dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida do produto com o auxílio de ferramentas como a ACV, garantindo orientações para as intervenções que busquem melhorar a qualidade ambiental dos produtos.

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Tabela 8 - Abordagem de UNEP e Mcaloone; Bey, 2009.

Forma de apresentação	Proposição metodológica (UNEP, 2009) (MCALOONE; BEY, 2009)
	Fatores Ambientais Ocultos (Tornar evidentes fatores ocultos)
<i>Proposição do método para o ecodesign</i>	- Redesign para a melhoria de um produto já existente ou para o desenvolvimento de novas propostas; e <i>benchmarking</i>, para comparar produtos similares para ver qual é mais competitivo e/ou sustentável. - Visão geral dos impactos ambientais; criação do perfil ambiental e identificação das causas de impactos; quantificação dos impactos ambientais; criação de conceitos ambientais; e desenvolvimento de uma estratégia ambiental.

Fonte: SÍNTESE DA AUTORA.

Conforme pode ser observado nos quadros de análise individual, cada abordagem metodológica apresenta particularidades, que incluem as variáveis de tempo e os contextos sociais, tecnológicos, econômicos e ambientais. Sendo assim, não é possível estabelecer comparações entre os métodos utilizados por cada autor, uma vez que as variáveis temporais e contextuais não são diretamente confrontáveis. O conhecimento objetivo, afinal, está constantemente associado à multiplicidade de ideias e de variedades.

Deste modo, para identificar pontos de convergência e de divergência existentes entre as metodologias, bem como prováveis complementações e associações, ou abrangências e limitações, se considera as diferentes escalas de complexidade, mutáveis de acordo com as prioridades de cada tempo e de cada contexto. Sob esta perspectiva, qual seria, então, a melhor maneira ou o melhor método de lidar com as escalas de complexidade relacionadas à preservação ambiental, prioritárias no campo metodológico do design? Essa condição supõe repensar o campo e os procedimentos em design tradicionais como meio de estruturação do pensamento.

Até 1970, os métodos de design tinham um caráter mais dedutivo, partindo do geral para uma solução específica. O empirismo foi introduzido gradativamente na metodologia do design, a partir da ampliação do ponto de vista das ciências humanas (métodos semióticos, hermenêuticos e fenomenológicos) e da ressonância dos conceitos do produto junto aos consumidores antes mesmo da sua produção.

O pensamento projetual linear ou “retroalimentável” (problema, análise e solução) tem sido superado por inovações metodológicas baseadas nas novas organizações da gestão do conhecimento, ampliadas pelas possibilidades do mundo digital. Segundo Bürdek (2006), os modelos de “*mind mapping*” (“mapa mental”), propostos pelo psicólogo e educador Tony Buzan nos anos de 1970, representam o salto mais evidente na estruturação de problemas, desenvolvimento de produtos ou planejamento de processos. Para Vassão (2010), o *mind mapping* é uma técnica de livre associação que parte de um conceito central a partir do qual se ramificam conceitos derivados, que podem ou não ser detalhados numa estrutura hierárquica.

O fundamento é o simples fato de que os problemas (também no design) se tornam cada vez mais complexos e somente a representação do problema em si com métodos tradicionais (árvores e outras associações) não mais os representa, menos ainda os soluciona (BÜRDEK, 2006, p. 259).

Na figura 6, é possível identificar as principais ramificações dos conceitos presentes nas metodologias de projeto em design analisadas na subseção 2.2, tendo como base o tema central de desenvolvimento de produtos mais eficientes do ponto de vista da preservação do meio ambiente.

Figura 6 - Esquema de *mind mapping* cujas ramificações do tema central estão organizadas de acordo com as proposições metodológicas analisadas. Fonte: elaborado pela autora.

Os conceitos trabalhados por Jones (1976) se ramificam da categoria de “estruturação do processo de projeto do produto”, enquanto Kazazian (2005), Manzini (2008) e Vezzoli (2009) conceituam o “design do Ciclo de Vida do Produto (LCD)”. As ferramentas de ecodesign da UNEP (2009) e de DTU (2009) apresentam um passo a passo para chegar a esta condição. Neste ponto observa-se uma convergência importante entre estas abordagens. Vezzoli (2010) e Manzini (2008) igualmente convergem nas propostas de “Design de sistemas ecoeficientes” e de “Comunidades colaborativas”, visto que ambas objetivam viabilizar novos conceitos de vida e consumo no contexto socioeconômico e, consequentemente, ambiental.

Em maior ou menor grau, os conceitos subjetivos que compõe os diferentes repertórios socioculturais são direcionados para a proposição de produtos e sistemas de serviços mais eficientes no alcance do equilíbrio entre a qualidade social e a qualidade ambiental. Cabe considerar, também, a intrínseca, mas nem sempre explorada, integração de fatores tecnológicos e de conhecimentos científicos, quando aplicáveis.

A metodologia de projeto em design, conforme tratado anteriormente, abrange de forma mais efetiva a dimensão da subjetividade. Isso fica claro nas propostas restritas que tentam incorporar a quantificação de impactos ambientais nas fases de concepção e de projeto dos produtos. A ferramenta de ACV, por exemplo, é considerada de modo pontual, o que não quer dizer que esta não possa se estender e assumir um posicionamento mais significativo. Das ramificações representadas no *mind mapping*, poderiam ser adicionadas diversas outras, permitindo um maior detalhamento do esquema e ampliando sua complexidade.

Para o entendimento da complexidade dos sistemas, bem como para projetá-los e representá-los, os diagramas são essenciais. Entidades antes não relacionadas podem apresentar similaridades por meio das conexões e processos. Vassão (2010) aponta outra técnica diagramática, o “mapeamento dos conceitos”, desenvolvida por Joseph Novak (2006). A estrutura é montada com substantivos no lugar dos “nós” e com frases curtas dotadas de um verbo nas linhas de conexão (Figura 7). Por não possuir um centro determinado, não é necessariamente hierárquico.

Figura 7: Exemplo simplificado de *concept mapping* de acordo com conceitos da Figura 6.

Capítulo 3

Avaliação do Ciclo de Vida do Produto e o design

Capítulo 3

Avaliação do Ciclo de Vida do Produto e o design

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é apresentada neste capítulo sob o ponto de vista do design, sendo considerada como ferramenta relevante para calcular e avaliar os impactos ambientais gerados por produtos industriais. Nos seus aspectos intrínsecos e conceituais, a ACV abrange os impactos do sistema do produto sob a ótica do meio ambiente, da saúde humana e do consumo de recursos naturais, utilizando métodos prioritariamente quantitativos. Sua aplicação ao design está atrelada à discussão sobre a validade de inserir determinados aspectos ambientais ou, ainda, de como o aproveitamento dos resultados desse estudo podem ser úteis para minimizar o consumo de recursos e materiais durante a atividade de projeto, antecedente à materialização do produto.

Usualmente, a ACV, enquanto ferramenta de avaliação e/ou simulação, trabalha com modelos baseados em sistemas de produtos similares já existentes e, uma vez desvinculada do processo de design, garante a validação de escolhas (como a definição dos materiais a serem empregados), mas não o fornecimento de parâmetros para o projeto em si. Este fato revela a importância da metodologia de projeto em design, onde são tomadas as decisões de como, quanto, quais processos e situações de uso terá o produto, permitindo aprimorá-lo antes da sua produção.

O objetivo central da inclusão do estudo de ACV na metodologia de projeto em design (onde o foco está no objeto) é confrontar os requisitos específicos gerados a partir deste instrumento com requisitos gerais utilizados nos métodos de design apresentados nesta dissertação, de modo que se torne viável reduzir os impactos ao meio ambiente já no início do processo, tornando-o mais eficiente em todas as fases consecutivas. Sendo assim, ainda na fase de formulação do produto, pode-se considerar como relevante toda questão ambiental relacionada ao ciclo de vida de um produto industrial, inclusive os impactos por ele gerados.

3.1 Contextos e Definições

O conceito de ciclo de vida³⁴, discutido inicialmente no campo da engenharia química, encontra-se atrelado à compreensão de que a manufatura do produto industrial não pode ser vista como um fim, mas como um meio necessário para atender às demandas sociais, que incluem desejos particulares de cada grupo ou indivíduo. A partir desse conceito, foram propostos novos métodos e ferramentas que buscam auxiliar na compreensão, no controle ou na redução dos impactos ao meio ambiente, refletindo a preocupação com o atual sistema de provisão de bens e serviços à sociedade. A ACV³⁵ é uma destas ferramentas³⁶, que considera os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do produto (Figura 8).

Figura 8 - Etapas do ciclo de vida do produto, adaptado do esquema de Silva e Kulay (2006).
Fonte: SILVA; KULAY, 2006, p. 316.

Diferentes autores (JENSEN et al., 1997; CHEHEBE, 2002; GUINÉE, 2004; MOURAD et al., 2002; GIUDICE, et al., 2006) concordam com a definição de que a ACV é um conjunto de técnicas para avaliação de impactos ambientais associados a um produto ou a um processo, abrangendo desde a extração de matérias-primas da natureza até a disposição final do produto, considerando também sua reintegração ao ciclo produtivo. Tais técnicas foram formalizadas no ano de 1996 após a implementação das normas internacionais ISO 14000 - no Brasil, NBR ISO 14001 (ABNT, 2004). Com relação ao campo do design, as normas mais relevantes estão compreendidas na série 14020 (ABNT, 2002), de rotulagens ambientais, e na série

³⁴ Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001): ciclo de vida: estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima à disposição final.

³⁵ Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001): Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais de um sistema de produto durante seu ciclo de vida.

³⁶ Existem outras, como avaliação de risco; auditoria ambiental; e avaliação de impacto ambiental.

14040³⁷ (ABNT, 2009), que define critérios básicos para a ACV, incluindo as etapas a serem seguidas, a qualidade dos dados e os métodos de análise e avaliação.

A ACV é composta por quatro etapas básicas: a primeira corresponde à definição do objetivo e da abrangência do estudo, incluindo as razões para realização do mesmo; a segunda consiste na construção de um inventário do ciclo de vida, semelhante a um balanço contábil financeiro que quantifica as entradas e saídas de matérias-primas e energia dentro do sistema; a terceira etapa busca avaliar os impactos ambientais decorrentes dos fluxos considerados no inventário; a última fase é de interpretação dos resultados para avaliar a qualidade do estudo.

De acordo com Silva³⁸ (2010), a ACV pode ser vista como um poderoso instrumento de avaliação do desempenho ambiental do produto. Para realizar esta avaliação, é preciso conhecer em detalhes os processos do “sistema produto”, ou seja, o conjunto de operações humanas sobre matéria e energia necessárias para que o produto cumpra sua função, tendo em vista as emissões (saídas) e o consumo (entradas) de materiais na fabricação e ao longo da vida deste (informação verbal).

Observou-se nesta pesquisa que os procedimentos inclusos na ACV são complexos por envolverem valores objetivos, de acordo com o foco particular de cada produto, além das possíveis contradições trazidas pela eleição de critérios e padrões regionais ou universais, dentre outros aspectos.

Os primeiros estudos de ACV ocorreram por consequência da primeira grande crise do petróleo³⁹. Neste contexto, análises buscaram avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas não renováveis (CHEHEBE, 2002). Nos EUA, os métodos de quantificação ficaram conhecidos como Análises de Perfil Ambiental e de Recursos⁴⁰, precursores na propagação do conceito de ciclo de vida, sendo inicialmente financiados por empresas do setor privado da área de embalagens (BAUMANN; TILLMAN, 2004). Pode-se dizer, então,

³⁷ Apresentada na subseção 3.1.1.

³⁸ Gil Anderi da Silva, presidente da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV) e professor da Escola Politécnica da USP, em entrevista na data de 13 de agosto de 2010 à pesquisadora.

³⁹ De 1960 ao início de 1980, o valor do barril de petróleo foi elevado de US\$ 2,23 para US\$ 34,00.

⁴⁰ Em inglês *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA).

que o uso da ACV (a nível mundial) não é novo, pelo contrário, tem sido propagado há algum tempo, principalmente por países europeus e norte-americanos.

No contexto brasileiro, a ACV é uma ferramenta relativamente nova⁴¹ e encontra-se em processo de desenvolvimento e aprimoramento principalmente no campo da engenharia, em consonância com a norma ABNT NBR ISO 14040 nos seus princípios gerais e na sua estrutura de procedimentos. Já no campo do design, a aplicação e o uso desta técnica são ainda mais recentes⁴², visto que mesmo os autores e profissionais que a consideram relevante geralmente não a aplicam na prática de projeto. Conforme observado durante a pesquisa, isso se deve essencialmente à quantidade e à complexidade dos dados necessários para realização deste estudo, onde etapas não quantificadas pela inacessibilidade de fontes de informação e pela alta demanda de tempo podem comprometer a qualidade dos resultados.

Os resultados de estudos de ACV fornecem subsídios técnicos reais fundamentais para ampliar os conceitos envolvidos na discussão de um tema (por exemplo, desenvolvimento de um novo produto), modificam as visões simplistas e unilaterais para visões amplas, com múltiplos aspectos inter-relacionados. A demonstração da complexidade das questões ambientais e de suas inter-relações possibilita distinguir os mitos da realidade (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002, p. 41).

São consideradas, também, questões fundamentais para o foco de investigação desta dissertação, tais como: a incorporação de uma ferramenta objetiva e quantitativa no processo subjetivo e qualitativo do design pode ampliar de forma significativa a confiabilidade e a precisão de escolhas de projeto que busquem reduzir os impactos ambientais? De que modo os parâmetros selecionados a partir da ACV de um ou mais produtos similares já existentes (com dados de referência obtidos após a produção) podem ser traduzidos em diretrizes para o projeto (ou etapa de pré-produção) de um novo produto? Quais são as possíveis inter-relações entre os resultados da ACV e os resultados da atividade do design?

---

⁴¹ A primeira atividade formal brasileira relacionada à ACV partiu da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que criou, no ano de 1994, o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (Gana).

⁴² As primeiras discussões sobre ACV no campo do design foram propostas em 1998 pelos autores Manzini e Vezzoli. Outros autores como Baxter (2000) e Kazazian (2005) apresentam a ACV de forma não aplicada em seus métodos de projeto. Somente em 2009, Vezzoli incorpora o uso da ACV no design de produto, fornecendo diretrizes projetuais para o contexto europeu, conforme discussões presentes no Capítulo 2 desta dissertação.

Como ponto de partida deste trabalho, supõe-se que a principal contribuição da ACV para o design consiste no tratamento detalhado e objetivo das diferentes questões ambientais, que incluem o gerenciamento de serviços, produtos e processos mais sustentáveis, uma vez que o consumo de recursos naturais é contabilizado em todas as etapas, sob uma perspectiva avaliativa. Essa contabilização ocorre tanto por fonte energética (petróleo e gás natural, por exemplo) como por matéria-prima (como soja, areia e bauxita).

A avaliação de impactos ao meio ambiente realizada durante a ACV define um perfil particular de desempenho ambiental, que pode ser utilizado na fase de design para consolidar a melhoria dos produtos e dos processos, reduzindo potencialmente os impactos gerados nas etapas de produção, consumo e descarte, visto que o produto é projetado com esta finalidade. Sob uma perspectiva geral, a ACV é aplicável a uma série de propósitos, dentre eles:

- Identificar em qual(s) etapa(s) do ciclo de vida do produto há mais impacto;
- Estabelecer prioridades durante o projeto de produtos e processos;
- Auxiliar na avaliação de componentes feitos de diferentes materiais;
- Permitir o gerenciamento produtivo e comercial de acordo com critérios avaliados de preservação do meio ambiente (CHEHEBE, 2002).

Como qualquer outra técnica, a ACV também possui limitações. Dentre elas, estão incluídas na norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) as seguintes:

- As escolhas feitas na ACV podem ser subjetivas. Quando são estabelecidas as fronteiras do sistema, a seleção de fontes de dados e categorias de impacto, nem sempre a justificativa das escolhas tem como base dados científicos;
- Os resultados de estudos de ACV que enfocam questões globais ou regionais podem não ser apropriados para aplicações locais, isto é, as condições locais podem não ser representadas pelas condições globais ou regionais;
- A exatidão da ACV pode ser limitada pela acessibilidade, disponibilidade ou pela qualidade dos dados, nem sempre comprovados e pertinentes;

- A falta de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário (utilizados para avaliar os impactos) introduz incertezas nos resultados.

As análises desenvolvidas na ACV abrangem aspectos tecnológicos e econômicos (que podem ser estimados e calculados), não considerando aspectos subjetivos de ordem social e cultural. “Além disso, é importante lembrar que este método trabalha com modelos e, portanto, é uma simplificação do mundo real, e dessa forma, não almeja abordar todas as dimensões e interações ambientais de forma infalível e absoluta” (VEZZOLI, 2010, p. 65).

Está em pauta, hoje, uma série de discussões sobre a necessidade de a ACV integrar os três aspectos que fazem parte do já difundido conceito de tripé da sustentabilidade: social, ambiental e econômico. Essa ferramenta pressupõe uma aplicação local ou regional, visto que cada região possui contextos particulares que limitam a definição de critérios únicos para estimar o “grau de sustentabilidade” dos produtos e processos. Frente a esta realidade, considera-se o pressuposto de que o uso da ACV no design de produtos poderá fortalecer a desejável relação entre o ambientalmente adequado e o socialmente justo, já que o foco no usuário exige ponderações entre o meio social e o meio ambiente - indissociáveis, afinal.

3.1.1 Normas da Série ISO 14040 / NBR ISO 14040

As normas da série ISO 14040 (no Brasil, NBR ISO 14040) são relevantes para esta pesquisa por relacionarem as diretrizes que buscam padronizar os termos e os critérios para o desenvolvimento de um estudo de ACV⁴³. Estão sucintamente mencionadas na Tabela 9, que apresenta a sequência e a definição fundamental de cada uma, sendo que os detalhes técnicos estão disponíveis para consulta nos documentos específicos que as descrevem.

---

⁴³ A SETAC foi a primeira entidade que buscou padronizar os critérios para a ACV, no início de 1990. Trata-se de uma sociedade profissional responsável por promover estudos sobre problemas ambientais, tendo um papel fundamental no desenvolvimento das técnicas de ACV. Muitos dos conceitos trabalhados pela SETAC foram utilizados pela ISO para formalizar um método de execução da ACV (RIBEIRO, 2009).

No caso específico das normas sobre Análise do Ciclo de Vida de Produtos, a proliferação de estudos realizados com base em metodologias as mais diversas, as grandes discrepâncias observadas entre os resultados alcançados e os inconvenientes gerados justificavam a necessidade urgente de uma padronização dos termos e critérios utilizados (CHEHEBE, 2002, p. 8).

As diretrizes definidas pela ISO foram sistematizadas a partir de 1996, incluindo critérios básicos para a condução dos estudos e critérios éticos para publicação dos resultados. A elaboração das normas específicas sobre ACV foi dividida em cinco grupos (WG1 a WG5), conforme Tabela 9. Atualmente, estão em vigor as normas reeditadas⁴⁴ de gestão ambiental ABNT NBR ISO 14040:2009, contendo os princípios gerais e a estrutura da ACV, e ABNT NBR ISO 14044:2009, com requisitos e orientações para a realização deste estudo.

Tabela 9 - Grupos para elaboração das normas sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

GRUPO	Normatização
WG1- ISO 14040 <i>International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, 1997.</i>	Compreende princípios gerais e procedimentos para estruturar e conduzir os estudos de avaliação do ciclo de vida. Correspondente à ABNT NBR ISO 14.040 - Princípios e Estrutura, 2001.
WG2- ISO 14041 (inventário geral) WG3- ISO 14041 (inventário específico) <i>International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, 1998.</i>	Coloca a importância de uma definição suficiente do escopo de trabalho para que a extensão, a profundidade e o grau de detalhamento do estudo sejam compatíveis com o objetivo estabelecido. Define também os critérios para a realização da coleta de dados e dos cálculos de entradas e saídas no sistema. Correspondente à ABNT NBR ISO 14.041 - Definições e análise de inventário, 2004.
WG4- ISO 14042 <i>International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment, 2000.</i>	Especifica os elementos essenciais para a estruturação dos dados e para a avaliação de impactos ambientais. Correspondente à ABNT NBR ISO 14.042 - Avaliação de impactos, 2004.
WG5- ISO 14043 <i>International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation, 2000.</i>	Busca definir um procedimento sistemático para identificar, qualificar e avaliar os resultados do inventário do ciclo de vida (ICV) ou avaliação do inventário do ciclo de vida (AICV). Correspondente à ABNT NBR ISO 14.043 - Interpretação do ciclo de vida, 2005.

Fonte: CHEHEBE, 2002; MOURAD, GARCIA, VILHENA, 2002; IBICT, 2010. Síntese e tabela da autora.

⁴⁴ Segundo a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV, 2011), as normas ABNT NBR ISO 14041:2004; ABNT NBR ISO 14042:2004; e ABNT NBR ISO 14043:2005 foram canceladas.

3.1.2 Etapas de Execução da ACV

A fim de tornar clara a sequência de execução da ACV, são apresentadas nesta subseção as etapas que compõe o estudo. Conforme ilustrado na Figura 9, a primeira etapa da ACV corresponde à *definição de objetivo e escopo*, onde são expressas as razões para a realização do estudo; os limites do sistema; além das categorias e dos requisitos de qualidade dos dados. Segue a *análise do inventário*, onde são identificadas as interações entre as atividades de produção e o meio ambiente (entradas, trocas e saídas de matéria e energia). A terceira etapa, de *avaliação de impacto*, permite avaliar os impactos associados a estas interações, quantificando os prejuízos ambientais de cada elemento. Na fase de *interpretação* do ciclo de vida são expressos os resultados e a avaliação da qualidade do estudo. Trata-se de um processo de troca constante, sempre sujeito a uma revisão crítica.

Figura 9 - Fases de uma ACV, adaptado da NBR ISO 14040. Fonte: ABNT, 2001, p. 5.

Para identificar as entradas e as saídas de matéria e energia que ocorrem durante o ciclo de vida, um primeiro passo é delimitar o “sistema de produto”⁴⁵, ou seja, definir quais dos processos necessários para a produção do objeto serão incluídos no estudo. Estes podem ser chamados de unidades de processo, e nada

⁴⁵ Segundo a definição da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), compreende o conjunto de subsistemas (conectados material e energeticamente) que realiza uma ou mais funções definidas.

mais são do que subsistemas que compõem o ciclo produtivo do produto e que se relacionam entre si, direta ou indiretamente. Alguns são comuns aos diferentes sistemas, como o de energia (elétrica, térmica ou eólica), que faz parte de todos os ciclos de vida de produtos industriais (Figura 10).

Figura 10 - Representação do subsistema de energia elétrica, empregado em todos os outros.
Fonte: elaborado pela autora.

A efetiva definição dos sistemas de produto e de suas fronteiras é feita por meio da elaboração de modelos reduzidos representativos. É importante ressaltar que a elaboração de tais modelos deve obedecer a um compromisso entre a precisão dos resultados (quão mais abrangente o modelo, mais precisos os resultados) e a viabilidade prática de execução do estudo (quanto menos abrangente o modelo, mais viável a execução do estudo). Para a elaboração do modelo parte-se de uma descrição que inclui todos os subsistemas constituintes do ciclo de vida do produto e, em seguida, procede-se à exclusão de subsistemas, seguindo critérios bem definidos, os quais devem ser explicitados no relatório final da ACV para garantir a transparência do estudo (SILVA; KULAY, 2006, p. 325).

Segundo Guinée (2004), a ACV representa mais do que estudar o sistema de produto, visto que os resultados podem ser utilizados para tomada de decisão em diferentes setores da indústria e do governo. Sob este ponto de vista, a aplicação prática da ACV, como quando considerada no projeto ou reprojeto de um produto, pode orientar ações mais amplas que incluem investimentos na produção industrial e na empresa; políticas públicas de preservação do meio ambiente; ou a determinação de estratégias para minimizar os impactos ambientais, conforme pretende esta pesquisa, direcionando, por exemplo, a substituição de determinados materiais ou processos industriais e as inovações na configuração formal de partes do produto, visando a desmontagem, a facilidade na coleta e a reciclagem pós-uso.

3.1.2.1 Definição de Objetivo e Escopo

A definição do objetivo que se pretende alcançar com a realização da ACV é essencial para a condução adequada das etapas que a compõe, já que direciona as ações de acordo com o propósito e a extensão definidos para o estudo. O objetivo costuma especificar a aplicação pretendida para a ACV e o público alvo ao qual serão comunicados os resultados, podendo ser alterado com o decorrer das análises (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

O escopo, por sua vez, estabelece as principais características de um estudo de ACV, delimitando desde a sua cobertura temporal e geográfica até os métodos de análise a serem empregados, por exemplo. O conteúdo do escopo pode ser organizado em três dimensões: “onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida (extensão da ACV), quantos e quais subsistemas incluir (largura da ACV), e o nível de detalhe do estudo (profundidade da ACV)” (CHEHEBE, 2002, p. 22). A abrangência e os limites da ACV são geralmente apresentados em fluxogramas que expõem a sequência principal do processo em análise (Figura 11).

Figura 11 - Exemplo de limites do sistema de produto, representados pela linha pontilhada. Fonte: diagrama elaborado pela autora a partir das informações obtidas em conversas com Silva, Kulay e Nogueira, membros do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE) da USP.

Conforme representado na imagem acima, os limites do sistema são demarcados pela linha pontilhada, que determina quais unidades de processo estarão inclusas ou fora da ACV. Neste caso específico, são gerados dois produtos secundários: o Produto Z, que é resultante das transformações ocorridas em uma das unidades de processo inclusas no sistema, portanto tem sua participação na carga ambiental total do produto principal, mas é considerado fora dos limites por não fazer parte do foco do estudo; e o Produto Y, utilizado dentro do próprio sistema em análise para a fabricação do produto principal.

Neste contexto, havendo dois ou mais produtos transformados em uma mesma unidade de processo, os fluxos de entrada e de saída desta unidade devem ser repartidos entre todos estes produtos, ou seja, o produto principal não pode arcar com a quantidade total dos prejuízos ambientais. Para esta repartição é utilizada uma técnica frequentemente utilizada na ACV: a “alocação”⁴⁶, que pode ser aplicada no fluxo de massa ou no conteúdo energético. Em situações de reciclagem e de reuso, os procedimentos de alocação devem considerar, por exemplo, mudanças nas propriedades dos materiais, o que altera os cálculos e os valores de entrada e saída de matérias-primas.

3.1.2.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) pode ser comparado, por analogia, a um procedimento de balanço contábil financeiro, onde tudo o que entra no sistema deve ser igual ao que sai. Trata-se de um processo limitado pela ausência de dados conhecidos (que devem ser estimados) ou pela qualidade dos dados disponíveis. Este ponto é crítico e merece maiores investimentos de tempo e de pesquisa, visto que a confiabilidade das demais etapas da ACV depende de um inventário preciso e completo.

---

⁴⁶ Repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo entre os coprodutos.

A análise de inventário engloba basicamente os procedimentos de coleta e tratamento dos dados e de cálculos referentes aos fluxos de entrada e saída, tendo sempre em vista a quantidade de produto, também chamada de unidade funcional⁴⁷, estabelecida anteriormente. Na imagem abaixo (Figura 12) estão organizadas as diferentes fases da análise do inventário.

Figura 12 - Etapas operacionais realizadas durante a fase de Análise de Inventário do Ciclo de Vida.
Fonte: CHEHEBE, 2002, p. 44.

De acordo com Silva e Kulay (2006), os dados necessários para a análise do inventário podem ser coletados diretamente nos locais de produção (dados primários obtidos por meio de registros de produção, de compra e venda, atestados ambientais, etc.) ou na literatura (dados secundários encontrados em relatórios setoriais do governo ou de associações, por exemplo). Observou-se durante a pesquisa que na grande maioria dos estudos são coletados os dois tipos de dados, que passam por um tratamento para permitir sua agregação, ou seja, as bases de valores (como kg/t) das entradas e saídas de cada subsistema devem ser igualadas.

⁴⁷ Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001): unidade funcional: quantidade de produto necessária para cumprir determinada função durante um período de tempo.

Segundo Ribeiro (2009), ao final da análise do inventário é feita uma tabela contendo os aspectos ambientais de cada processo individual, conforme exemplo abaixo (Tabela 10). Os resultados do ICV, deste modo, quantificam a utilização de recursos naturais e energéticos, além das emissões para o ar, água e solo, para a posterior avaliação dos impactos.

Tabela 10 - Simulação para a unidade de processo de produção de alumina, segunda fase do ciclo de vida da lata de alumínio, com dados extraídos da literatura.

Parâmetro	Unidade	Quantidade/1000 kg produto
Entradas		
Bauxita [recursos não renováveis]	Kg	5246,2
Hidróxido de sódio (50% soda cáustica)	Kg	172
Cal virgem (irregular) [Minerais]	Kg	75,5
Entradas de energia e combustível		
Diesel	Kg	1,31
Energia [Energia Elétrica]	MJ	865,6
Energia térmica proveniente de carvão mineral	MJ	3060,2
Energia térmica de óleo combustível pesado	MJ	7851,7
Energia térmica proveniente de gás natural	MJ	7909,6
Entrada de Água		
Água do mar	Kg	201,2
Água da superfície	Kg	15190
Saída de Produtos		
Óxido de alumínio (alumina)	Kg	1915,4
Saída de Resíduos para reaproveitamento		
Lubrificante (graxa) [resíduos perigosos]	Kg	0,91
Saída de Resíduos para eliminação		
Lama vermelha (seco) [resíduos perigosos]	Kg	2187
Resíduos industriais para descarte urbano	Kg	29,3
Resíduos (sólidos)	Kg	47,1
Areia (para produção de alumina)	Kg	58,3
Emissões para o ar (saída)		
Vapor	Kg	4989,7
Mercúrio (+ II)	Kg	4.02E-04
Emissões para a água (saída)		
Sólidos suspensos	Kg	0,091
Água (água do mar)	Kg	241,4
Água (água de superfície)	Kg	10.160,5

Fonte: sintetizado pela autora a partir do estudo da Aluminum Association (AA, 2010, p. 15).

Conforme pode ser observado na tabela acima, os dados de quantidade detalhados e analisados durante o inventário, para que sejam úteis ou aplicáveis ao campo do design, necessitam de tratamento (quando são efetivamente associados a impactos ambientais) e de contextualização com os demais processos inclusos no ciclo de vida do produto em estudo, identificando qual das etapas é mais impactante e merece maior atenção na fase de projeto.

3.1.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é uma etapa quantitativa e/ou qualitativa que busca classificar, caracterizar e atribuir peso aos fluxos de materiais e energia identificados no ICV, associando-os a impactos ambientais. Nesta fase são selecionadas e definidas as categorias de impactos mais relevantes ao estudo, e calculados os indicadores ambientais de cada categoria. O resultado define o perfil da AICV e fornece informações sobre os impactos ambientais provenientes do consumo de recursos e de emissões ao meio ambiente (SONNEMANN; CASTELLS; SCHUHMACHER, 2003).

A classificação das categorias de impactos ambientais na AICV é feita por indicadores numéricos, de modo que seja possível condensar e simplificar os dados do inventário e refletir sobre as emissões totais, além de avaliar a significância da utilização dos recursos naturais em cada categoria do sistema. De acordo com a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), a avaliação de impacto possui elementos obrigatórios, conforme tabela abaixo (Tabela 11).

Em vista da grande quantidade de dados que compõe o perfil ambiental do produto e da complexidade para compará-los, os resultados de cada categoria podem ser convertidos em um único índice ambiental (Figura 13), obtido a partir da atribuição de pesos aos problemas ambientais quanto a sua importância, definindo qual das categorias contidas na caracterização (conforme figura abaixo) é a mais crítica para o sistema de produto, sendo, também, a mais relevante para as

proposições de redução de impactos e de melhorias já na etapa de projeto, correspondente ao escopo de trabalho do design.

Tabela 11 - Elementos obrigatórios fundamentais à Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

Seleção e definição das categorias de impacto	Classificação dos resultados do inventário	Caracterização dos impactos ambientais
Dentre as categorias de problemas ambientais mais utilizadas, pode-se citar: *Exaustão de recursos não renováveis; *Aquecimento global; *Redução da camada de ozônio; * Toxicidade humana; * Acidificação; * Ecotoxicidade.	As entradas e saídas do inventário que contribuem para causar algum tipo de impacto ambiental são classificadas de acordo com o problema para o qual contribuem, tendo em vista as categorias de impactos selecionadas (aquecimento global, por exemplo).	* Exaustão dos Recursos Não Renováveis (RNR) - Medida em relação à oferta global do recurso; * Potencial de Aquecimento Global (PAG) - Efeito de 1 kg de CO₂; * Potencial de Acidificação (PA) - Medida pelo efeito de 1 kg de SO₂; * Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO) - Medida em relação ao efeito de 1 kg de CFC₁₁.

Fonte: elaborado pela autora a partir de CHEHEBE, 2002; ABNT, 2009b.

Figura 13 - Formação do índice ambiental (único indicador). Fonte: CHEHEBE, 2002, p. 82.

3.1.2.4 Interpretação dos Resultados

A quarta etapa da ACV corresponde à interpretação dos resultados alcançados pelo estudo após seu término, tendo em vista os objetivos pré-estabelecidos. Esta fase é iterativa, ou seja, passa pela constante revisão do escopo e da qualidade dos dados coletados e tratados (Figura 14). “O objetivo da fase de interpretação é, portanto, analisar os resultados, tirar conclusões, explicar as limitações e fornecer recomendações para um estudo de inventário do ciclo de vida ou uma análise completa do ciclo de vida” (CHEHEBE, 2002, p. 87). Podem ser indicadas, também, as limitações que tornam ou que tornaram o objetivo inicial inalcançável. Estas indicações, por serem de caráter conclusivo, costumam ocorrer na última das três fases da interpretação, de conclusões e recomendações, conforme figura abaixo.

Figura 14 - Etapas da fase de interpretação. Fonte: adaptado de CHEHEBE, 2002, p. 88.

A interpretação é baseada em princípios ou suposições centrais que têm como objetivo reduzir o uso de recursos não renováveis, de energia, de materiais ou de processos perigosos. No que se refere à sua interface com o campo do design, esta fase pode incorporar estratégias de desenvolvimento e de produção do produto, visando o aumento na eficiência dos processos industriais e a diminuição do uso de recursos naturais, tendo em vista a definição de novas diretrizes, com foco na preservação ambiental, para os métodos de projeto tradicionais.

3.1.2.5 Relatório Final e Revisão Crítica

O relatório final contém toda a estrutura do estudo de ACV e é organizado de forma lógica e sequencial. Apresenta aspectos gerais (data do relatório, empresa que fez o estudo, entidade financiadora, cumprimento das normas ISO 14040, dentre outros); o objetivo do estudo; o escopo (unidade funcional, limites do sistema, categorias de dados, critérios para inclusões de entradas e saídas, e requisitos para avaliar a qualidade dos dados); análise do inventário; limitações da análise do inventário (avaliação de qualidade); avaliação do impacto do ciclo de vida; interpretação; e revisão crítica (CHEHEBE, 2002).

A NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) recomenda a elaboração de uma revisão crítica após o término da ACV, principalmente se houverem comparações entre produtos para fins de divulgação pública, com o objetivo de reduzir as incertezas do estudo, bem como garantir que a metodologia, os dados, a interpretação e o relatório final foram conduzidos de forma adequada, podendo ser feita por profissionais independentes ou por partes interessadas na ACV, como universidades.

Ainda de acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009b), o processo de revisão crítica pretende assegurar que:

- Os métodos da ACV são consistentes com a série de normas ISO 14040;
- Os métodos de condução da ACV possuem validade científica e técnica;
- Os dados coletados são apropriados em relação ao objetivo do estudo;
- A interpretação reflete as limitações identificadas e o objetivo inicial.

Em caso de aplicação dos resultados da ACV para o projeto ou “reprojeto” do produto avaliado, a revisão crítica pode garantir que a estrutura do estudo e os dados constantes no relatório final estejam claros o suficiente para que este público-alvo, composto por designers, compreenda as análises e saiba como utilizá-las para gerar requisitos ou diretrizes ambientais nas etapas de concepção e planejamento, inerentes à atividade do design.

3.1.3 Softwares e Bancos de Dados Internacionais

Alguns países da Europa, dentre outros como o Japão, têm organizado os chamados “bancos de dados”⁴⁸, onde fica armazenada uma série de informações necessárias para o desenvolvimento do inventário do ciclo de vida (etapa mais complexa e demorada da ACV), facilitando o encontro de dados pertinentes e adaptáveis (visto que os impactos têm caráter local e regional) para avaliar o sistema de produto. Um exemplo disso é que no ciclo de vida de diversos produtos manufaturados estão inclusos outros ciclos de elementos comuns, como chumbo, ferro e cobre. A principal vantagem dos esforços em prol da constituição de um banco de dados universais (mundiais) e também específicos, definidos de acordo com fatores geográficos, sociais e econômicos, é a garantia do reconhecimento de elementos referenciais legítimos e confiáveis, obtendo economia de tempo.

A Alemanha é um dos países pioneiros em bancos de dados para o ICV. Em 1989, criou o “Modelo de Emissão Global para Sistemas Integrados” (GEMIS), que fornece informações sobre energia, materiais e transporte (GEMIS, 2011). Foram desenvolvidos no país dois softwares de ACV: Umberto e Gabi, ambos para análise dos fluxos de materiais e de energia presentes no ciclo de vida do produto.

No Brasil, ainda não há investimentos significativos neste setor, mas os padrões internacionais têm sido adaptados às matérias-primas e aos recursos nacionais. Considerando que as matrizes energéticas e as condições naturais da cada região são particulares, o resultado das adaptações de um país para o outro nem sempre representa fielmente as condições locais, neste caso, brasileiras. Como pôde ser observado ao longo deste trabalho e conforme será discutido no item 3.2.2, essa realidade tem um forte potencial de mudança nos próximos anos, a partir das regulamentações da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que devem ampliar a demanda por estudos de impacto ambiental e, por consequência, as possibilidades de construção de um banco de dados nacional.

---

⁴⁸ Dentre os principais bancos de dados internacionais, pode-se citar o Ecoinvent (com dados de abrangência mundial e dados específicos para a Europa e a Suíça); o Franklin US LCI (Estados Unidos); o SPINE@CPM (mundial); e o EDIP (Dinamarca).

Dentre os *softwares* mais utilizados para os estudos de ACV⁴⁹, considera-se nesta pesquisa a utilização do SimaPro (Figura 15), já difundido entre engenheiros e técnicos brasileiros. Este *software* incorpora a base de dados ou biblioteca Ecoinvent para contabilizar os impactos ambientais, porém não deve ser a única fonte de informação. A grande desvantagem de trabalhar apenas com o *software* e não considerar, em paralelo, o detalhamento das etapas da ACV (como descrito no subcapítulo 3.1) é a difícil compreensão do sistema de produto, visto que nem sempre se têm clareza dos resultados, automaticamente gerados.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Simulação de ACV para Lata de Alumínio

Arquivo Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Explorador ACV

Assistentes

Assistentes

Objetivo e âmbito

Descrição

Bibliotecas

Inventário

Processos

Fases do produto

Tipos de resíduos

Parâmetros

Avaliação de impacto

Métodos

Configurações de cálculo

Interpretação

Interpretação

Hiperligações a Documentos

Dados gerais

Referências bibliográficas

Substâncias

Unidades

Grandezas

Imagens

Nome

Simulação de ACV para Lata de Alumínio

Data

28/08/2012

Autor

Comentário

Tipo de ACV

Unspecified

Objetivo

analisar e avaliar a possibilidade de utilização da ferramenta de ACV para inserir ou atualizar requisitos ambientais na metodologia de projeto de produto em design

Motivo

Promotor

Parte interessada

Profissional

Unidade funcional

Acondicionar 25.900 litros de cerveja

Fluxos de referência

74.000 latas de 350 ml

Faculty FAUUSP

Manager

Figura 15 - Primeira etapa da modelagem da ACV no *software* SimaPro, referente ao objetivo e âmbito do estudo. Fonte: imagem capturada pela autora do *software* SimaPro 7.3.3 Faculty Multi user.

⁴⁹ Estão disponíveis comercialmente: CMLCA, EMIS, GaBi, KCL-eco, Regis, SimaPro, TEAM e Umberto.

Conforme imagem acima (Figura 15), o usuário do SimaPro pode iniciar a ACV pela descrição do estudo, para depois modelar de forma sistemática o inventário do ciclo de vida (Figura 16), seguindo os princípios descritos na série ISO 14040. Cabe salientar que a inserção de dados que não estão armazenados nas bibliotecas do software, provenientes de outras fontes de informação, é demorada e, muitas vezes, alguns dos aspectos ambientais constantes no método de avaliação de impactos selecionado (Figura 17) não se tornam compreensíveis ou claros.

Figura 16 - Descrição das fases do produto e modelagem do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) no *software* SimaPro. Fonte: imagem capturada pela autora do *software* SimaPro 7.3.3 Faculty Multi user.

Figura 17 - Seleção do método Eco-indicator 99 para a avaliação dos impactos presentes no ciclo de vida do produto. Fonte: imagem capturada pela autora do *software* SimaPro 7.3.3 Faculty Multi user.

Na AICV (etapa final da modelagem dos fluxos de entrada e saída) é gerado automaticamente pelo *software* um gráfico comparativo para as diferentes fases do ciclo de vida do produto, de acordo com determinados indicadores de impactos ambientais. Conforme observado na Figura 18, a interface deste gráfico pode gerar incompreensões para novos usuários, uma vez que os dados não estão expostos de forma “amigável” e elucidativa. Além disso, na aba de “avaliação de impacto”, há as subdivisões de “caracterização”, “avaliação de danos”, “normalização”, “ponderação” e “pontuação única” que dificultam a identificação, para iniciantes, das diferenças e paridades entre elas. Por esta razão, no Capítulo 4, os gráficos de análise dos resultados da ACV da lata de alumínio foram elaborados pela autora.

Figura 18 - Gráfico comparativo para a avaliação dos impactos ambientais nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto.
Fonte: imagem capturada pela autora do *software* SimaPro 7.3.3 Faculty Multi user.

3.2 Contexto Brasileiro

3.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada em 2010, representa um avanço regulatório do setor de políticas públicas brasileiras, principalmente para a redução, reutilização e o tratamento de resíduos. É um instrumento legal que pode ampliar a qualidade ambiental de processos produtivos, de consumo e de retorno dos produtos. Em países da União Europeia (como Holanda, Alemanha e Suécia) a escassez de recursos naturais e os altos índices de poluição favoreceram um esquema político de redução, onde acordos entre o governo e a indústria transferiram a responsabilidade pelo gerenciamento do ciclo de vida dos produtos aos próprios produtores, detentores de competência tecnológica para viabilizar a logística reversa. A política proposta no Brasil segue a mesma lógica gerencial estratégica⁵⁰.

A PNRS apresenta um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos (PNRS, 2010). Dentre os objetivos⁵¹, aqueles de maior relevância para a consideração de questões ambientais no campo do design e para a ACV são:

- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos;
- Adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- Desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas;
- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

---

⁵⁰ Grande parte dos municípios brasileiros ainda não possui gestão de lixo urbano, fato que expõe a urgência da proposição de políticas públicas que regulamentem este processo. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada em 2008 (IBGE, 2010), apenas 17% dos municípios conta com alguma iniciativa de coleta seletiva de lixo. De acordo com estudos da ABRELPE (2010), a maioria das atividades de coleta seletiva não abrange todo o território municipal. A organização é feita, muitas vezes, por convênios com cooperativas de catadores que executam os serviços.

⁵¹ Segundo consta no Artigo 7º da Lei Nº 12.305/2010 (PNRS, 2010), conforme o Governo Federal.

- Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Em análise aos objetivos selecionados, pressupõe-se que as regulamentações dessa política devem, em longo prazo, alterar significativamente a demanda por avaliações do ciclo de vida dos produtos industriais, visto que as diferentes empresas terão a obrigação (por lei) de garantir o recolhimento e a reciclagem dos resíduos⁵², além da adequada disposição final dos rejeitos⁵³. Neste âmbito, a PNRS pode ampliar a relevância da ACV, possibilitando o controle das operações realizadas e das vias de retorno do produto ao ciclo produtivo.

No que se refere ao campo de atuação do design e às contingências de aplicação da ACV como ferramenta estratégica para a qualidade ambiental dos produtos e processos, os instrumentos⁵⁴ (ou planos de ação) mais relevantes constantes na PNRS são:

- A coleta seletiva, a logística reversa e outras ferramentas relacionadas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- Cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para desenvolver pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final adequada de rejeitos;
- Alterações na rotulagem, redução de resíduos e uso de tecnologias limpas;
- Mudanças nos padrões de distribuição e consumo.

Para Del Bel⁵⁵, a PNRS é uma lei complexa, que pode ser simplificada a partir de cinco eixos: padrões ambientais; responsabilidade pós-consumo; integração dos catadores; instrumentos de gestão pública para planejamento e controle; e

---

⁵² Consideram-se os resíduos no estado sólido e semi-sólido, originários de atividades industriais; domésticas; hospitalares; comerciais; de serviços de varrição ou agrícola, incluindo resíduos de instalações de controle de poluição que não possam ser lançados na rede pública (NBR 10004, 2004).

⁵³ Rejeitos são resíduos sólidos que não possuem mais possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis. A disposição final é a única alternativa.

⁵⁴ Segundo consta no Artigo 8º da Lei Nº 12.305/2010 (PNRS, 2010), conforme o Governo Federal.

⁵⁵ Presidente da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE), em entrevista na data de 15 de julho de 2011 à pesquisadora.

instrumentos econômicos. No que diz respeito à ACV, a responsabilidade pós-consumo é o eixo mais relevante, uma vez que considera o controle compartilhado pelo ciclo de vida dos produtos e o conceito de logística reversa, incluindo os acordos setoriais. Estes aspectos são diretamente influentes no projeto e no planejamento dos produtos industriais, visto que as alterações ocorridas no ciclo de vida destes refletem novas propostas de desenho, de uso e de serviços oferecidos.

No entanto, o funcionamento de um dos eixos depende da evolução de todos os outros, o que reforça a complexidade desta política. A eficiência do trabalho dos catadores, por exemplo, depende da qualidade da coleta seletiva, que, por sua vez, permite o retorno dos produtos ao ciclo produtivo. Neste contexto, considera-se para essa pesquisa que a integração da PNRS à Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e à Política de Saneamento Básico (PSB) completou o “arsenal” necessário para viabilizar a gestão de resíduos no Brasil, porém implica em mudanças nos sistemas adotados até o presente (ABRELPE, 2010).

Quanto ao setor de embalagens, que afeta ao campo do design, a PNRS (2010) estipula diretrizes que se relacionam com as etapas de concepção e projeto: o volume e o peso das embalagens devem ser restritos às dimensões requeridas para a proteção do conteúdo e para a comercialização do produto; devem ser projetadas de modo a possibilitar a reutilização; ou devem ser recicladas, caso não seja possível reutiliza-las.

3.2.2 Possíveis Contribuições da ACV Para o Design

A ACV, de modo geral, considera e contextualiza os impactos ambientais presentes no ciclo de vida dos produtos industriais projetados, em princípio, por profissionais do design. Esta ferramenta simula a colocação de um produto no mercado (por meio de modelos já existentes), identificando possíveis impactos, restrições e efeitos ambientais. Sendo assim, pressupõe-se neste trabalho que a inserção da ACV no campo do design admite prever danos ao meio ambiente, antes

que o produto em análise seja produzido ou comercializado, simulando cenários, no caso de produtos inovadores, ou avaliando dados e resultados de produtos similares já encontrados no mercado, quando se tratar de um “reprojeto”.

A metodologia de projeto de produto em design tem papel referencial na definição criteriosa das melhorias projetuais a serem incorporadas no produto. Nesta fase de projeto, os designers têm responsabilidade sobre o produto produzido, incorporando questões de inovação, ergonomia, praticidade, eficiência produtiva, qualidade mercadológica, dentre outras. Desta forma, a associação entre a metodologia de projeto e a ACV sugere uma estratégia para prevenir danos ambientais, que não seriam evitados sem planejamento.

Com a ACV, o projeto do produto ganha o status de projeto do sistema de produto, mesmo quando se trata de um só objeto, já que a ideia de sistema implica em considerar os contextos dos materiais, processos e serviços antes, durante e depois da fabricação, consumo e posterior descarte. As contribuições (ou aplicações diretas) da ACV no campo do design serão discutidas no Capítulo 5, após a simulação do estudo de caso de ACV da lata de alumínio, porém é possível citar algumas evidências já observadas até este ponto do estudo: criação de selos verdes direcionados para ampliar a gestão ambiental; melhoria de produtos e materiais; planejamento estratégico; validação e justificativa de escolhas ambientais; análise crítica de técnicas produtivas; credibilidade às alternativas “eco eficientes”; aumento da qualidade dos sistemas de produção, consumo e reuso.

Capítulo 4

Estudo de caso

Capítulo 4

Estudo de caso

Este capítulo apresenta uma investigação sobre os diferentes aspectos envolvidos no ciclo de vida da lata de alumínio para a indústria cervejeira no Brasil. A escolha da lata, como foco deste trabalho, está relacionada às possibilidades de delimitação do seu ciclo de vida, já que as empresas responsáveis por sua produção e posterior reciclagem estão organizadas para o controle das etapas que o compõe, incluindo a logística reversa. No campo do design, o conhecimento destas etapas permite considerar questões técnicas e de viabilidade produtiva, introduzindo possíveis alternativas (que sejam viáveis industrialmente) para reduzir os impactos ambientais já nas fases de concepção e de projeto, complementando e integrando requisitos ambientais comumente empregados no design.

Os dados empíricos sobre a lata de alumínio foram obtidos por meio da realização de pesquisas de campo nas principais empresas do setor. As visitas às fábricas e os depoimentos dos profissionais da área ampliaram a visão dos processos que fazem parte do ciclo produtivo, tornando-se importante para a simulação da ACV do produto, conforme apresentado no item 4.3, e colaborando para avaliar a utilização dos resultados nos métodos projetuais do design. De toda forma, as informações coletadas em campo não foram suficientes para a modelagem do inventário de aspectos ambientais do ciclo de vida (procedimento fundamental da ACV), sendo necessário buscar dados complementares para referência de cálculo e de quantidade na literatura específica.

Os limites encontrados para o estudo de ACV estão descritos também no item 4.3, sendo que as dificuldades fundamentais se resumiram em estabelecer quais etapas do ciclo de vida da embalagem seriam incluídas, e quais perspectivas deveriam ser consideradas para quantificar entradas e saídas do sistema, visto que os estudos análogos consultados incluem diferentes fatores de cálculo, e os dados podem variar de acordo com o foco definido.

4.1 O Uso do alumínio em embalagens: o caso da lata

A lata de alumínio é tida como a embalagem para bebidas mais reciclada no mundo⁵⁶. A difusão do conceito de logística reversa neste segmento, viabilizada pelo alto valor da sucata de alumínio, que converte a atividade de coleta em fonte de renda, favoreceu a simulação do estudo de ACV e as posteriores análises da sua aplicação na metodologia de projeto em design, conforme discussões no Capítulo 5. Atualmente, o ciclo de vida da lata (Figura 19) se encontra bem delimitado, implantado e em funcionamento no país, uma vez que as empresas envolvidas em sua produção e comercialização estão estruturadas para o controle total dos seus processos, havendo disponibilidade de uma quantidade considerável de dados.

Figura 19 - Ciclo de vida simplificado da lata de alumínio. Fonte: elaborado pela autora.

⁵⁶ O Brasil apresenta uma taxa de reciclagem de 98,2% do total de latas consumidas. O setor tem atraído investimentos destinados a aumentar a capacidade de produção de latas, que chegou a 14,8 bilhões em 2009 (ABRALATAS apud ABAL, 2010).

4.1.1 Indústria do alumínio e propriedades do material

A variedade de aplicações possíveis para o alumínio, devido às suas características físico-químicas (baixo peso específico, resistência à corrosão, alta condutibilidade elétrica e térmica), faz com que sua produção mundial atual supere a soma de todos os outros metais não ferrosos (ABAL, 2007). Os processos industriais para a fabricação deste material são diversos, abrangendo todas as técnicas metalúrgicas usuais, amplamente utilizadas pela indústria brasileira que, segundo dados da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), possui a terceira maior jazida de bauxita⁵⁷ do mundo, sendo a quarta na produção de alumina. Dentre as principais aplicações do alumínio⁵⁸, o setor de embalagens flexíveis⁵⁹ para bebidas e alimentos se mantém em destaque quanto ao uso e à eficiência na reciclagem.

De modo geral, a obtenção do alumínio primário se divide em três grandes etapas: mineração, refinaria e redução (ABAL, 2007). A mineração da bauxita exige a remoção da vegetação e do solo orgânico, além das camadas superficiais do solo, compostas em essência por argila e lateritas. As áreas de mineração passam por um processo de reabilitação após a extração do minério (CBA, 2011), conforme exposto nas imagens a seguir (Figuras 20 e 21).

Além da supressão da vegetação original e dos resíduos gerados com relação ao solo, as camadas superficiais (que possuem maior fertilidade, com nutrientes e matéria orgânica) são removidas por completo (Figura 20). As camadas inferiores ficam expostas a fortes processos erosivos, o que pode desencadear, por exemplo, o assoreamento⁶⁰ dos corpos d'água no entorno. Ficam evidentes as modificações

---

⁵⁷ A bauxita é o minério mais importante para a produção de alumínio, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio, além de sílica, óxidos de ferro e titânio. Em média são necessárias quatro toneladas de bauxita para a obtenção de uma tonelada de alumínio (CBA, 2011).

⁵⁸ Pode-se citar: esquadrias, revestimentos, telhas e estruturas na construção civil; carrocerias e peças para meios de transporte em geral e para a indústria automotiva; aeronaves; embarcações; vagões de trem e de metrô; cabos condutores; bases de lâmpadas; capacitores; tubulações; trocadores de calor e tanques de estocagem; produtos da indústria de eletroeletrônicos; bens de consumo como refrigeradores, micro-ondas e liquidificadores; etc.

⁵⁹ O maior consumo por produto corresponde às chapas e lâminas (38,8%), utilizadas em embalagens.

⁶⁰ O processo de assoreamento corresponde ao depósito de sedimentos no fundo dos corpos d'água, diminuindo sua profundidade, alagando áreas do entorno e reduzindo a qualidade da água.

radicais ocorridas no meio ambiente para que a lavragem seja viabilizada, uma vez que as condições e características próprias e particulares do solo e da paisagem não são recuperadas (Figura 21).

Figuras 20 e 21 - Frente de mineração e mesma área após reabilitação.
Fonte: ALCOA, 2011, *online*. Acesso em: 21 ago. 2011.

Em geral, a mineração provoca um conjunto de efeitos não desejados que podem ser denominados de externalidades. Algumas dessas externalidades são: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Estas externalidades geram conflitos com a comunidade, que normalmente têm origem quando da implantação do empreendimento (BITAR apud FARIAS, 2002, p. 13).

O beneficiamento, por sua vez, consiste na britagem, lavagem com água (que reduz o teor de sílica) e secagem. O material é então enviado para a refinaria, onde é produzida a alumina por meio do processo *Bayer*⁶¹. As principais fases de produção de alumina são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. As operações realizadas na refinaria são complexas e podem ser resumidas em um circuito mais simples, conforme esquema abaixo (ABAL, 2007):

Figura 22 - Fluxograma básico de uma refinaria. Fonte: ABAL, 2007, p. 6 e 7.

⁶¹ Disponível para consulta em literatura específica: ABAL, 2007.

O alumínio pode ser infinitamente reciclado após o descarte, em decorrência de um sistema eficiente de coleta e reprocessamento⁶². Muito se discute sobre os benefícios dessa reciclagem, já que a reinserção do material na fabricação de produtos finais elimina as etapas impactantes de extração da bauxita; transformação em alumina e redução eletrolítica⁶³.

As latas para bebidas apresentam altas taxas de reciclagem (ABAL, 2010), e os demais componentes (tintas de impressão para o rótulo, além de pigmentos e vernizes para vedar a lata de contaminações externas) são queimados no forno de calcinação e liberados em forma de fuligem não tóxica. Os impactos associados a estes componentes abrangem, assim, o consumo de energia e as emissões durante a aplicação e secagem.

Torna-se evidente que o sistema produtivo do alumínio utiliza uma grande quantidade de energia (elétrica e térmica) e de água, de maneira intensiva e constante⁶⁴, em contraposição ao excelente índice de reaproveitamento do material no Brasil. A indústria brasileira, se comparada aos demais países produtores de alumínio⁶⁵, tem ainda a vantagem de contar com uma matriz energética prioritariamente de base hídrica, limpa e renovável, além do alto grau de desenvolvimento das tecnologias de processo das empresas instaladas no país e das elevadas taxas de reciclagem. “O alumínio é leve, reciclável e, se for brasileiro, feito com energia elétrica limpa, tem menos CO₂; se for reciclado, tem menos CO₂ ainda” (JOHN, 2010, p. 26).

---

⁶² Segundo a ABAL (2010), a reciclagem economiza 95% da energia utilizada para produzir o alumínio a partir da bauxita (cada tonelada reciclada poupa a extração de cinco toneladas deste minério).

⁶³ O alumínio primário é obtido pela redução eletrolítica do pó de alumina, que se decompõe em oxigênio. Este oxigênio, combinado com o ânodo de carbono, é liberado na forma de CO₂ e alumínio líquido (ABAL, 2011).

⁶⁴ A redução eletrolítica do alumínio (eletrolise), por si só, demanda cerca de 80% do total de energia primária, de acordo com a média mundial (IAI, 2011).

⁶⁵ Em países como a Austrália, por exemplo, é dominante o uso de energia a partir de combustíveis fósseis, compostos por recursos naturais não renováveis.

4.1.2 A reciclagem da lata de alumínio no Brasil

A reciclagem do alumínio, conforme estudado nesta pesquisa, integra um sistema complexo enquanto estrutura industrial, onde as empresas que participam do ciclo produtivo têm características de oligopólio e de internacionalização da produção (multinacionais), ao mesmo tempo em que as atividades de coleta para o reprocessamento do material são difusas e não possuem uma organização sistematizada. De toda forma, tendo em vista que o processo de reciclagem é geralmente viabilizado e regulamentado por políticas públicas, o fato da indústria de latas de alumínio brasileira ter constituído uma logística reversa independente das regulamentações é um exemplo eficiente de gerenciamento de resíduos sólidos.

Para Lima (2007), o sistema da lata de alumínio pode ser dividido em dois circuitos econômicos: um formal, no nível da indústria, e outro informal, no nível do catador. Este sistema informal não apresenta dados sistematizados e exatos sobre o material pós-consumo, devido à diversidade e a inconstância de operação das cooperativas e dos grupos de coleta. Em análise a esta realidade, pode-se constatar que existem dois extremos no processo de logística reversa, expondo a contradição entre o controle competente da produção industrial e a precariedade das condições socioeconômicas e de falta de apoio institucional sob as quais o material é recolocado na indústria, como insumo da cadeia de reciclagem.

O processo de reciclagem é relativamente novo no país⁶⁶, portanto ainda se encontra em fase de estruturação. Esse sistema se organizou a partir de leis de demanda do mercado, visto que até o ano de 2010, quando foi sancionada a PNRS, não havia legislação federal que instituísse a responsabilidade pelo controle logístico (reverso) das embalagens. Historicamente, o investimento pioneiro da Latasa⁶⁷, em 1991, foi responsável por preparar, lançar, desenvolver e consolidar o primeiro programa de coleta seletiva e de reciclagem de embalagens no Brasil.

---

⁶⁶ A reciclagem de latas de alumínio completou 21 anos. Há países que reciclam há mais de 40 anos.

⁶⁷ A Reynolds Latasa, primeira empresa a produzir latas de alumínio mundialmente, já havia iniciado a reciclagem de embalagens em 1968 em diversos pontos dos EUA. A lógica americana “aluminum is money” já estava consolidada quando o sistema foi implementado no Brasil, 23 anos depois.

Neste mesmo ano, foi criada a comissão de reciclagem da ABAL, que impulsionou ações de coleta em supermercados e a divulgação e a informação à sociedade por meio de palestras em escolas.

As grandes concorrentes da Latasa na produção de latas⁶⁸ se instalaram no país a partir de 1995, ampliando os investimentos e a geração de tecnologia de ponta para a produção e a inserção do material reciclado (ABRALATAS, 2011). No gráfico abaixo (Gráfico 4), é possível visualizar a rápida ascensão dos índices de reciclagem das latas de alumínio, mais evidente de 1991 a 1995, período que corresponde à expansão do programa citado anteriormente.

Gráfico 4 - Evolução da reciclagem de latas de alumínio.
Fonte: ABAL, 2010 apud ABRELPE, 2010, p. 37.

Segundo a ABAL (2007), a reciclagem se tornou intrínseca à produção de alumínio, uma vez que as empresas procuram reaproveitar os retalhos de chapas, perfis e laminados, dentre outros materiais do processo de fabricação. Em análise aos dados apresentados neste trabalho, é possível dizer que a economia de energia é um dos principais motivadores deste reaproveitamento, elevando a produtividade e reduzindo a quantidade de sucata industrial.

⁶⁸ Latapack Ball, Crown Cork e American National Can.

Conforme discutido anteriormente, a indústria do alumínio primário é eletrointensiva, visto que 40% do custo total da produção do material é de energia. O maior consumo está na obtenção do alumínio pelo processo eletrolítico, e não nas etapas iniciais de mineração da bauxita e refinaria da alumina (ABAL, 2010). Estes dados podem ser obtidos em estudos de ACV, porém é necessário associá-los a análises que incluam o planejamento e a execução de inovações produtivas e tecnológicas, principalmente nos campos do design e da engenharia.

Ainda sob um viés econômico, incluindo fatores de influência sociocultural, a geração de renda e a alta valorização da sucata de alumínio também são impulsionadores dos altos índices de reciclagem no Brasil. “A média mundial, nos países que já aplicavam a reciclagem das latinhas, era de 83 dias. No Brasil, em 1995, era de 91 dias. Hoje, é de 30 dias apenas, o melhor índice de todo o mundo” (GIOSA, 2010, p. 68).

4.1.3 Métodos para o projeto de embalagens

A concorrência do mercado e a busca pela eficiência nas relações de comércio fizeram com que a embalagem se tornasse mais do que um recipiente para acondicionar, conservar e proteger seu conteúdo no transporte e na armazenagem. Ela é a identidade do produto e a forma mais clara de sensibilizar o consumidor, sendo indispensável para a venda do mesmo. A embalagem acompanha tendências sociais e culturais, incorporando aspectos do marketing ao design. “Conter, proteger, identificar, expor, comunicar e vender o produto são as tarefas que a embalagem moderna precisa desempenhar com eficiência para fazer o produto existir num cenário cada vez mais competitivo” (MESTRINER, 2004, p. 17). Fica claro, então, que projetar e produzir embalagens se tornou uma questão complexa, que vai além da função, da atratividade, das exigências legais e da eficiência no transporte.

O destino natural de qualquer embalagem produzida é, inevitavelmente, o descarte. Por esse motivo, a gestão do ciclo de vida é relevante para amenizar os danos ambientais. A técnica de ACV se justifica, neste setor, como estratégia de projeto em design, considerando os ciclos de consumo, descarte e retorno.

Em geral, as embalagens se dividem em dois tipos básicos: de transporte industrial, para estocar e acondicionar o produto na fábrica, no carregamento, na descarga e no ponto de venda; e de consumo, que pode ser para o uso do produto ou para a sua exposição no ponto de venda (display). Estas podem, ainda, ser (MALAGUTI, 2000):

- *Descartáveis*: do tipo “use e jogue fora”, podendo ser reciclável ou não;
- *Retornáveis*: volta ao fabricante após o consumo do produto, a fim de ser reutilizada da mesma forma que a anterior;
- *Com refil*: somente uma parte (geralmente frágil e simples) é descartada;
- *Com uso secundário*: pode ser utilizada para outros fins após o consumo;
- *Recicláveis*: o material descartado é reprocessado e aplicado em outro ou no mesmo tipo de embalagem, como ocorre com as latas de alumínio;
- *Degradáveis*: o material se decompõe sob a ação da luz, oxigênio e umidade.

A reciclagem reduz potencialmente a quantidade de embalagens dentre os resíduos sólidos urbanos, ampliando a vida útil dos aterros e gerando economia de recursos naturais. Os números⁶⁹, por sua vez, demonstram o sucesso da reintrodução do alumínio no ciclo produtivo quando comparado aos demais materiais empregados em embalagens.

Neste cenário, a coordenação logística é indispensável, visto que esta se relaciona ao gerenciamento de questões funcionais que incluem o transporte, o armazenamento, o fluxo de materiais e a movimentação de insumos e produtos ao longo de toda a cadeia produtiva, além dos sistemas operacionais dos canais de venda⁷⁰, do descarte, da coleta seletiva, etc.

⁶⁹ Os índices de reciclagem no Brasil são: aço 85%; longa vida 20%; papelão ondulado 79%; alumínio 98,2%; papel 46%; PET 55,6%; plásticos em geral 19,4%; e vidro 47%. (ABRELPE, 2010).

⁷⁰ Os supermercados, por exemplo, recebem os produtos em centros próprios de armazenagem e distribuição, para depois transportá-los até as lojas. As embalagens são compactadas em blocos.

As discussões sobre logística reversa têm aumentado de forma considerável no Brasil, principalmente após a sanção da PNRS (2010). Este modelo promove o controle dos objetos após o seu descarte, tendo como meta e desafio instituir um fluxo reverso dos materiais até os canais de distribuição (Figura 23). A gestão logística deve estar integrada à gestão de fim de vida do produto, em um circuito fechado. “Assim, o papel da logística reversa está no âmago da gestão do fim de vida das embalagens, devendo ser dirigido tanto pela oportunidade econômica como pela preocupação ambiental” (GONÇALVES-DIAS, 2006, p. 473).

Figura 23 - Oportunidades no gerenciamento de resíduos sólidos.

Fonte: adaptado pela autora de CONTESINI, 2011, não paginado.

Do ponto de vista metodológico, a lata de alumínio pode ser considerada como um caso a parte dentro dos próprios métodos de projeto de embalagens, uma vez que seu desenho opera principalmente na comunicação visual, ou seja, na definição do rótulo com forte inserção de aspectos do marketing, conforme será discutido no item 4.1.4. Estes elementos, por sua vez, representam apenas uma parte das diretrizes que compõem os métodos mais utilizados para desenvolver uma embalagem, alguns deles brevemente expostos a seguir.

Seragini (1978 *apud* PEREIRA; SILVA, 2010) e Mestriner (2004) apresentam em suas metodologias de projeto de embalagem uma estrutura de pensamento linear, composta por processos que se retroalimentam. A primeira possui sete fases: identificação do tipo de desenvolvimento; planejamento preliminar; composição

estrutural; desenvolvimento formal e gráfico; implantação; avaliação e correção de falhas e problemas; e embalagem no mercado. Já a proposta de Mestriner (2004) possui seis fases sequenciais: *briefing*; estudo de campo; estratégia de design; desenho; e implantação do projeto.

Gurgel (2007) propõe uma sequência metodológica onde cada etapa alimenta a seguinte e, ao final de cada uma, há a avaliação dos trabalhos desenvolvidos, abrangendo, assim, três etapas que compreendem oito fases. A geração de ideias ocorre antes mesmo da coleta completa de informações, diferente dos dois métodos citados acima.

A primeira etapa é de “definição da proposta de trabalho”, dividida em duas fases: atendimento das necessidades dos consumidores, na qual são realizadas pesquisas de mercado e desenhos esquemáticos; e avaliação do custo da embalagem (valor mercadológico e custo industrial). A segunda etapa é de “desenvolvimento tecnológico”, composta por três fases: desenhos preliminares, seleção de matérias-primas e desenvolvimento estrutural e gráfico da embalagem; detalhamento dos desenhos; e composição do sistema de informação do projeto. A etapa final é a “avaliação econômica do projeto”, que é composta pela correção de rumos; viabilidade comercial da embalagem; e revisão crítica.

Os métodos exibidos acima enfatizam questões técnicas, mercadológicas e funcionais, não contemplando diretamente requisitos de preservação ambiental. Semelhante ao que ocorre com as metodologias gerais de projeto de produto analisadas nesta dissertação, as propostas mais recentes têm buscado incorporar estes requisitos no projeto de embalagens, como é o caso de Jedlicka (2009).

Jedlicka (2009) apresenta uma série de aspectos e diretrizes relevantes para repensar o atual sistema de produção e consumo de embalagens, reforçando o princípio básico de que estas devem ser vistas como um sistema integrado ao meio econômico, social e ambiental (Figura 24). A autora discute estes e outros pontos citando exemplos de produtos lançados no mercado, o que facilita a compreensão sobre a aplicação prática dos conceitos.

Figura 24 - Embalagens existem dentro dos sistemas econômico, social e ambiental.
Fonte: adaptado pela autora de JEDLICKA, 2009, p. 139.

Neste contexto, a ACV é vista como um procedimento importante para a gestão do ciclo de vida da embalagem, considerando a inclusão de critérios de preservação do meio ambiente como parte fundamental da inovação, que pode ser classificada pela melhoria da qualidade; criação de novos mercados; ampliação da gama de produtos; redução de mão de obra, materiais, impactos ou gastos com energia; melhorias no processo, substituindo os produtos por serviços; e adaptação às restrições (incluindo a regulamentação) (JEDLICKA, 2009).

Dentre as definições de embalagem sustentável, estão: é benéfica, segura e saudável para os indivíduos e comunidades ao longo de todo o seu ciclo de vida; atende aos critérios de mercado no que diz respeito ao desempenho e custo; é extraída, manufaturada, transportada e reciclada utilizando fontes de energia renováveis; amplia o uso de matérias-primas renováveis ou recicladas; é produzida a partir de tecnologias produtivas limpas; é fisicamente desenhada para otimizar os materiais e a energia; e é efetivamente recuperada e utilizada em ciclos biológicos ou industriais do tipo “berço ao berço” (JEDLICKA, 2009).

Algumas destas definições estão diretamente relacionadas ao ciclo de vida da lata de alumínio, no entanto, como será visto no próximo subcapítulo, há aspectos metodológicos essenciais que não são incorporados, como ergonomia, aprimoramento formal e, até mesmo, discussão da eficiência ambiental do material empregado (proveniente de um recurso não renovável).

4.1.4 O design da lata de alumínio para bebidas

A atividade de projeto em design está diretamente relacionada ao conhecimento das demandas e das necessidades do setor e dos usuários para os quais o produto será projetado. No caso particular da lata de alumínio, as características funcionais, formais e visuais estão atreladas à eficiência no acondicionamento da bebida (neste estudo, a cerveja) e às possibilidades de produção industrial, considerando, em paralelo, as relações estabelecidas com o consumidor, como identidade e praticidade.

Os aspectos ergonômicos, de percepção e de usabilidade, por sua vez, não estão claramente incorporados no design da lata, visto que nas pesquisas de campo e na literatura não foram localizadas informações pertinentes sobre proposições de melhorias no projeto, ou sobre investigações de satisfação do usuário quanto à forma e à função desta embalagem, refletindo sobre o manuseio, a adequação e o conforto na utilização do produto.

No setor de embalagens para bebidas, o design considera também a eficiência do material empregado para a higiene e a integridade do conteúdo. Segundo informação verbal de Costa⁷¹ (2011), o alumínio é eficaz para armazenar a cerveja, visto que não há registros representativos de problemas de contaminação e a durabilidade do produto é a mesma do que quando armazenado em embalagem de vidro: a validade é de um ano para ambos os casos.

Ainda de acordo com Costa (2011), o design da lata de alumínio costuma seguir as demandas próprias da indústria cervejeira, que define o *briefing* e a abrangência do trabalho, geralmente direcionado para mínimas variações de formato (Figura 25) e alterações no rótulo. Isso se explica pelo fato de que as inovações formais, funcionais e estruturais na lata envolvem investimentos adicionais nas fábricas, já que as máquinas estão adaptadas para os copos

---

⁷¹ Diretor de Marketing Corporativo e Relações com o Mercado do Grupo Petrópolis, em visita técnica feita à fábrica da empresa em Boituva (São Paulo), em 23 novembro de 2011.

cilíndricos, com medidas padronizadas. Sendo assim, identifica-se aqui a falta de oportunidade para que o designer proponha novos desenhos para esta embalagem, visto que existem restrições por mudanças no maquinário e nos processos produtivos em operação, além do alto investimento para as empresas que já contam com um lucro certo na venda da bebida, independente da manutenção ou não do modelo atual da lata.

Figura 25 - Novos formatos para a lata de alumínio (o formato convencional é de 350 ml).
Fonte: ABRALATAS, 2009, p. 28.

Pode-se dizer, então, que o design da lata opera principalmente na comunicação visual, com forte inserção de aspectos do marketing. Isto se tornou ainda mais evidente a partir das observações realizadas durante a visita ao escritório de design que trabalha para o Grupo Petrópolis, onde é concretizado um forte desenvolvimento da identidade e do design visual. A liberdade de criação quanto à volumetria da embalagem é maior na garrafa de vidro, onde alterações formais são viáveis para a indústria. Verifica-se que, em muitos dos casos, as informações gráficas especificadas para o mesmo conteúdo armazenado na garrafa são transferidas automaticamente para a lata, de modo que a comunicação visual gere uma identificação da marca por parte do consumidor.

Ainda com relação ao rótulo, o designer precisa conhecer o processo de impressão⁷², uma vez que as cores e acabamentos diferem consideravelmente do arquivo digital para a superfície da lata de alumínio. Por este motivo, são feitos testes de layout e de impressão em uma empresa especializada, antes que o arquivo final seja enviado à produtora de latas.

O acompanhamento, os possíveis ajustes e a pré-aprovação do rótulo impresso na lata são feitos por um representante da equipe de marketing da fabricante de cerveja e por outro do escritório de design. Nesta etapa, e nas demais antecedentes, não há estudos sobre o ciclo de vida do produto, ou seja, o designer considera apenas aspectos que se relacionam com a demanda específica do cliente, sendo que poderia influir em diversos outros, como em novas tecnologias para a redução de impactos ambientais, conforme exemplos a seguir.

De acordo com Castro⁷³ (REVISTA DO ALUMÍNIO, 2011), há dez anos um quilo de alumínio fazia 49 latas de refrigerante ou cerveja. Após diversas pesquisas, a utilização de espessuras mais finas da chapa de alumínio nas embalagens permitiu produzir 74 unidades com o mesmo quilo. No desenho anterior da lata aparentemente já não havia sobras ou desperdício de chapa, mas foi possível provar o contrário por um direcionamento fortemente econômico, que implantou uma redução na espessura do copo. O design pode deixar sua contribuição justamente em estudos deste tipo, que trazem avanços no projeto e na produção.

Uma das inovações mais recentes no setor de embalagens de alumínio é a tampa *SuperEnd*, desenvolvida pela Crown (REVISTA DO ALUMÍNIO, 2011). Trata-se de uma borda saliente levemente inclinada que permite ao círculo percorrer uma distância menor entre dois pontos (Figura 26). O resultado é a redução de 5% dos insumos e a economia (mundial) de até 600 mil toneladas de alumínio por ano.

---

⁷² Semelhante à flexografia, também conhecido como “dry offset” à seco, neste processo a imagem positiva (reticulada em fotolito) é gravada na placa de impressão em relevo (composta por foto polímero). Uma tinta pastosa à base de resina é aplicada na imagem em relevo por dois rolos previamente entintados. As cores são transferidas separadamente para uma “blanqueta” emborrachada que imprime a imagem na parede da lata em uma única operação. As tintas a base de água secam de forma instantânea, para fixar e não borrar. Utiliza-se o álcool por ser volátil. Não há sobreposição de cores, a gravação é como um carimbo, que marca a lata de uma só vez.

⁷³ Diretor-executivo da ABRALATAS.

Figura 26 - Tampas SuperEnd da Crown (à esquerda) e tampa convencional no mercado (à direita).
Fonte: adaptado da Revista do Alumínio, edição 27, 2011, p. 35.

Atualmente, além dos marcadores econômicos, a inovação também é impulsionada pela referência da preservação ambiental, geradora de novos paradigmas. Os produtos precisam produzir o menor impacto possível, sem perda da qualidade ou da competitividade. Em análise a este contexto, o design, em conjunto com a ACV, pode assumir uma posição estratégica para ampliar a eficiência do produto, visto que a realização de pesquisas e de simulações dos processos inclusos nas diferentes etapas do seu ciclo de vida, já nas etapas de concepção e de projeto, podem evitar danos ambientais futuros durante a sua produção e posterior comercialização.

4.2 Ciclo de vida da lata de alumínio

4.2.1 Estrutura e limitações nas pesquisas de campo

As pesquisas de campo foram realizadas nas principais empresas produtoras de chapas e latas de alumínio, compreendendo também a reciclagem do material e o envase da cerveja. As fronteiras estabelecidas para o estudo estão representadas pela linha pontilhada na Figura 27, englobando desde a fundição para a laminação da chapa até a reciclagem da sucata que retorna ao ciclo produtivo. Deste modo, não abrange diretamente os processos de extração da bauxita, de produção da alumina e de eletrólise, uma vez que estes são comuns aos vários produtos de alumínio, sendo constituídos a partir de dados bibliográficos secundários.

Ciclo de vida da lata de alumínio (1)

Limites para as pesquisas de campo

Figura 27 - Fronteiras das pesquisas de campo para a análise do ciclo de vida da lata de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora.

As empresas analisadas possuem parque industrial no Estado de São Paulo, além de filiais em outros locais do país e do mundo, contribuindo com dados sobre o mercado brasileiro. Os processos produtivos de cada uma são apresentados de acordo com as informações e as impressões pessoais da autora coletadas em campo. As visitas às cooperativas de catadores, aos centros de consumo e aos escritórios de design e de pré-impressão complementaram os dados. Como método de análise, utilizou-se a estrutura analítica linear, na qual é realizada a revisão da literatura para posterior apresentação das descobertas, conclusões e ponderações geradas a partir do estudo empírico, sendo considerada como a abordagem padrão na elaboração de relatórios de pesquisa (YIN, 2001).

4.2.2 Novelis do Brasil

A descrição das etapas do sistema de produção da Novelis, assim como ocorre com as outras empresas visitadas e analisadas, tem um caráter exploratório, guiado pela descoberta. Sendo assim, as informações aqui apresentadas buscam relatar as impressões particulares da pesquisadora, que não se encontram em fontes secundárias.

O parque industrial da Novelis está instalado na cidade de Pindamonhangaba (São Paulo) desde 1977, originário da antiga Alcan. Os investimentos em tecnologia produtiva estão refletidos nos processos altamente automatizados, principalmente para a laminação de chapas de alumínio⁷⁴. Em 2007, a Novelis foi adquirida pela Hindalco Industries Limited, oligopólio multinacional com sede na Índia. Hoje, é a maior recicladora de latas de alumínio do mundo. Segundo informação verbal de Guedes⁷⁵ (2011), a empresa produz 400 mil toneladas de alumínio por ano, incluindo a matéria-prima reciclada⁷⁶.

---

⁷⁴ Observado durante a visita à Novelis em Pindamonhangaba (SP), em 13 de setembro de 2011.

⁷⁵ Engenheiro da Novelis, em apresentação realizada na visita técnica à empresa (idem nota acima).

⁷⁶ Estima-se que 60% deste montante é composto por metal primário, no qual estão considerados os refugos e a sucata de alumínio puro gerados durante os processos produtivos (uma média de 15%). Dos 40% de material reciclado pós-consumo há uma perda de 3 a 5% de alumínio, e isso ocorre em qualquer processo de reciclagem.

As instalações industriais são estruturadas e organizadas, principalmente considerando as proporções de quantidade de matéria-prima e dos produtos finais, neste caso, bobinas de alumínio. Conforme constatação anterior, os processos são todos automatizados e estão em conformidade com o atual posicionamento da empresa, que possui a maior planta de reciclagem de alumínio da América do Sul.

As etapas que compõe o sistema produtivo da Novelis são divididas em quatro grupos: refusão ou fundição; laminação a quente; laminação a frio; e acabamento. O material destinado à reciclagem é adicionado ao alumínio puro no forno de fusão, a uma temperatura de 700° C. O alumínio em estado líquido é transportado por “cadinhos” (caminhão) até a área de refusão. O material resultante é composto por sucata de alumínio (em torno de 40%) e por resíduos do processo somados ao alumínio líquido (60%) ⁷⁷.

No sistema de reciclagem desenvolvido pela Novelis, os fardos de latas de alumínio⁷⁸ (Figura 28) são triturados em pedaços pequenos, medindo apenas uma polegada. Em seguida, passam por um separador eletromagnético e por uma peneira, além da separação por ar quente que divide a sucata por peso, removendo as impurezas. Após as etapas de trituração e triagem, a tinta contida no alumínio (utilizada nos rótulos) é removida no forno de calcinação.

Segundo informação verbal de Rocha (2011), os demais resíduos são liberados em forma de fuligem não tóxica, previamente tratada. Os gases emitidos são processados em um incinerador e reaproveitados para aquecer o ar dos sistemas de entrada, como dos trocadores de calor, reduzindo, mesmo que minimamente, o gasto total de energia.

---

⁷⁷ As porcentagens de quanto representa cada componente no material final da refusão (alumínio derretido) são controladas por sistemas computadorizados e softwares específicos da empresa, que medem as quantidades dos elementos, de acordo com a liga de alumínio pretendida, e indicam o quanto deve adicionado ou subtraído.

⁷⁸ Os fabricantes de latas de alumínio também enviam fardos de latas perdidas durante o processo produtivo. Estes fardos já contêm matéria-prima “limpa” sem necessidade de passar pela triagem do material.

Figura 28 - Fardos para reciclagem na fábrica da Novelis em Nova Iorque, EUA.
Fonte: NOVELIS, 2011, *online*. Acesso em: 17 set. 2011.

Os pedaços de alumínio são, então, inseridos em fornos próprios para o derretimento. O metal líquido é colocado em um molde para esfriar e endurecer, formando um grande bloco sólido (chamado de lingote) que, segundo Guedes (2011), pesa cerca de 20 toneladas, com altura de 5,50 m, largura de 1,84 m e espessura de 600 milímetros (Figura 29).

Figura 29 - Lingote de alumínio sendo transportado para os processos de laminação.
Fonte: NOVELIS, 2011, *online*. Acesso em: 17 set. 2011.

O lingote é transferido para a laminação a quente, onde é pré-aquecido acima da sua temperatura de recristalização (500°C), preparando a superfície para o laminador. O número de passes nos laminadores depende da espessura da chapa: o lingote entra com cerca de 30 mm e sai com uma variação de 2,2 a 9,0 mm⁷⁹. Posteriormente, a chapa passa para a laminação a frio⁸⁰, até que a espessura seja gradualmente reduzida. Nesta fase, há o uso de um software de controle que ajusta o “GAP” (ou os desajustes) dos cilindros de trabalho. O resultado são bobinas de 10 km de comprimento, com espessura de até 0,05 mm (Figura 30).

Figura 30 - Bobinas de alumínio em uma das fábricas da Novelis, em Nova Iorque, EUA. A estrutura industrial é muito semelhante à planta de Pindamonhangaba, em São Paulo.

Fonte: NOVELIS, 2011, *online*. Acesso em: 17 set. 2011.

⁷⁹ O controle de espessura é feito por medidores eletrônicos espalhados por toda a extensão dos rolos. No caso das chapas utilizadas para a produção de latas, deve ser considerada a menor espessura possível.

⁸⁰ Devido ao desgaste, estes cilindros são trocados de 3 a 4 vezes por dia, um número inimaginável antes de conhecer a rapidez (a velocidade chega a 80 km por hora nesta laminação, ou seja, 1.200 metros de chapa por minuto) e a intensidade de uso, já que a fábrica funciona 24 horas por dia.

O conhecimento dos processos industriais da Novelis foi relevante para medir o grau de tecnologia empregado atualmente na produção do alumínio, além das grandes quantidades de insumos e, conseqüentemente, de material produzido. Ao comparar as instalações industriais brasileiras com imagens de outras fábricas pelo mundo (encontradas no site da empresa), fica clara a padronização intrínseca a esta multinacional, uma vez que as estruturas físicas são idênticas. Neste sentido, o Brasil possui o que há de mais moderno para a reciclagem e para a produção de chapas de alumínio, e isto se reflete nas etapas seguintes.

4.2.3 Latapack-Ball

A multinacional Latapack-Ball se instalou em Jacareí (São Paulo) em 1997. A fábrica produz apenas os copos ou corpos das latas de alumínio. As tampas são fabricadas na unidade de Simões Filho (Bahia) e enviadas diretamente para os fabricantes de bebidas, responsáveis pela fixação da tampa no copo, logo após o processo de envase. O volume de produto transportado é bem maior no caso das tampas, justificando o fato destas percorrerem maiores distâncias.

Conforme pôde ser observado na pesquisa de campo, o processo produtivo da lata é extenso e, ao mesmo tempo, muito rápido. Segundo informação verbal de Carrer⁸¹ (2011), são produzidas 2.000 unidades por minuto nos formatos de 350 ml, 473 ml e 500 ml. Com relação ao consumo energético, os fornos da fábrica possuem sistemas de energia a gás, reduzindo os gastos com energia elétrica. Trata-se de um dado relevante para o estudo, visto que o uso de energia é um ponto crítico de geração de impactos no ciclo de vida da lata.

Os resíduos industriais, compostos principalmente pela água utilizada para lavar os copos e pelo óleo que forma uma película protetora na lata, passam por tratamentos para que sejam dispostos de forma adequada no meio ambiente (informação verbal).

---

⁸¹ Gerente de Operações da Latapack-Ball, em visita técnica feita à fábrica da empresa em Jacareí (São Paulo), em 13 de setembro de 2011.

Figura 31 - Instalações industriais da Latapack-Ball em Jacareí, São Paulo.
Fonte: LATAPACK-BALL, 2011, *online*. Acesso em: 17 set. 2011.

Na Figura 31 é possível ver abaixo as bobinas de alumínio (matéria-prima da Latapack-Ball produzida pela Novelis do Brasil) e acima, na esteira com estrutura amarela, os corpos das latas sendo transportados rapidamente, em um processo altamente automatizado⁸².

A primeira etapa da produção da lata é a formação do corpo. A chapa de alumínio, disposta em bobinas, entra em uma prensa de estampagem que a corta em círculos de espessura igual à lâmina original⁸³. Posteriormente, estes círculos seguem para uma segunda prensa, onde as paredes externas sofrem um estiramento. As paredes da lata são reduzidas para uma espessura de 0,0058 mm, sendo que o meio do copo fica um pouco mais fino, com 0,0037 mm, gerando economia de material nesta fase. Ao sair da prensa, as bordas do copo são aparadas para que fiquem retilíneas e com a mesma altura.

⁸² O número de funcionários é reduzido. Ao longo da visita foram observados apenas seis operadores.

⁸³ O alumínio residual deste processo é prensado e enviado para a Novelis para ser reinserido na laminação das chapas, que reassumirão a forma de bobina.

As latas são lavadas várias vezes, passando em seguida para um forno de secagem que esteriliza o material. O processo de impressão do rótulo⁸⁴ é feito pela técnica de flexografia, na qual os copos recebem várias cores simultaneamente. Na sequência, é aplicado um verniz de revestimento interno para formar uma camada de proteção que impede o contato do material com a bebida. O verniz é aplicado, também, na parte de baixo do copo. As latas são, então, encaminhadas ao forno de secagem. Por fim, é feita a redução do pescoço e do perfil da borda do copo, onde será encaixada a tampa na empresa fabricante de bebidas.

A capacidade de estocagem da Latapack-Ball é de 260 milhões de unidades de latas, com ciclos de rotatividade de aproximadamente um mês. O número de pallets carregados e empilhados no galpão anexo à fábrica é mesmo considerável. Outra informação importante para as discussões desta pesquisa é que as latas produzidas possuem números de controle por lote, gravados na própria embalagem. Os números correspondem ao ano e mês de fabricação e ao turno de trabalho (diurno ou noturno). Esta identificação permite rastrear a lata, demonstrando, desta forma, uma estratégia para ampliar o controle sobre o seu ciclo de vida, relevante para o desenvolvimento da ACV e para incorporar este conceito nas diferentes fases, incluindo o projeto em design.

4.2.4 Grupo Petrópolis

O Grupo Petrópolis está entre os maiores fabricantes de cerveja do país, com quatro fábricas em diferentes Estados. A pesquisa de campo foi realizada no amplo parque industrial de Boituva (São Paulo), onde a eficiência dos processos de enchimento das garrafas de vidro e das latas de alumínio se assemelha aos de fabricação das latas: são rápidos e automatizados, com número reduzido de funcionários na linha de produção. Segundo informação verbal de Costa⁸⁵ (2011),

---

⁸⁴ A Latapack-Ball recebe o “printer” (um arquivo eletrônico com o design do rótulo da lata) dos próprios fabricantes de bebidas. São, então, feitos filmes de impressão para gravar o rótulo na lata.

⁸⁵ Diretor de Marketing Corporativo e Relações com o Mercado do Grupo Petrópolis, em visita técnica feita à fábrica da empresa em Boituva (São Paulo), em 23 de novembro de 2011.

são envasadas 2.000 latas por minuto (Figura 32), equivalendo à quantidade desta embalagem (por tempo) produzida pela Latapack-Ball.

Figura 32 - Instalações da Petrópolis em Boituva (SP), linha de enchimento de latas de alumínio.
Fonte: Imagem da autora.

Na imagem acima (Figura 32) é possível ver as esteiras que transportam as latas entre uma estação e outra. As latas vazias são lavadas somente com água para retirada de pó e de resíduos após o transporte, primeiramente com a “boca” para cima e depois com a “boca” para baixo, até serem viradas novamente para o envase da bebida.

Com relação às restrições industriais impostas ao campo de atuação/criação do design, foi feita uma observação relevante durante o processo de enchimento. A máquina responsável por girar as latas para o envase da bebida (Figura 33) se encaixa exatamente na circunferência do corpo. A esteira sob a qual a lata é transportada também se adequa ao tamanho de sua base, possibilitando, assim, a automatização do sistema sem que haja grandes desperdícios. Este é um fator crítico para o designer, visto que limita as alternativas ou alterações de desenho para este produto.

Figura 33 - Máquina com estrutura giratória e mecanismos para despejar a cerveja dentro da lata.
Fonte: Imagem da autora.

Figura 34 - Estrutura que posiciona as tampas para uso na máquina onde a lata é fechada, e rolos de papel pardo contendo as tampas enviadas pela Latapack-Ball. Constatou-se que o volume compacto das tampas para o transporte justifica a produção na Bahia, ao invés da produção de latas, onde o volume é bem maior. Fonte: Imagem da autora.

Por outro lado, o conhecimento dos processos que fazem parte do ciclo de vida da lata pode ser convertido em oportunidade de projeto, uma vez que permite a análise das interfaces do design com os aspectos de produção, de consumo e descarte inerentes ao objeto de estudo, além da reflexão sobre os impactos causados ao meio ambiente.

Figura 35 - Um dos vários instrumentos para contagem das latas, localizado após as máquinas responsáveis pelo envase e pela pasteurização. Fonte: Imagem da autora.

Após o processo de pasteurização⁸⁶, realizado já com a lata fechada, as embalagens passam por um equipamento que emite raios ultravioletas capaz de matar micro-organismos. É feita, também, uma constante contagem das unidades (Figura 35), com o intuito de computar as perdas de embalagens descartadas automaticamente quando detectadas imperfeições.

Em uma primeira análise, as pesquisas de campo realizadas nas empresas responsáveis pela manufatura do alumínio e seus produtos contribuíram de forma significativa para ampliar o conhecimento dos processos produtivos da lata, evidenciando a organização desta indústria. As frases “tudo é reaproveitado” ou “há um sistema de tratamento para estes resíduos” foram enfatizadas ao longo das três visitas. De toda forma, não fica claro o grau de impactos ambientais causados em cada etapa ou para cada elemento comum aos diferentes procedimentos, como o alto consumo de energia (presente em todas as etapas). O levantamento de dados adicionais para o estudo de ACV, assim, é útil para quantificar os impactos ao meio ambiente dos processos já estudados até aqui.

⁸⁶ Trata-se de um processo térmico para elevar a temperatura do líquido e resfriar à temperatura ambiente, a fim de quebrar a atividade das moléculas e aumentar a durabilidade do produto.

4.2.5 Logística de transporte e distribuição

A logística de transporte e a distribuição dos produtos são fundamentais para a consideração do ciclo de vida, porém a complexidade e a instabilidade inerentes a estes sistemas demandam uma investigação detalhada e criteriosa, que poderia ser foco ou tema de pesquisas futuras. Por mais que se tenha conhecimento de como funcionam, partindo de investigações pontuais em centros de consumo específicos, não é possível abranger toda a problemática da coleta seletiva, da qual fazem parte as unidades de processamento de resíduos e as empresas recicladoras, que representam um dos grandes “gargalos” atuais. Cabe considerar, também, as políticas de descontinuidade dos serviços, geralmente desencadeadas por troca de governante ou períodos de férias coletivas, dentre outros motivos.

Essa realidade se reflete nos estudos de ACV do produto, que costumam considerar o transporte de insumos entre as fábricas, porém não incorporam, por exemplo, a distribuição ao consumidor final e a logística reversa de retorno dos materiais à indústria. A quantificação dos impactos ambientais destas etapas se torna inviável, principalmente no contexto brasileiro, onde as dimensões territoriais impedem análises localizadas de produção e consumo.

4.2.6 Consumo e coleta seletiva

O sistema de coleta de lixo na cidade de São Paulo é realizado por dois consórcios financiados pela prefeitura: Ecourbis e Loga Logística Ambiental. O lixo reciclável é coletado juntamente com o comum, sendo que o primeiro é enviado para as cooperativas cadastradas e o segundo é destinado aos aterros sanitários. Segundo informações obtidas durante a visita técnica à Loga, a coleta seletiva abrange 1% do total de materiais recicláveis e, deste 1%, somente 60% é efetivamente reaproveitado (informação verbal).

A informalidade na coleta, principalmente no caso das latas de alumínio, é um ponto crítico para o controle da logística reversa dos materiais, uma vez que existe uma quantidade significativa de catadores e sucateiros não credenciados, além dos indivíduos que apenas complementam a renda com a atividade de “catação”, como funcionários de condomínios residenciais, por exemplo. As cooperativas ficam na margem do processo, recebendo uma quantidade pouco representativa de latas de alumínio. De acordo com os funcionários da cooperativa Vira Lata⁸⁷, que atualmente sobrevive da separação e venda de papel (Tabela 12), não há nenhum incentivo por parte da indústria para alterar esta realidade, incluindo as difíceis condições de trabalho às quais estes estão submetidos.

Tabela 12 - Comparativo de quantidade (em toneladas) dos principais materiais recebidos pela Vira Lata.

MATERIAIS (t)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TOTAL
VIDROS	145	136	230	269	134	131	386	1431
PLÁSTICOS	40	71	123	141	76	103	118	672
TETRA PAK	18	21,6	36	30	16,4		28,3	150,3
PET	23	27,4	49,8	45	22	59,5	31	257,7
PAPEL	202	251	464	732	373	309	567	2898
PAPELÃO	138	178	313	559	252	512	665,8	2617,8
SUCATA FERRO		31,4	81	220	144	212	300	988,4
ALUMÍNIO	1,9	3,2	6,4	8,8	9	28	23	80,3
TOTAL	567,9	719,6	1303,2	2004,8	1026,4	1354,5	2119,1	9095,5

Fonte: Projeto Vira Lata, 2011, não publicado.

Grande parte dos catadores informais coletam as latas pós-consumo e as entregam diretamente aos sucateiros, que prensam os fardos para envio aos intermediários. Estes intermediários comercializam o material para as grandes empresas de fundição do alumínio, como a Latasa, que recebe as latas soltas ou prensadas em centros de coleta próprios. Depois de uma inspeção visual, a sucata é liberada e passa por um sistema de limpeza das impurezas e picote do material, que é enfardado em equipamentos específicos, e, por fim, levado aos fornos de fundição. O enfardamento da sucata facilita o seu transporte até os centros de fundição da própria Latasa ou de outras empresas, como a Novelis.

⁸⁷ Informações coletadas na visita técnica realizada em 08 de junho de 2012.

Figura 36 - Pátio de separação dos materiais no galpão da cooperativa Vira Lata.
Fonte: Imagem da autora.

Figuras 37 e 38 - Fardos de lata de alumínio na Vira Lata, em número reduzido, e equipamento de enfardamento. Fonte: Imagem da autora.

4.3 Avaliação do Ciclo de Vida da lata de alumínio

Neste subcapítulo é realizada uma simulação do estudo de ACV do modelo atual da lata de alumínio, com o objetivo de apresentar um exemplo prático de uso desta ferramenta e identificar suas possíveis contribuições para o campo do design, tendo como perspectiva a exploração de dados para a elaboração de um novo projeto de embalagem para bebidas, com ou sem inovações no design. Para tanto, são consideradas as quatro etapas básicas já descritas no Capítulo 3: definição do objetivo e do escopo do estudo; construção de um inventário do ciclo de vida, semelhante a um balanço contábil financeiro; avaliação dos impactos ambientais; e interpretação dos resultados.

Como procedimento de obtenção de informações, definiu-se o objetivo e a aplicação pretendida para a simulação da ACV, de acordo com as descobertas feitas nas vistas de campo e as necessidades inerentes ao design de produto, tendo em vista a inserção de requisitos ambientais no projeto. Posteriormente, como os dados coletados em campo não foram suficientes para a modelagem do inventário de aspectos ambientais do ciclo de vida, foi conduzida uma revisão bibliográfica da literatura específica, como ABAL (2007, 2009, 2010); IAI (2011); ABRALATAS (2011); Nogueira, Silva e Kulay (2010); e Revista do Alumínio (2011).

Neste estudo, foi adotado o modelo de estrutura de ACV da lata de alumínio proposto pela Aluminum Association (AA, 2010)⁸⁸, por apresentar uma sequência lógica e detalhada dos procedimentos empregados e por ser o mais completo dentre os modelos de ACV considerados na pesquisa, podendo-se citar Valt (2004); Gatti, Queiroz e Garcia (2007); e Stadler et. al. (2010). Como a principal referência é internacional, surgiu a necessidade de adaptar alguns dos dados ao contexto brasileiro, principalmente com relação ao consumo de materiais e de energia, além do transporte e da reciclagem, tendo como base premissas e informações que traduzem as particularidades do país, obtidas nas fontes já citadas.

---

⁸⁸ Estudo desenvolvido nos EUA, com base nos padrões norte-americanos e em médias mundiais.

A determinação do escopo, por sua vez, se tornou a etapa mais complexa, visto que se constatou que os exemplos de ACV pesquisados não são comparáveis, o que impossibilita uma abordagem padrão para todas as fases do ciclo de vida do produto. Isto se deve ao fato de que, apesar de tratar diretamente com questões objetivas, algumas das decisões tomadas nos estudos de ACV são de caráter subjetivo, já que não há um consenso entre a comunidade científica sobre quais procedimentos são mais adequados para cada caso.

Os cálculos e os valores de quantidade tiveram como base estudos adaptados e comparativos entre as proporções de consumo norte-americanas e brasileiras (estimadas pela pesquisadora por balanços percentuais e por regra de três, para depois serem alterados nas tabelas do ICV - ver APÊNDICE C).

Os resultados do ICV foram discutidos a partir de alguns aspectos ambientais, como demanda de energia primária e emissões de CO₂, definidos pela AA (2010). Estes, por sua vez, foram utilizados para a etapa de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), na qual se considerou os fatores de avaliação (ou caracterização) sugeridos pelo software SimaPro 7.3 Faculty (educational license), com base no método Eco-indicator99. Os gráficos de análise testados no software representam os resultados finais da ACV, gerados a partir de indicadores de impactos ambientais que sugerem os potenciais de aquecimento global, de acidificação, de destruição da camada de ozônio, dentre outros.

O foco desta simulação, assim, está nas possíveis contribuições da aplicação prática da ACV para levantar, mapear e validar parâmetros de preservação ambiental relevantes à concepção e ao planejamento do produto, permitindo estabelecer associações (exibidas no Capítulo 5) entre os requisitos ambientais particulares do objeto avaliado e os requisitos gerais comumente utilizados nos métodos de projeto em design, apresentados nesta dissertação.

A seguir, estão relacionadas, de modo sequencial, as etapas seguidas para investigar as variáveis que compõem a ACV da lata de alumínio, de acordo com a estrutura sugerida pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2001), discutida no Capítulo 3.

4.3.1 Definição do Objetivo e Escopo

O objetivo e o escopo da simulação do estudo de ACV da lata de alumínio, proposta para exemplificar seu uso e suas interfaces com o design, foram definidos segundo as diretrizes da norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) e envolvem questões importantes para todas as fases do ciclo de vida, tais como: o que se pretende com o estudo? Quais dos processos serão incluídos nos limites da avaliação? Como os dados serão adaptados e apresentados?

4.3.1.1 Objetivo

O objetivo do estudo de ACV está diretamente relacionado ao objetivo da dissertação: analisar e avaliar as possibilidades de utilização da ferramenta de ACV para inserir ou atualizar requisitos ambientais nos métodos de projeto de produto em design, etapa que antecede a produção industrial, considerando sua aplicação prática no sistema da lata de alumínio para a indústria cervejeira brasileira.

Aplicação pretendida para o estudo:

A aplicação pretendida para esta simulação é exemplificar e sistematizar algumas das diretrizes relevantes para a consideração de critérios de preservação ambiental durante o ciclo de vida do produto, indicando a pertinência da ACV para a metodologia de projeto em design, bem como a viabilidade de que esta sirva de referência às diferentes categorias de produtos.

Público alvo ao qual serão divulgados os resultados:

A pesquisa é para fins acadêmicos e pretende trazer uma contribuição às áreas do design de produto e do design visual.

4.3.1.2 Escopo

No esquema abaixo, a linha pontilhada representa os limites estabelecidos para o estudo de ACV da lata de alumínio, que diferem daqueles considerados para o estudo de caso (já apresentados neste capítulo), uma vez que as pesquisas de campo foram direcionadas pela disponibilidade das empresas, e as investigações para a ACV tiveram como fonte principal os dados encontrados na literatura.

Ciclo de vida da lata de alumínio (2) Limites para a simulação do estudo de ACV

Figura 39 - Processos incluídos na ACV delimitados pela linha pontilhada, representando as fronteiras do estudo. Fonte: elaborado pela autora.

Dentre os processos não incluídos no modelo de ACV estão: capital para equipamentos e manutenção; gastos indiretos nas instalações fabris (com aquecimento e iluminação); manutenção dos equipamentos; transporte interno de materiais nas fábricas; distribuição e coleta seletiva; trabalho humano; processo produtivo da bebida acondicionada; pack para distribuição aos consumidores; e produto descartado de forma inadequada, devido ao baixo índice.

Conforme já discutido, a comparação entre os dados da literatura e dos estudos de ACV utilizados como referência, necessária para modelar um ICV da lata de alumínio o mais próximo possível da realidade brasileira, foi inviabilizada em diversos pontos principalmente por escolhas subjetivas ou não claras para procedimentos de cálculo e de critérios de avaliação, além da variedade de enfoques para computar a inserção do material reciclado.

Uma das limitações da ACV é, justamente, a falta de consolidação quanto à forma mais adequada para a modelagem de cenários envolvendo a reciclagem. Como consequência, a elaboração dos modelos é influenciada por valores pessoais e subjetivos das partes envolvidas no estudo, o que prejudica a comparação de estudos diferentes (NOGUEIRA; SILVA; KULAY, 2010, p. 68).

Tendo em vista que o ciclo produtivo do alumínio primário é caracterizado pelo oligopólio e pela internacionalização dos processos de produção, ocorrendo o mesmo no caso das latas, as principais adaptações dos valores representativos para a América do Norte envolvem particularidades do Brasil, como o uso principal de matéria-prima nacional; matriz energética prioritariamente hidroelétrica (85%); domínio do modal de transporte rodoviário; e taxa de reciclagem de 98,2% para as latas de alumínio. Foram seguidos, assim, os seguintes dados e premissas:

- Nos padrões brasileiros, 1 kg de alumínio produz 74 latas, e cada lata pesa 13,51 g (REVISTA DO ALUMÍNIO, 2011). Sendo assim, foram estabelecidas:

Unidade funcional: Acondicionar 25.900 litros de cerveja.

Quantidade de produto (fluxo de referência): 74.000 latas de 350 ml.

Quantidade de matéria-prima necessária: 1.000 kg de alumínio.

- O Brasil apresenta um índice de reciclagem de 98,2% do total de latas consumidas (ABRALATAS, 2011), bem superior aos 51.6% dos EUA (AA, 2010), portanto a entrada de sucata pós-consumo no ICV necessita ser alterada.
- A média de emissões para a produção do alumínio primário no Brasil, considerando a inserção do material reciclado e incluindo transportes e consumo de energia, é de 4,2 toneladas de CO₂ eq. por tonelada de metal, e a média mundial, neste caso, é de 9,7 toneladas de CO₂ eq. (IAI, 2011).
- Em 2009, a indústria consumiu 23.714 GWh de energia elétrica para produzir 1.535 mil toneladas de alumínio primário (ABAL, 2010). Com base nos cálculos feitos pela autora, este valor equivale a 55.616 MJ/t do metal.
- Os dados de transporte estão representados abaixo (Tabela 13) conforme exemplos de Valt (2004) e Stadler et. al. (2010). Foram consideradas as distâncias entre as principais empresas citadas nas pesquisas de campo, nas quais se observa as extensões intercontinentais próprias do território brasileiro, sem contar as “idas e voltas” para a distribuição do produto.

Tabela 13 - Dados de transporte coletados para o estudo de ACV.

Processo	Fonte de dados		Capacidade produtiva	Distância até o próximo processo	Meio de transporte
Extração bauxita Produção alumina Redução eletrolítica	ALUMAR	São Luis do Maranhão - MA	440 mil t/ano alumínio	3.080 km	Rodoviário
Fundição/laminação	NOVELIS	Pindamonhangaba - SP	400 mil t/ano lâminas Al	1.783 km (Salvador) 75 km (Jacareí)	Rodoviário
Fabricação tampas	Latapack-Ball	Salvador - BA	1,85 bilhão tampas/ano	2.022 km (Boituva)	Rodoviário
Fabricação latas	Latapack-Ball - SP	Jacareí	1,9 bilhão latas/ano	211 km	Rodoviário
Lavagem/envase	Grupo Petrópolis	Boituva - SP	1,5 bilhão latas/ano	286 km	Rodoviário
Reciclagem latas	NOVELIS	Pindamonhangaba - SP	540 mil t/ano	75 km	Rodoviário

Fonte: elaborado pela autora.

Para o transporte rodoviário, considerou-se caminhões com capacidade de carga de 25 toneladas e consumo médio de 2,0 litros de óleo diesel por quilometro rodado (VALT, 2004). Na tabela abaixo, estão os valores estimados de emissões atmosféricas (em kg/km).

Tabela 14 - Valores estimados de emissões atmosféricas para o modal rodoviário.

<i>Emissões atmosféricas</i>	<i>Transporte rodoviário – Caminhão a óleo diesel (kg/km)</i>
CO	0,0250
CO ₂	1,2100
HC	0,0060
SO ₂	0,0030
NO _x	0,0330
MP	0,0160

Fonte: ECONOMIA & ENERGIA, 2012, *online*. Acesso em: 30 out. 2012.

Com relação ao uso de energia na América Latina, a fonte hidrelétrica representa quase que o total de entrada de eletricidade para a eletrólise, etapa que consome a maior parte da energia que entra no sistema (Tabela 23).

Tabela 15 - Contribuição do consumo de energia elétrica na eletrólise por fonte de energia por região.

<i>Recurso energético</i>	<i>Energia elétrica consumida</i>						
	<i>África</i>	<i>América do Norte</i>	<i>América Latina</i>	<i>Ásia</i>	<i>Europa</i>	<i>Oceania</i>	<i>TOTAL</i>
Hidroelétrica	23,4%	69,2%	95,9%	9,6%	69,9%	23,0%	57,3%
Carvão mineral	72,5%	29,7%	0,0%	35,3%	10,7%	77,0%	28,1%
Óleo combustível	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	1,4%	0,0%	0,7%
Gás natural	0,3%	0,3%	4,1%	53,6%	5,3%	0,0%	8,8%
Energia nuclear	3,8%	0,6%	0,0%	0,0%	12,4%	0,0%	5,1%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: AA, 2010, p. 40.

Estão representados abaixo (Figura 40), de forma simplificada, os principais fluxos de massa específicos para o ciclo de vida da lata de alumínio:

Figura 40 - Fluxos de massa no ciclo de vida da lata, considerando taxa de reciclagem de 98,2%.
Fonte: elaborado pela autora a partir das árvores de processo do software SimaPro 7.3 Faculty.

4.3.2 Resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Conforme discutido no Capítulo 3, a análise do inventário apresenta os fluxos de entrada e saída calculados com base na unidade funcional estabelecida, neste caso, acondicionar 25.900 litros de cerveja, obtidos através dos procedimentos de coleta e de tratamento dos dados presentes nas tabelas de quantificação do ICV (APÊNDICE C), que permitiram identificar os aspectos mais representativos para a geração de impactos ambientais. Assim, foram selecionados alguns parâmetros, descritos abaixo (Tabela 16 e Tabela 17).

Tabela 16 - Resultados do ICV para a produção do alumínio primário.

Parâmetros selecionados	RESULTADOS POR ETAPA (p/ 1000 Kg de alumínio primário)					
	Mineração da bauxita	Produção de alumina	Produção do anodo + Eletrólise	Formação do lingote (fundição)	Unidade	Total
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS						
Bauxita		5246,2			Kg	5246,2
Energia elétrica	0,034	0,84	54,486	0,244	GJ	55,604
Energia térmica	0,053	18,82	1,17	1,295	GJ	21,34
Água (processo)	2935,7	15391,2	9100,59		Kg	27427,49
CONSUMO DE MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS						
Alumina			1013,42		Kg	1013,42
Óleo diesel	6,0436	1,31	0,401	3,31	Kg	11,0646
PRINCIPAIS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS						
Emissões de CO ₂	30	880	3229,9	60	Kg	4199,9

Fonte: elaborado pela autora a partir de AA, 2010.

De acordo com a tabela acima, o total de energia para a eletrólise (etapa que consome cerca de 70% do total de energia para produção do alumínio primário) é fornecida principalmente por energia elétrica. No Brasil, a geração hidroelétrica, considerada limpa e renovável, fornece a maior parte, chegando a 85%.

Tabela 17 - Resultados do ICV para a produção da lata de alumínio.

Parâmetros selecionados	RESULTADOS POR ETAPA (p/ 1000 Kg de folha de alumínio)						
	Laminação da folha para lata/tampa	Fabricação da lata (74 mil peças)	Lavagem (envase)	Prep. sucata	Refusão e moldagem (reciclagem)	Unid.	Total
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS							
Energia elétrica	1,66	5,744		0,03	1,02	GJ	6,794
Energia térmica	4,094	5,252		0,28	1,90	GJ	7,432
Água (processo)	1147,6	6346,98	64213		716,5	Kg	353173
PRINCIPAIS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS							
Emissões de CO ₂	870	1821,88		28,5	425,5	Kg	2275,88
Emissões de CO	0,328	0,62		0,088	0,107	Kg	0,815
Óxidos de azoto	1,931	3,69		0,052	0,984	Kg	4,726
Emissões de SO ₂	2,741	5,798		0,053	1,481	Kg	7,332
Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	3,27	8,41		0,049	0,655	Kg	9,114

Fonte: elaborado pela autora a partir de AA, 2010.

A etapa de lavagem das latas, anterior ao envase da bebida, não é considerada nos dados do ICV, porém foi incluída aqui nas análises, pois se observou que apresenta um alto consumo de água. Desta forma, os dados mais significativos do ICV da lata de alumínio são referentes ao consumo de energia e de água, e às emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Gráficos 5, 6 e 7).

O dióxido de carbono é um gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento global. As emissões de CO₂ estão associadas principalmente à conversão de energia fóssil (como petróleo, carvão e gás natural) em energia térmica ou mecânica. Os resultados das emissões de CO₂ no ICV da lata de alumínio estão representados a seguir (Gráfico 7).

No contexto brasileiro, calcula-se que 4,2 toneladas métricas de CO₂ são emitidas por tonelada métrica de lingote de alumínio primário produzido, sendo que o processo de eletrólise é o maior contribuinte, gerando cerca de 3 toneladas de CO₂ para cada tonelada de lingote. O montante de emissões associadas à cadeia de fornecimento de eletricidade para a eletrólise representa 70% desse total.

Gráfico 5 - Consumo de energia elétrica e térmica durante o ciclo de vida da lata de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 6 - Consumo de água no ciclo de vida da lata de alumínio. Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 7 - Análise das emissões de CO₂ durante o ciclo de vida da lata de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora.

Com relação à influência da reciclagem do alumínio para reduzir os danos causados ao meio ambiente, o consumo de recursos naturais, como bauxita e água, diminui conforme a taxa de reciclagem aumenta, porém não é tão expressiva no caso da água, uma vez que esta é consumida em praticamente todas as etapas, com destaque para a etapa de lavagem das latas. Os gastos com energia, por sua vez, têm uma redução significativa, visto que o processo de produção do alumínio primário demanda grande parte da energia total. Em um cenário com taxa de reciclagem de 98,2% - índice específico para as latas, não representando, assim, a recuperação dos demais produtos em alumínio - as reduções estimadas são as seguintes (%):

Gráfico 8 - Redução no consumo e emissões para taxa de reciclagem de 98,2% (lata de alumínio).
Fonte: elaborado pela autora.

4.3.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A AICV pretende classificar, caracterizar e atribuir pesos aos fluxos de materiais e energia identificados no ICV, associando-os a impactos ambientais, conforme definição no Capítulo 3. Desta forma, foram selecionadas as categorias de impactos mais significantes ao estudo, e calculados os indicadores de cada uma, correspondentes ao potencial de acidificação; potencial de eutrofização; potencial de aquecimento global (100 anos); e potencial de criação fotoquímica de ozônio.

Os números que caracterizam a participação dos indicadores de impactos ambientais no perfil ambiental do produto são gerados automaticamente pelo software SimaPro 7.3 Faculty, tornando imprecisas as prioridades dos métodos de ponderação para classificar a relevância destes em relação ao total de impactos ao meio ambiente, estando, muitas vezes, ocultos ou não compreendidos.

Esse fato revela a importância de colaborações interdisciplinares para inserir cálculos desse gênero no design, reduzindo potencialmente as imprecisões nos resultados da AICV. Deve-se considerar, também, a subjetividade inerente a esta fase da ACV, uma vez que é diretamente dependente dos interesses particulares do realizador do estudo ou dos parâmetros incorporados nos softwares de avaliação.

Os gráficos abaixo (Gráficos 9, 10, 11 e 12) apresentam a contribuição de cada etapa do ciclo de vida de lata de alumínio para os indicadores de impactos ambientais selecionados.

Potencial de Acidificação:

O potencial de acidificação é a medida das emissões que causam efeitos acidificantes no ambiente, sendo expressa em kg de SO₂ equivalente. As maiores emissões são os óxidos de azoto (NO_x), o dióxido de enxofre (SO₂) e o amoníaco. O potencial de acidificação referente à produção de uma tonelada de lingote de alumínio primário, sem contar as demais etapas de produção da lata, é de 50,43 kg

de SO₂ equivalente (Gráfico 9), dos quais 74% são de SO₂ e 25% de NO_x. A divisão das emissões por fase de produção revela que a eletrólise é responsável por 55% do potencial total, seguido pela produção da alumina, que contribui com 13%.

Gráfico 9 - Potencial de acidificação medido por kg SO₂ equiv./tonelada de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora a partir do SimaPro 7.3 Faculty.

Potencial de Eutrofização:

O potencial de eutrofização é expresso em kg de fosfato equivalente. Nos sistemas aquáticos, a eutrofização é causada basicamente pela entrada excessiva de nitrogênio e de fósforo, resultando na sobrefecundação. As emissões para o ar, em especial de NO_x, contribuem com 95% dos impactos totais. O restante se refere às emissões para a água (nitrato, demanda química de oxigênio e liberação de NO_x) e para o solo (por liberação de amoníaco e fósforo). A produção de alumina e o processo de eletrólise, juntos, são responsáveis por 50% dos impactos, seguidos pela fabricação de latas, com 34% (Gráfico 10). As emissões atmosféricas derivadas de processos ribeirinhos, como para a produção de eletricidade, representam 67% do resultado total do potencial de eutrofização.

Gráfico 10 - Potencial de eutrofização medido por kg Fosfato equiv./tonelada de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora a partir do SimaPro 7.3 Faculty.

Potencial de Aquecimento Global:

O Potencial de Aquecimento Global (PAG) é calculado pela emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), sendo expresso em kg de CO_2 equivalente. As emissões destes gases provocam o aumento da absorção da radiação emitida pelo sol e refletida pela terra, ampliando o efeito estufa natural. A separação dos impactos de PAG por componentes de gases de efeito estufa mostra que 85,8% correspondem ao CO_2 ; 9,79% ao tetrafluorometano; 2,56% ao CH_4 ; 1,6% ao hexafluoretano; e 0,3% ao óxido nitroso (N_2O) (AA, 2010).

Os resultados demonstram que 45% dos impactos de aquecimento global decorrem do processo de eletrólise, seguido da fabricação de latas e da produção da alumina (Gráfico 11). De acordo com a Aluminum Association (AA, 2010), as emissões diretas correspondem a 25% do total, enquanto as emissões indiretas de CO_2 (sobretudo para produzir eletricidade) representam mais de 50% dos impactos.

Gráfico 11 - Potencial de aquecimento global medido por kg CO₂ equiv./tonelada de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora a partir do SimaPro 7.3 Faculty.

Potencial de Criação Fotoquímica do Ozônio:

Este potencial é expresso em kg de Eteno equivalente, que mede as emissões que contribuem com um nível baixo de poluição (poluição de verão). Como ocorre nas demais categorias de impactos do ciclo de vida, o processo de eletrólise é o maior contribuinte para a formação de poluição, respondendo por 47% do total.

Gráfico 12 - Potencial de criação fotoquímica do ozônio medido por kg Eteno equiv./tonelada de alumínio.
Fonte: elaborado pela autora a partir do SimaPro 7.3 Faculty.

4.3.4 Interpretação dos resultados da ACV

Os resultados da ACV da lata de alumínio apresentam um comparativo entre as diferentes fases do seu ciclo de vida, tendo em vista a quantificação das entradas e saídas mais significativas para o sistema do produto, identificando os pontos mais críticos para a geração de impactos ambientais. Conforme definido anteriormente, as fronteiras da avaliação incluem a produção de alumínio primário e secundário (com conteúdo reciclado); a laminação da folha; a fabricação da lata; e a reciclagem dos refugos industriais e da sucata pós-consumo; considerando, também, o transporte de materiais entre os processos. Exclui, assim, a distribuição em centros de consumo e o retorno da lata aos núcleos de reciclagem.

Observou-se que os dados mais significativos do ICV da lata de alumínio se referem ao consumo de energia e de água, incluindo as emissões de CO₂. Dentre os indicadores de impactos ao meio ambiente, o potencial de aquecimento global é o mais representativo, visto que as emissões de kg de CO₂ equiv./tonelada de metal é muito superior a todas as outras, especialmente de SO₂, fosfato e eteno.

O processo de eletrólise, por si só, é responsável por 70% da demanda total de energia necessária para a produção do alumínio primário, sendo a etapa mais impactante de todo o ciclo de vida da lata de alumínio. O perfil de emissões de CO₂ é semelhante ao de energia, uma vez que a maior contribuição para as emissões de gases de efeito estufa está associada à geração de eletricidade e à combustão de combustíveis fósseis, utilizados para o aquecimento nos locais de produção.

No que se refere às considerações sobre a reciclagem, torna-se evidente sua relevância para a redução dos impactos ambientais, tendo em vista que as etapas de produção do alumínio primário apresentam altos índices de consumo e emissões, além da extração da matéria-prima não renovável. Somente o consumo de água é mais significativo na fase de lavagem da embalagem, anterior ao envase da bebida. Sendo assim, a inclusão do material reciclado é constantemente positiva, devido aos problemas decorrentes do aumento de resíduos sólidos urbanos e à importância

de minimizar os prejuízos ambientais dos estágios que precedem a manufatura da lata, considerando que os parâmetros para a produção do alumínio primário sofrem redução proporcional ao aumento da taxa de reciclagem.

Em análise à estrutura geral do estudo de ACV, cabe ressaltar que se trata de um modelo sempre parcial da realidade, ou seja, abrange o ciclo de vida do produto em relação a determinados aspectos, mas não considera outros de igual relevância, como sua distribuição ao consumidor ou a coleta seletiva, por exemplo. A quantidade de dados que não podem ser quantificados, incluindo a complexidade para analisá-los, torna inviável a proposição de reflexões mais aprofundadas sobre todas as perspectivas possíveis, restringindo os resultados e gerando dúvidas sobre quais processos são mais relevantes para a avaliação de impactos.

Na AICV, os indicadores de impactos ao meio ambiente são selecionados de acordo com categorias predefinidas, a partir de métodos nem sempre evidentes ou justificados, e estão diretamente relacionados a escolhas de caráter subjetivo. Desta forma, conforme será discutido no Capítulo 5, para que os resultados da ACV sejam convertidos em requisitos de projeto para o design, é necessário que haja uma colaboração interdisciplinas entre as diferentes áreas do conhecimento, ampliando o campo de atuação e reduzindo as incertezas.

Capítulo 5

Análise e discussão dos resultados

Capítulo 5

Análise e discussão dos resultados

Neste capítulo, os resultados da simulação da ACV da lata de alumínio são relacionados com os requisitos ambientais previamente sintetizados e elaborados pela autora, com base nos quadros de análise individual dos métodos propostos pelos autores do design, selecionados no Capítulo 2. Discute-se, desta forma, a representatividade da ACV como ferramenta de referência para a incorporação de requisitos ambientais na metodologia de projeto de produto em design.

Conforme tratado no Capítulo 4, a ACV é um modelo da realidade, portanto não pretende abranger todos os impactos ambientais decorrentes da produção, consumo e descarte do produto, visto que há uma grande quantidade de dados complexos que, muitas vezes, não podem ser quantificados, seja pela falta de tempo hábil ou pela ausência de fontes de informação pertinentes e confiáveis.

Algumas das etapas do ciclo de vida também permanecem fora do escopo do estudo, como é o caso da distribuição nos centros de consumo e da coleta seletiva, que reintroduz a sucata na indústria. Por compreender processos relevantes para o contexto geral do ciclo de vida do produto e, conseqüentemente, para a geração de impactos, estas variáveis devem ser consideradas no projeto em design, mesmo que não estejam relacionadas e quantificadas na ACV.

Cada produto contribui para determinados impactos ao meio ambiente, em determinadas proporções. Os critérios ambientais a serem inseridos na atividade de projeto em design necessitam ser adequados a cada caso em particular, uma vez que estes dependem diretamente do perfil de desempenho ambiental do produto. Sendo assim, os indicadores de impactos ambientais descritos na ACV, referentes a um único produto e seus processos, direcionam e orientam os requisitos ambientais que devem ser inseridos nos métodos do design para um novo projeto específico, ou seja, são considerados por categoria de produto e não no geral.

Neste contexto, estão expostas na tabela abaixo (Tabela 18) as principais diretrizes para a definição e a organização destes requisitos, tendo em vista as análises realizadas pela autora dos dados de impactos mais significativos do estudo de ACV da lata de alumínio e das metodologias de projeto em design selecionadas.

Tabela 18 - Definição e organização dos requisitos ambientais a partir da ACV da lata de alumínio.

PRIORIDADE DO IMPACTO	INDICADOR DE IMPACTO AMBIENTAL	PRINCIPAIS PROCESSOS CONTRIBUINTES	REQUISITOS AMBIENTAIS PARA O PROJETO
	Esgotamento de recursos naturais	Mineração da bauxita (não renovável); Consumo de petróleo e de carvão (combustíveis não renováveis para transporte e calor) Lavagem das latas (alto consumo de água); Geração de energia elétrica (renovável).	Questionar o uso do alumínio como único material para a produção da lata para bebidas; Priorizar a reciclagem ou até mesmo o reuso da lata, com novas propostas de desenho, buscando minimizar o uso de recursos não renováveis; Promover o <i>redesign</i> de lata para buscar a redução do uso de material, considerando a compactação no transporte;
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equiv.)	Produção de alumina; Produção do anodo + Eletrólise; Laminação; Fabricação da lata; Geração de energia elétrica (todas etapas).	Estimular o <i>redesign</i> do modelo atual da lata para verificar as possibilidades de que esta se torne mais eficiente do ponto de vista da preservação ambiental, com redução do consumo energético durante suas etapas e, consequentemente, das emissões de CO ₂ ;
	Potencial de acidificação (kg de SO ₂ equiv.)	Mineração da bauxita; Produção de alumina; Produção do anodo + Eletrólise; Fabricação da lata; Geração de energia elétrica (todas etapas).	Repensar os processos de fabricação do produto tendo em vista a redução de emissões para o ar e água, buscando a proposição de alterações nas máquinas, com novos sistemas de tratamento, por exemplo;
	Potencial de criação fotoquímica do ozônio (kg de Eteno equiv.)	Produção de alumina; Produção do anodo + Eletrólise; Laminação; Fabricação da lata; Geração de energia elétrica (todas etapas).	Considerar as tintas e vernizes utilizados para a rotulagem da lata como potenciais poluidores, mesmo não sendo ressaltados no estudo de ACV. Vale incluir o descarte dos fotolitos utilizados nos testes de impressão do rótulo, buscando novas propostas gráficas.

Fonte: elaborado pela autora.

Os símbolos gráficos inseridos na tabela acima posicionam os indicadores de impactos ambientais em escalas de prioridade, em ordem de relevância, ou seja, alguns merecem maior atenção (representados pelos sinais de adição em vermelho) do que outros (representados pelos pontos de exclamação em laranja e verde oliva) em termos de quantidade e de incidência, tendo como base os cálculos efetuados e adaptados pela autora na simulação da ACV da lata de alumínio, que possibilitaram identificar a representatividade de cada processo para a geração dos impactos relacionados. O texto em **negrito**, por sua vez, indica os dados mais significativos para o projeto de uma nova lata ou novo conceito de embalagem.

Pode-se dizer, então, que a ACV permite validar e definir os parâmetros para a escolha e a elaboração de requisitos ambientais específicos a serem inseridos na metodologia de projeto em design, uma vez que só é possível qualificar os critérios ambientais prioritários para o sistema do produto por meio da quantificação dos diferentes aspectos presentes no inventário do seu ciclo de vida, associando-os aos indicadores de impactos ao meio ambiente. A não incorporação da ACV no design mantém o projeto de produtos restrito aos requisitos ambientais gerais comuns ao campo em questão, não aplicáveis a todas as situações e categorias, ao mesmo tempo em que não podem ser validados por dados comprovados ou científicos.

Além disso, fica claro um contraponto intrínseco ao uso do alumínio, visto que se trata de um material excelente em determinados aspectos (por ser inerte, com baixo peso específico e resistente à corrosão é amplamente eficiente para o acondicionamento de bebidas e alimentos, além da constância na reciclagem), porém muito prejudicial em outros, principalmente com relação ao alto consumo de energia e de água e à extração da bauxita (matéria-prima não renovável), que demanda a supressão da vegetação original nos locais de lavragem e mineração, incluindo a remoção completa das camadas superficiais do solo (que concentram nutrientes e matéria orgânica, conforme já discutido anteriormente). As alterações no entorno e na paisagem, neste caso, são permanentes.

São suscitadas, então, indagações importantes que podem ser úteis para repensar os processos já estabelecidos e para propor inovações projetuais, produtivas e tecnológicas, compreendendo o próprio uso do material:

- Apesar da produção do alumínio primário ser extremamente impactante, as etapas de reciclagem e produção da lata também consomem água e energia de maneira intensiva e constante. Cabe discutir, então, a instituição de um processo para reutilização da lata? Isto implicaria em alterações estruturais?
- A contribuição da produção do alumínio primário para os indicadores de impactos ambientais totais do ciclo de vida da lata destacam a relevância de investimentos em pesquisas de novos processos produtivos (mais eficientes) e, principalmente, de novos materiais para estas embalagens (o alumínio é mesmo o material mais eficiente? E com relação aos prejuízos ambientais?);
- Será que o desenho atual da lata é o mais adequado? O seu *redesign* poderia contribuir para a redução da geração de resíduos pré-consumo na indústria?
- O formato atual da lata é, ainda, interessante para garantir sua higiene no ponto de venda e durante o uso do produto? É interessante para o manuseio ou comodidade do usuário? E para a compactação no transporte?

Cabe salientar que estas e outras questões envolvem alterações que estão além do campo de atuação do designer, também pelo fato de que este profissional se mantém afastado dos processos industriais da lata de alumínio, não tendo a oportunidade ou a iniciativa de propor mudanças nos procedimentos já instaurados, até porque novos formatos da lata, por exemplo, implicam na reestruturação das fábricas, já que as máquinas estão adaptadas para o padrão atual. No caso do transporte, a redução de distâncias percorridas depende das instalações fabris, que envolvem incentivos fiscais e interesses particulares da empresa e do governo⁸⁹.

---

⁸⁹ Como é o caso da Latapack-Ball, que recebeu incentivos fiscais interessantes para instalar a fábrica de tampas no Centro Industrial de Aratu, na região de Salvador, enquanto a fábrica de latas está instalada em Jacareí, São Paulo. Vale colocar que o transporte de latas é mais caro do que o de tampas, visto que um caminhão que leva 200 mil unidades de latas transporta, por exemplo, uma produção de 9 milhões de tampas. O transporte de latas é basicamente de volume e, para tampas, o peso é altamente comprimido.

Com relação aos requisitos ambientais gerais comuns ao projeto de produtos (já citados neste capítulo), é possível dizer que não possuem conexão direta com os indicadores de impactos ambientais considerados na ACV, sendo aplicados de forma pontual em diferentes categorias de objetos, podendo-se citar os seguintes:

- Evidenciar o processo de projeto para permitir uma melhor compreensão dos sistemas industriais e a estruturação das fases de concepção e planejamento do produto, facilitando a consideração de critérios ambientais;
- Considerar o sistema do produto ao invés do produto isolado, garantindo a ampliação do foco do projeto, que pode se direcionar para a consideração do ciclo de vida e componentes envolvidos;
- Exteriorizar o pensamento do design, racional e processual, para que possam ser incorporadas diferentes técnicas e métodos no projeto, incluindo a ACV;
- Realizar ensaios sistemáticos para considerar as relações complexas de causa e efeito dos impactos ambientais presentes no ciclo de vida do produto;
- Entender a degradação ambiental causada por sistemas industriais e produtos e como um dos problemas específicos dos métodos do design;
- Visualizar a relevância de adaptar a metodologia do design de acordo com o contexto, buscando resolver problemas específicos, incluindo os ambientais;
- Aproximar produção e consumo, de modo que haja autonomia na provisão de bens materiais e serviços, além do controle do ciclo de vida dos produtos;
- Propor novos cenários que correspondam a “estilos de vida sustentáveis”, onde haja novos critérios de qualidade para a preservação ambiental;
- Escolher recursos e processos de baixo impacto ambiental e considerar a extensão da vida dos materiais (valorização de materiais descartados);
- Promover a durabilidade adequada (de acordo com o tipo de produto);
- Quantificar os impactos ambientais potenciais envolvidos no ciclo de vida do produto, a partir de ferramentas quantitativas como a ACV, permitindo orientar intervenções que ampliem a qualidade ambiental do mesmo.
- Buscar colaborações interdisciplinares;

Para o caso da lata de alumínio, em particular, há requisitos gerais que não são mesmo aplicáveis, e isso ficou claro após a simulação de ACV, dentre eles:

- Atentar para o tempo de renovação dos recursos que serão utilizadas para compor o produto, optando pela gestão eficiente de exploração de matérias-primas renováveis, para que possam se reconstituir com rapidez. No caso das não renováveis, prioriza-se outras fontes, o reuso ou a própria reciclagem;
- Facilitar a manutenção, reparo e reutilização do produto;
- Projetar novos produtos-serviço que sejam “intrinsecamente” sustentáveis;
- Facilitar a desmontagem, a atualização e adaptabilidade do produto;

Mais uma vez, coloca-se a representatividade da ACV como instrumento de referência para inserir requisitos ambientais específicos (particulares a cada produto avaliado) na metodologia de projeto em design, uma vez que os indicadores de impactos quantificados por este estudo, conforme exposto na Tabela 18, podem ser convertidos em diretrizes qualitativas para o reprojeto do produto, ou seja, quando previstos os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida, este pode ser reprojetoado para ampliar sua qualidade e minimizar seus impactos potenciais.

O design de produto, assim como qualquer outro campo do conhecimento, não pode permanecer isolado, havendo a necessidade de buscar constantemente colaborações interdisciplinares. As dificuldades encontradas para a simulação do estudo de ACV (discutidas no Capítulo 4) evidenciaram a relevância de que estudos deste gênero sejam desenvolvidos por profissionais competentes e qualificados, das áreas da engenharia e afins, cabendo ao designer utilizar os resultados pertinentes para a seleção, o mapeamento e a organização de requisitos ambientais a serem inseridos no projeto ou reprojeto de um novo produto.

De toda forma, é desejável que o profissional do design realize uma pequena exploração das diferentes etapas do ciclo de vida do produto a ser reprojetoado, evidenciando os principais processos geradores de impactos ambientais no sistema de produto, a fim de que se tornem mais compreensíveis os resultados da ACV.

Referências bibliográficas

Apêndices

Referências bibliográficas

AA, Aluminum Association. **Life Cycle Impact Assessment of Aluminum Beverage Cans**. Washington: Five Winds and PE International, 2010.

ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. **Anuário estatístico 2009**. São Paulo: ABAL, 2009.

_____. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. São Paulo: ABAL, 2007.

_____. **Relatório de sustentabilidade Indústria Brasileira do Alumínio - 2010**. São Paulo: ABAL, 2010.

_____. Disponível em: < http://www.abal.org.br/aluminio/producao_alupri.asp>. Acesso em: 14 mar. 2011.

_____. **Nosso alumínio é mais verde**. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/12/artigo210566-1.asp>>. Acesso em: 28 abr. 2011b.

ABCV, Associação Brasileira de Ciclo de Vida. Disponível em: <<http://www.abcvbrasil.org.br/aplicacoes.php>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000, 26p.

_____. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001, 10p.

_____. **NBR ISO 14020: Rótulos e Declarações Ambientais - Princípios Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002, 5p.

_____. **NBR ISO 10004: Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 71p.

_____. **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental: Especificação e diretrizes para uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004a, 27p.

_____. **NBR ISO 14040: Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 21p.

_____. **NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009b, 46p.

ABRALATAS, Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A. Disponível em: <<http://www.albras.net/materiaPrima.htm>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

ABRE, Associação Brasileira de Embalagem. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

ABRE, Associação Brasileira de Embalagem. CEMPRES, Compromisso Empresarial Para Reciclagem. **A Reciclagem Ambiental Aplicada às Embalagens.** São Paulo: CEMPRES, 2008.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007.** São Paulo: ABRELPE, 2007.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010.** São Paulo: ABRELPE, 2010.

_____. **Conexão Academia.** São Paulo: ABRELPE, 2011.

ALCOA, Alcoa do Brasil. Disponível em: <<http://www.alcoa.com/brazil/pt/home.asp>>. Acesso em: 21 ago. 2011.

BAUDRILLARD, J.; TAVARES, Z. R. **O sistema dos objetos.** 4a ed. São Paulo: Perspectiva, 2002.

_____. **A sociedade de consumo.** Lisboa: Edições 70, 2007.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. **The Hitch Hiker´s Guide to LCA - An orientation in life cycle assessment methodology and application**. 1ª edição. Sweden: Editora Studentlitteratur, 2004.

BAXTER, M.; IIDA, I. **Projeto de produto: guia prática para o design de novos produtos**. 2a ed. São Paulo: , 2000.

BONSIEPE, G. **Teoría y práctica del diseño industrial: Elementos para una manualística crítica**. Barcelona: Gustavo Gili, 1978.

_____. **A tecnologia da tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

_____. **Do material ao digital**. Florianópolis: CTAI/LBDI, 1997.

_____. **Design, Cultura e Sociedade**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

BUCHANAN, R.; MARGOLIN, V. **Discovering design: Explorations in design studies**. Chicago: University of Chicago Press, 1995.

BURDEK, B. E.; CAMP, F. V. **Design: história, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

CABRAL, A. C. D. **A Embalagem e os Novos Canais de Venda In Centro de Tecnologia de Embalagem. Brasil pack trends 2005 - Embalagem, distribuição e consumo**. Campinas: CETEA: ITAL, 2000.

CARVALHO, M. A. **Engenharia de embalagens: Uma abordagem técnica do desenvolvimento de projetos de embalagem** - São Paulo: Novatec, 2008.

CBA, Companhia Brasileira de Alumínio. Disponível em:
<<http://www.aluminiocba.com.br/pt/sitemap.php>>. Acesso em: 30 abr. 2011

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

COLTRO, L. (Org.). **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: CATEA/ITAL, 2007.

Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. 2a ed. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1991.

CONTESINI, H. A reciclagem de embalagens PET e a sugestão do setor para a logística reversa. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP DE LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS: DA TEORIA À PRÁTICA, 2011, São Paulo. **Apresentação...** São Paulo: FECOMERCIO, 2011.

CETEA, Centro de Tecnologia de Embalagem. **Sustentabilidade - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Disponível em: <<http://www.cetea.ital.org.br/>>. Acesso em: 24 set. 2011.

CT 150, Comissão Técnica 150. **Normalização sobre Gestão Ambiental em Portugal: A Comissão Técnica 150**. Amadora: APA, 2008.

CURRAN, M. A.; NOTTEN, P. **Summary of global Life Cycle Inventory data resources**. Prepared for Task Force 1: Database Registry. SETAC/UNEP Life Cycle Initiative. 2006.

ECONOMIA & ENERGIA. **Parâmetros de Emissão de Gases de Efeito Estufa por veículos pesados no Brasil**. Disponível em: <http://www.ecen.com/matriz/eee25/ecen_25.htm>. Acesso em: 30 out. 2012.

EIGENHEER, E. M. (org.). **Raízes do desperdício**. Rio de Janeiro: ISER, 1993. v. 1. EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION. **Collection of aluminium from buildings in Europe. A Study by Delf University of Technology**. Brussels: EAA, 2004.

FARIAS, C. E. G. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: CGEE PNUD, 2002.

FEATHERSTONE, M.; SIMOES, J. A. **Cultura de consumo e pós-modernismo**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FIKSEL, J. **Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development**. 2a. ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

FORTY, A.; SOARES, P. M. **Objetos de Desejo**. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

FRY, T. Contra uma teoria essencialista de necessidade: Algumas considerações para a teoria do design. **Revista Design em Foco**, Salvador, ano/vol. II, n. 001, p. 63 - 77, jan./jun. 2005.

_____. **Reconstruções: ecologia/design/filosofia**. São Paulo: Edusp, 2009.

GARCIA, A. E. A Embalagem de Transporte e distribuição no Século XXI *In* Centro de Tecnologia de Embalagem. **Brasil pack trends 2005 - Embalagem, distribuição e consumo**. Campinas: CETEA: ITAL, 2000. p. 219-229.

GATTI, J. B.; QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. Reciclagem de Embalagem em Termos de ACV - Estudo de Caso. In: **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: CATEA/ITAL, 2007.

GEMIS, Global Emission Model for Integrated Systems. Disponível em <<http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm>>. Acesso em: 19 out. 2011.

GIOSA, J. R. **A Moeda da Lata: Como a reciclagem de latinhas se tornou um sucesso no Brasil**. São Paulo: Técnica Comunicação Industrial, 2010.

GIUDICE, F., et al. **Product design for the environment: a life cycle approach**. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006.

GOLEMAN, D.; RODRIGUES, A. B. **Inteligência ecológica: o impacto do que consumimos e as mudanças que podem melhorar o planeta**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Há vida após a morte: um (re)pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. *Gest. Prod.*, Dez 2006, vol.13, no.3, p.463-474. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>> Acesso: 20 de maio de 2008.

GORE, A. **Uma verdade inconveniente: o que devemos saber (e fazer) sobre o aquecimento global**. Barueri: Manole, 2006.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards**. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.

GURGEL, F. A. **Administração da embalagem**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

IAI, International Aluminium Institute. Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org/>>. Acesso em: 26 jun. 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBICT, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Série ISO**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/normas>>. Acesso em: 20 set. 2010.

ICSID, International Council of Society in Industrial Design. **Design Concept**. Disponível em: <<http://www.icsid.org/>>. Acesso em: 03 mar. 2012.

JACOBS, J. **The nature of economies**. New York: Vintage Books, 2000.

JEDLICKA, W. **Packaging Sustainability: Tools, Systems and Strategies for Innovative Package Design**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

JENSEN, A. A.; ELKINGTON, J.; CHRISTIANSEN, K.; HOFFMANN, L.; MOLLER, B. T.; SCHMIDT, A.; VAN DIJK, F. **Life cycle assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources**. Copenhagen: European Environmental Agency, 1997.

JOHN, V. M. TAMAKI, L. Entrevista: Quase insustentável. **Revista Técnica**, n. 162, p. 22-26, 2010.

JONES, J. C. **Métodos de diseño**. Barcelona, Gustavo Gili, 1976.

KAZAZIAN, T.; HENEULT, E. R. R. **Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2005.

KURZAWA, U. **Estudo da reciclagem de latas de alumínio por fusão em forno elétrico à indução**. 2006. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2006.

LATAPACK-BALL. Disponível em: <<http://www.latapack.com.br>>. Acesso em: 17 set. 2011.

LCA Center Denmark. Disponível em: <<http://www.lca-center.dk/cms/site.asp?p=4441>>. Acesso em: 22 set. 2011.

LESCO, Jim. **Design Industrial: Materiais e processos de fabricação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LIMA, D. R. **O Fenômeno da Reciclagem de Lata de Alumínio no Brasil: Inovação Tecnológica, Oligopólios e Catadores**. 2007. 199 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LÖBACH, B.; VAN CAMP, F. **Design Industrial: Bases para configuração dos produtos industriais**. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 2001.

MACHADO, A. S. **A questão das embalagens e sua relação com a sustentabilidade**. 2008. 181 f. Dissertação (Mestrado em Artes e Design) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MALAGUTI, C. S. **Requisitos ambientais para o desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Centro São Paulo Design, 2005.

_____. **Impacto ambiental. Parâmetro para projeto de embalagens: o caso do plástico**. 2000. 234 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E-PAPERS, 2008.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C.; CARVALHO, A. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 2a ed. São Paulo: EDUSP, 2008.

MARGOLIN, V. **The Politics of the Artificial: Essays on Design and Design Studies**. Chicago: University Of Chicago Press, 2002.

MCALOONE, T. C.; BEY, N. **Environmental improvement through product development: A guide**. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency, 2009.

MCCRACKEN, G. **Culture and Consumption: New Approaches to the Symbolic Character of Consumer Goods and Activities**. Bloomington: Indiana University Press, 1990.

MESTRINER, F. **Design de embalagem: curso básico**. 2a ed. - São Paulo: EDUSP, 2004.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: CETEA, 2002.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, EL. **Design de embalagem: do marketing à produção**. São Paulo: Novatec, 2008.

NIEMANN, J.; TICHKIEWITCH, S.; WESTKÄMPER, E. (Eds.). **Design of Sustainable Product Life Cycles**. Berlim: Springer, 2009.

NOGUEIRA, A. R.; SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Considerações a respeito das abordagens para a reciclagem de materiais em estudos de ACV. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS, 2., 2010, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. p. 64-69.

NOVELIS. Disponível em: <<http://www.novelis.com/pt-br>>. Acesso em: 17 set. 2011.

OTTE, M. **Ecodesign: O usos do design ambientalmente adequado, um estudo de caso na indústria moveleira Butzke**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2008.

PACKARD, V. **The waste makers**. Nova Iorque: David McKay, 1960.

PAPANEK, V. **Design for the Real World: Human Ecology and Social Change**. London/UK: Thames & Hudson, 1984.

_____. **Arquitetura e design: Ecologia e ética**. São Paulo: Edições 70, 1995.

_____. **The green imperative: natural design for the real world**. London: Thames and Hudson, 2003.

PÊGO, K. A. C.; PEREIRA, A. F.; CARRASCO, E. V. M. Método IMPAR - Inserção de Parâmetros Ambientais no Design de Produtos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANHEMBI-MORUMBI, 2010.

PEREIRA, P. Z.; SILVA, R. P. Design de Embalagem e Sustentabilidade: uma análise sobre os métodos projetuais. In: DESIGN & TECNOLOGIA, Vol. 1, Nº 02, Porto Alegre: UFRGS, 2010. Disponível em: <<http://www.pgdesign.ufrgs.br/designtecnologia/index.php/det/>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

PIRES, A. C.; PAULA, M. C. S.; BÔAS, R. C. V. (Org.). **A Avaliação do Ciclo de Vida - A ISO 14040 na América Latina**. Brasília: Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica - ABIPTI, 2005.

PNRS, Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 18 out. 2010.

RAMS, D. **Weniger, Aber Besser: Less But Better**. Jo Klatt Design + Design Verlag, 1995.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio a avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. 341 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
RITTO, A. C. A.; SILVA, L. S. B. d'A. O Design e as Organizações em um ambiente de Novos Paradigmas *In Estudos em Design*. Rio de Janeiro: Edição Especial, 2001. p. 87-96.

REVISTA DO ALUMÍNIO. Alumínio, inovação e sustentabilidade, 27. 2011. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/27/sumario.asp>>. Acesso em: 16 jun. 2011.

REXAM PLC. **Rexam beverage can south america S.A.** Disponível em: <<http://www.rexam.com/index.asp?pageid=443>>. Acesso em: 28 out. 2011.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Idéias sustentáveis**. 2a ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos** - São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SANTOS, L. M. M. **Avaliação ambiental de processos industriais**. Ouro Preto, MG: ETFOP, 2002.

SCHUMACHER, E. F. **O negócio é ser pequeno: um estudo de Economia que leva em conta as pessoas**. Rio de Janeiro: Zahar Editores S.A, 1983.

SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Cia das Letras, 2000.

SERAGINI, L. **Gestão Estratégica da Embalagem** *In* Centro de Tecnologia de Embalagem. **Brasil pack trends 2005 - Embalagem, distribuição e consumo**. Campinas: CETEA: ITAL, 2000. p. 245-263.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida. *In*: **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. São Paulo: Ed. SENAC, 2006. p. 313-336.

SILVA, J. C. A.; OLIVEIRA, A. J. Expectativas dos designers brasileiros para ferramentas de Ecodesign. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 8., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SENAC - AEND, 2008.

SINDICERV, Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. Disponível em: <<http://www.sindicerv.com.br/>>. Acesso em: 30 set. 2010.

SONNEMANN, G.; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. **Integrated Life Cycle and Risk Assessment for industrial processes**. London: Lewis Publishers, 2003.

STADLER, J. P.; CORRÊA, S. R. C.; PEGORARO, L. A.; UGAYA, C. M. L. Emissões atmosféricas da combustão do óleo diesel do transporte rodoviário de carga no Brasil para ACV. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS, 2., 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. p. 58-63.

UGAYA, C. M. L. **Análise do ciclo de vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil**. 2001. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Design for sustainability (D4S): A step-by-step approach**. Paris: UNEP, 2009.

_____. **Why take a life cycle approach?** Disponível em:
<<http://lcinitiative.unep.fr/default.asp?>> Acesso em: 13 mai. 2011.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais.** 2004. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VAN DER LINDEN, J. C. S.; LACERDA, A. P.; AGUIAR, J. P. O. A evolução dos métodos projetuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANHEMBI-MORUMBI, 2010.

VAN ONCK, A. **Metadesign.** Bibliografia FAUUSP. Tradução de Lúcio Grinover, 1965.

VASSÃO, C. A. **Metadesign: Ferramentas, Estratégias e Ética para a Complexidade.** São Paulo: Blucher, 2010.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI.** Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

VEZZOLI, C.; CESCHIN, F.; CORTESI, S. **Metodi e Strumenti per il Life Cycle Design: Come Progettare Prodotti a Basso Impatto Ambientale.** 2ª edizione. Milano: Maggioli Editore, 2009.

VEZZOLI, C. **Design de sistemas para a sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de “sistemas de satisfação”.** Salvador: EDUFBA, 2010.

VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações.** São Paulo: Ed. SENAC, 2006.

WESTMAN, W. E. **Ecology, Impact Assessment, and Environmental Planning.** New York: Wiley, 1985.

YIN, R. K.; GRASSI, D. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: nan, 2001.

Glossário

Análise crítica: atividade realizada para determinar a pertinência, a adequação e a eficácia daquilo que está sendo examinado, a fim de alcançar os objetivos estabelecidos (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Análise do inventário do ciclo de vida: fase da ACV de compilação e quantificação das entradas e saídas, para um determinado sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Aspecto ambiental: elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente. Nota: Um aspecto ambiental significativo é aquele que tem ou pode ter um impacto ambiental significativo (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Avaliação do ciclo de vida (ACV): compilação e avaliação de entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Avaliação do impacto do ciclo de vida: fase da ACV dirigida à compreensão e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Ciclo de vida: o conceito de “ciclo de vida” se refere ao conjunto de operações humanas que geram entradas (consumo) e saídas (emissões) de matéria-prima e energia durante todas as etapas envolvidas no sistema de desenvolvimento e consumo do produto. Corresponde aos estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Desempenho ambiental: resultados mensuráveis da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais. Nota: No contexto de sistemas da gestão ambiental, os resultados podem ser medidos com base na política ambiental, objetivos ambientais e metas ambientais da organização e outros requisitos de desempenho ambiental (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Fronteira do sistema: interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Impacto ambiental: qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Interpretação do ciclo de vida: fase da ACV na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são combinadas consistentemente com o objetivo e o escopo definidos para obter conclusões e recomendações (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Logística reversa: trata-se de uma prática para facilitar o reuso ou a reciclagem dos produtos já consumidos e descartados, definida como o inverso da logística ou como a operação do fluxo físico dos produtos após o seu descarte.

Matéria-prima: material primário ou secundário que é utilizado para produzir um produto (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Meio ambiente: circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações. Neste contexto, estende-se do interior das instalações para o sistema global (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Meta ambiental: requisito de desempenho detalhado, aplicável à organização ou à parte dela, resultante dos objetivos ambientais e que necessita ser estabelecido e atendido para que tais objetivos sejam alcançados (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Organização: empresa, corporação, empreendimento, autoridade ou instituição (parte ou uma combinação desses), incorporada ou não, pública ou privada, que tenha funções e administração próprias (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Política ambiental: intenções e princípios gerais de uma organização em relação ao seu desempenho ambiental, conforme formalmente expresso pela Alta Administração. A política ambiental provê uma estrutura para ação e definição de seus objetivos ambientais e metas ambientais (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Processo: é definido como um "conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transforma insumos (entradas) em produtos (saídas)" (ABNT NBR ISO 9000, 2000).

Projeto e desenvolvimento: conjunto de processos que transformam requisitos definidos em características especificadas ou na especificação de um produto, processo ou sistema. Notas: Os termos "projeto" e "desenvolvimento" são algumas vezes usados como sinônimo e outras vezes para definir diferentes estágios do processo geral de projeto e de desenvolvimento. Um qualificativo pode indicar a natureza do que está sendo projetado e desenvolvido (ex.: projeto e desenvolvimento de um produto ou de um processo) (ABNT NBR ISO 9000, 2000).

Requisito: necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória. Notas: "implícito" indica uma prática costumeira ou usual para a organização, seus clientes e outras partes interessadas. Um qualificador pode ser usado para distinguir um tipo específico de requisito, como por exemplo, requisito do produto, requisito da gestão da qualidade, requisito ambiental. Um requisito especificado é um requisito declarado, por exemplo, em um documento (ABNT NBR ISO 9000, 2000).

Sistema: conjunto de elementos inter-relacionados/interativos (ABNT NBR ISO 9000, 2000).

Sistema da gestão ambiental: parte de um sistema da gestão de uma organização utilizada para desenvolver e implantar sua política ambiental e para gerenciar seus aspectos ambientais. Nota: Um sistema da gestão inclui estrutura organizacional, planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos (ABNT NBR ISO 14001, 2004a).

Sistema de produto: conjunto de unidades de processo que estão conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Unidade de processo: menor porção de um sistema de produto para a qual são coletados dados quando é realizada uma avaliação do ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Unidade funcional: desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência em estudos de ACV (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

APÊNDICE A – Estratégias de Jones (1976)

Métodos de exploração de situações de design (Divergência):

- Definição de objetivos: identifica a situação de projeto, o que se pretende com ela, e os pontos que devem ser compatibilizados com o meio externo. A definição dos objetivos é essencial para garantir a fundamentação e as bases do projeto em design.
- Investigação do comportamento do usuário: ao invés de perguntar ao usuário sobre suas necessidades, o designer observa as atitudes e ações dos indivíduos, de modo que se possam definir suas reais necessidades de forma mais eficaz do que nas entrevistas e nos questionários, onde a resposta pode ser dirigida, mascarando opiniões reais.
- Ensaio sistemático: “é preferível ao uso de modelos separados, de cálculos ou de ‘linguagens de problemas’, quando existem dúvidas sobre a identidade e as relações entre causa e efeito de uma situação real” (JONES, 1976, p. 225, tradução nossa).

Métodos de investigação de ideias (Divergência e Transformação):

- Brainstorming (geração de ideias): realizada em grupo, a técnica de *brainstorming* é útil para gerar diversas ideias com rapidez, a partir de uma situação de design fictícia.
- Sinestesia: estímulo à atividade espontânea do cérebro e do sistema nervoso para transformar o problema de design, geralmente utilizando analogias.
- Quadros morfológicos: fazem com que o campo de investigação de soluções se torne um problema de design. Para tanto, define-se funções executáveis

e enumerar uma série de subsoluções em um quadro que contenha meios alternativos de execução. Depois são selecionadas as subsoluções aceitáveis para cada função.

Métodos de exploração da estrutura do problema (Transformação):

- Rede de interações: estabelece um modelo de conexão (em forma de rede) entre os elementos presentes no problema de design, de modo que se torne possível definir quais pontos estão conectados diretamente ou quais estão conectados indiretamente.
- Inovação funcional: proposição de um produto totalmente novo, capaz de criar novas demandas. “A inovação funcional é válida para as situações em que os desenhos existentes estejam próximos aos limites de seu desenvolvimento e em que o entorno se transforma física, econômica, conceitual e socialmente do plano existente de quando se concebeu o desenho original” (JONES, 1976, p. 310, tradução nossa).
- Método de determinação de componentes de Alexander: busca encontrar e definir os componentes físicos corretos para estruturas físicas determinadas, de modo que cada componente possa ser alterado independentemente dos demais, adaptando-se mais facilmente às futuras mudanças políticas, sociais, tecnológicas e econômicas.

Estratégias pré-fabricadas (Convergência):

- Investigação sistemática (abordagem da teoria das decisões): o objetivo deste método é resolver problemas de design de forma lógica. Inicialmente, são identificados os componentes do problema (variáveis controláveis ou não); depois as relações entre as variáveis; os valores que cada uma tende a assumir; as decisões de design a serem tomadas; e os valores nas variáveis determinadas, a fim de obter a melhor combinação dos objetivos ponderados ou um resultado aceitável para o objeto.

- Estratégia acumulativa de Page: amplia as análises e avaliações, ambas convergentes e acumulativas, para reduzir o tempo gasto em alternativas que não serão viáveis, de modo que se possa aprender como desenvolver melhores propostas de desenho.
- Análise de valores: busca organizar o design e a fabricação do produto para a redução de custos. Para tanto, existem quatro etapas de análise de valores que podem ser aplicadas para cada componente físico do produto.

Figura 41 - As quatro etapas da análise de valores: ações técnicas e ações de redução de custo.
Fonte: JONES, 1976, p. 98, tradução nossa.

APÊNDICE B – Ciclo de vida da lata de alumínio

Extração da Bauxita

*A camada superior do solo (espessura de 10 a 50 cm) é removida e armazenada para uso posterior no processo de recuperação da área lavrada (CBA, 2011, *online*).

Produção de Alumina

O químico austríaco Bayer (1888) descobriu um processo que se tornou fundamental para a produção de alumina. O sistema Bayer permite a obtenção do hidróxido de alumínio e/ou alumina por meio do refino da bauxita (ALCOA, 2011).

Figuras já expostas na dissertação - Frente de mineração e mesma área após reabilitação.
Fonte: ALCOA, 2011, *online*. Acesso em: 21 ago. 2011.

Produção de Alumínio

Produção de Latas e Tampas

Lavagem e Enchimento, Consumo e Reciclagem

APÊNDICE C – Estudo de ACV da lata de alumínio

Estão relacionados a seguir os principais dados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) da lata de alumínio, tendo em vista as diferentes etapas produtivas ocorridas desde a extração da bauxita até a inserção do conteúdo reciclado. Os processos que fazem parte da produção do alumínio primário são comuns a todos os produtos finais que utilizam este material, ou seja, não são específicos para o caso da lata.

Tabela 19 - Simulação para a unidade de processo de mineração da bauxita.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de alumínio primário
ENTRADAS		
Bauxita [recursos não renováveis]	Kg	5775,8
Água	Kg	2935,7
Entradas de energia e combustível		
Diesel [produtos de petróleo bruto]	Kg	6,0436
Energia [energia elétrica]	MJ	33,37
Energia térmica	MJ	52,96
SAÍDAS		
Bauxita [produtos intermediários inorgânicos]	Kg	5246,2
Saída de resíduos		
Pó (não especificado) [partículas para a atmosfera]	Kg	5,1
Sobrecarga (material depositado)	Kg	529,6
Emissões para o ar (saída)		
Dióxido de carbono	Kg	30
Vapor [emissões inorgânicas]	Kg	143,6
Emissões para a água (saída)		
Água residual	Kg	2776,5

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 15.

Tabela 20 - Simulação para a unidade de processo de produção de alumina.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de alumínio primário
ENTRADAS		
Bauxita [recursos não renováveis]	Kg	5246,2
Hidróxido de sódio (50% soda cáustica)	Kg	172
Cal virgem (irregular) [Minerais]	Kg	75,5
Água	Kg	15391,2
Entradas de energia e combustível		
Diesel	Kg	1,31
Energia [energia elétrica]	MJ	839,8
Energia térmica	MJ	18821,5
SAÍDAS		
Óxido de alumínio (alumina)	Kg	1915,4
Saída de resíduos para reaproveitamento		
Lubrificante (graxa) [resíduos perigosos]	Kg	0,91
Saída de resíduos para eliminação		
Lama vermelha (seco) [resíduos perigosos]	Kg	2187
Resíduos industriais para descarte urbano	Kg	29,3
Resíduos (sólidos)	Kg	47,1
Areia (para produção de alumina)	Kg	58,3
Emissões para o ar (saída)		
Dióxido de carbono	Kg	880
Vapor	Kg	4989,7
Mercúrio (+ II)	Kg	4,02E-04
Emissões para a água (saída)		
Sólidos suspensos	Kg	0,091
Água (água do mar)	Kg	241,4
Água (água de superfície)	Kg	10.160,5

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 18 e 19.

De acordo com o International Aluminium Institute (IAI), a produção de uma tonelada métrica de alumina requer aproximadamente 2,739 toneladas métricas de bauxita¹², tendo em vista a pureza do minério e as perdas durante o processamento e o transporte (IAI, 2005). Observou-se que os processos envolvidos nesta fase desempenham um papel significativo nos impactos ambientais de todo o ciclo de vida da lata de alumínio, visto que o fator ambiental mais expressivo na produção de alumina é o gasto de energia.

A obtenção industrial do alumínio ocorre pela redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3), na qual há a passagem de uma corrente elétrica contínua em cubas eletrolíticas revestidas de carbono, sob uma temperatura de 960° C. Estas cubas são compostas por um polo negativo (catodo) e outro positivo (anodo). Os anodos são blocos pré-cozidos consumidos no processo de redução, compostos basicamente por uma mistura de coque e piche, sendo trocados com uma frequência aproximada de 25 dias (ALBRAS, 2012). As operações da produção de anodo incluem (AA, 1999; IAI, 2005): recuperação de gastos materiais do ânodo; preparação da mistura anódica, bloco formado e cozido; hastes de cozimento dos anodos; manutenção e reparo de instalações e equipamentos; tratamento de ar, líquidos e sólidos processados.

Tabela 21 - Simulação para a unidade de processo de produção do anodo.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de alumínio primário
ENTRADAS		
Coque (transporte C)	Kg	345,2
Mix de carvão e piche (carregador C)	Kg	92,32
Material refratário [Minerais]	Kg	5,819
Chapa de aço (St) [peças de metal]	Kg	1,706
Água de resfriamento	Kg	200,7
Entradas de energia e combustível		
Diesel	Kg	0,401

¹² Média global que tem sido adotada para modelar a produção de alumina na América do Norte.

Energia [energia elétrica]	MJ	205,78
Energia térmica	MJ	1174,08
SAÍDAS		
Anodo (transporte C)	Kg	437,5
Emissões para o ar (saída)		
Dióxido de carbono	Kg	325,9
Fluoretos	Kg	0,004
Benzo(a)pireno [Grupo de <i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>]	Kg	3,48E-05
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos [Grupo de PAH]	Kg	0,0281
Emissões para a água (saída)		
Fluoreto	Kg	0,0002
Óleo (não especificado)	Kg	5,02E-05
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH)	Kg	5,52E-05
Sólidos (suspensos)	Kg	0,0005

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 24 e 25.

Tabela 22 - Simulação para a unidade de processo de eletrólise.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de alumínio primário
ENTRADAS		
Fluoreto de alumínio	Kg	16,16
Óxido de alumínio (alumina)	Kg	1915,4
Anodo (transporte C)	Kg	437,2
Abrasivo	Kg	0,104
Catodo	Kg	9,669
Aço (chapa) (St)	Kg	7,669
Água	Kg	16387,09
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	54281

SAÍDAS		
Alumínio (metal líquido)	Kg	1013,42
Saída de resíduos destinados à valorização		
Óxido de alumínio (alumina)	Kg	3,579
Material refratário	Kg	7,442
Reciclagem do subproduto da fundição	Kg	8,412
Emissões para o ar (saída)		
Dióxido de carbono	Kg	2904
Fluoretos	Kg	0,857
Benzo(a)pireno [Grupo de PAH para o ar]	Kg	0,002
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos [Grupo de PAH para o ar]	Kg	0,291
Tetrafluorometano (CF ₄)	Kg	0,151
Hexafluoretano (C ₂ F ₆ ; R116)	Kg	0,0152
Emissões para a água (saída)		
Fluoreto	Kg	0,119
Óleo (não especificado)	Kg	0,007
Sólidos (suspensos)	Kg	0,119
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH, não especificado)	Kg	6,01E-04
Resíduos Perigosos		
Carbono (não especificado)	Kg	8,462
Material refratário	Kg	14,197
Lama	Kg	14,04
Água [Água]	Kg	14565,432

Fonte: sintetizado pela autora a partir de AA, 2010, p. 30, 31 e 32.

O modelo de unidade de processo para a eletrólise foi baseado em práticas norte-americanas, e é considerado como sendo o mesmo a nível global. A entrada de energia elétrica direta durante a eletrólise é um parâmetro crítico no ICV, visto que pode influenciar significativamente o impacto ambiental de todo o processo de fabricação da lata.

A etapa de formação do lingote primário, por sua vez, inclui as seguintes operações: pré-tratamento do metal quente (limpeza e aquecimento); recuperação e tratamento da sucata dos processos internos; processamento das formas, tratamento do metal; homogeneização, serragem, embalagem e operações para a fundição; manutenção e reparo das instalações e equipamentos; tratamento de ar, líquidos e sólidos processados (AA, 1999; IAI, 2005).

Tabela 23 - Simulação para a unidade de processo de formação do lingote.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de alumínio primário
ENTRADAS		
Componentes de liga leve (alumínio)	Kg	15,05
Alumínio (metal líquido)	Kg	1018,5
Cloro	Kg	0,055
Água de resfriamento	Kg	100,34
Entradas de energia e combustível		
Diesel kg	Kg	3,31
Energia [energia elétrica]	MJ	244,71
Energia térmica proveniente do gás natural	MJ	1295
SAÍDAS		
Lingote de alumínio fundido (resfriamento)	Kg	1003,4
Saída de resíduos destinados à valorização		
Entulho	Kg	18,36
Pó do filtro	Kg	0,030
Sucata de aço (St)	Kg	17,26
Saída de resíduos destinados à eliminação		
Entulho (finos)	Kg	0,803
Resíduos (sólidos)	Kg	0,2
Material refratário	Kg	2,91
Emissões para o ar (saída)		
Dióxido de carbono	Kg	60
Cloreto de hidrogênio	Kg	0,016
Emissões para a água (saída)		
Óleo (não especificado)	Kg	0,005
Sólidos (suspensos)	Kg	0,020

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 36.

A produção da folha de alumínio para a lata é separada em duas partes: tampa e corpo. O processo difere no revestimento (cobertura) que as tampas recebem. A proporção de tampa para a produção do corpo, por peso, é de aproximadamente 22/78 (AA, 2010).

Tabela 24 - Simulação para a unidade de processo de produção da folha para lata. CORPO (780 kg)

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de folha para lata
ENTRADAS		
Lingote de alumínio	Kg	1072
Aço	Kg	0,13
Entradas de materiais operacionais		
Água do processo	Kg	835,6
Água de refrigeração	Kg	473,0
Óleo de rolamento	Kg	3,603
Lubrificante (não especificado)	Kg	1,185
Óleo hidráulico	Kg	0,811
Filtros	Kg	0,616
Óleo lubrificante	Kg	0,391
Solvente	Kg	0,006
Entradas de outros materiais		
Palets de madeira	Kg	2,535
Revestimentos (não especificado)	Kg	2,306
Ácido sulfúrico (100%)	Kg	0,651
Papelão (embalagem)	Kg	0,303
Película de polietileno (PE)	Kg	0,141
Papel Plástico Composto	Kg	0,073
Espuma	Kg	0,036
Ácido Fosfórico	Kg	0,024
Ácido Cromo	Kg	0,009
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	1025
Energia térmica	MJ	3117,79
Vapor (MJ)	MJ	6,95
Diesel	Kg	0,079

Querosene	Kg	0,1
Gasolina (regular)	Kg	0,011
Óleo combustível pesado	Kg	0,003
SAÍDAS		
Corpo da lata	Kg	780
Emissões para o ar (saída)		
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) (não especificado)	Kg	1,333
Pó (não especificado)	Kg	0,136
Óxidos de azoto	Kg	0,117
Monóxido de Carbono	Kg	0,088
Fluoreto de Hidrogênio	Kg	0,002
Benzeno Etílico	Kg	0,001
Dióxido de Enxofre	Kg	0,001
Emissões para a água (saída)		
Águas residuais	Kg	2032
Sólidos (dissolvidos)	g	144,2
Sólidos (suspensos)	g	24,36
Demanda biológica de oxigênio (BOD)	g	12,39
Cloreto	g	9,185
Demanda química de oxigênio (COD)	g	2,479
Íon de alumínio (+ III)	g	0,144
Alumínio (+ III)	g	4,73E-02
Zinco (+ II)	g	2,2E-02
Amônio / Amoníaco	g	1,23E-03
Outros resíduos (saída)		
Sucata de alumínio	Kg	291,6
Resíduos não perigosos - deposição em aterros	Kg	4,113
Resíduos não perigosos para processamento	Kg	0,949
Sucata de metal para reciclagem (fora alumínio)	Kg	0,405
Resíduos perigosos para processamento	Kg	0,068
Resíduos perigosos - deposição em aterros	Kg	0,022

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 52, 53, 54 e 55.

Tabela 25 - Simulação para a unidade de processo de produção da folha para lata. TAMPA (220 kg)

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de folha para lata
ENTRADAS		
Lingote de alumínio	Kg	316,9
Aço	Kg	0,034
Entradas de materiais operacionais		
Água do processo	Kg	312,0
Água de refrigeração	Kg	108,3
Solvente	Kg	6,712
Lubrificante (não especificado)	Kg	3,706
Óleo de rolamento	Kg	3,354
Óleo Hidráulico	Kg	0,229
Filtros	Kg	0,214
Óleo lubrificante	Kg	0,15
Entradas de outros materiais		
Resina Epóxi	Kg	9,265
Palets de madeira	Kg	3,851
Cloreto de Vinil (VCM; Chloroethene)	Kg	0,761
Revestimentos (não especificado)	Kg	0,598
Papelão (embalagem)	Kg	0,365
Nafta	Kg	0,350
Carbonato de sódio (soda)	Kg	0,304
Ácido sulfúrico (100%)	Kg	0,28
Resina de poliéster (insaturada; UP)	Kg	0,223
Ácido succínico dibutileno éster	Kg	0,180
Xileno (o-Xileno; 1,2-Dimetilbenzeno)	Kg	0,179
Ácido Fosfórico	Kg	0,133
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	636,5
Energia térmica (MJ)	MJ	976,325
Vapor (MJ)	MJ	41,59
Diesel	Kg	0,107
Querosene	Kg	0,186
Gasolina (regular)	Kg	0,009

SAÍDAS		
Tampa para lata (embalada)	Kg	220
Emissões para o ar (saída)		
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) (não especificado)	Kg	0,395
Óxidos de azoto	Kg	0,063
Pó (não especificado)	Kg	0,027
Xileno (dimetilbenzeno)	Kg	0,020
Monóxido de Carbono	Kg	0,019
Trimetilbenzeno	g	3,01
Tolueno (metil benzeno)	g	2,31
Amônia	g	1,389
Etilbenzeno	g	1,233
Metil Isobutil Cetona	g	7,76
Dióxido de enxofre	g	4,11
Cumeno (isopropilbenzeno)	g	2,89
Emissões para a água (saída)		
Águas residuais	Kg	1063
Sólidos (dissolvidos)	Kg	0,032
Sólidos (suspensos)	g	20,05
Demanda biológica de oxigênio (BOD)	g	7,798
Demanda química de oxigênio (COD)	g	7,172
Cloreto	g	2,356
Íon de alumínio (+ III)	g	0,242
Alumínio (+ III)	g	1,23E-02
Cromo (não especificado)	g	2,37E-03
Outros resíduos (saída)		
Sucata de alumínio	Kg	95,72
Resíduos não perigosos para reprocessamento	Kg	3,030
Resíduos não perigosos - deposição em aterros	Kg	1,684
Resíduos perigosos para deposição em aterros	Kg	1,093
Resíduos perigosos para incineração	Kg	1,026
Resíduos perigosos para reprocessamento	Kg	0,323

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 55, 56 e 57.

Os principais passos para a fabricação da tampa são: estampagem das extremidades (bordas) de fora; dobra das extremidades (enrolando-as); aplicação do composto de vedação; estampagem das abas; estampagem das funções (características) finais sobre as extremidades; e, finalmente, a fixação das abas das bordas para concluir a tampa.

Tabela 26 - Simulação para a unidade de processo de produção da lata de alumínio.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 74000 latas de folha de alumínio
ENTRADAS		
Folha de alumínio	Kg	1241,72
Entradas de outros materiais		
Água	Kg	6346,98
Revestimentos (lata)	Kg	67,784
Fluoreto de hidrogénio	Kg	16,65
Ácido sulfúrico (aq.) (96%)	Kg	14,652
Cal virgem (irregular)	g	5712,8
Óleo lubrificante	g	2917,08
Tintas (lata)	g	2312,5
Peça de polietileno (PE)	g	1007,14
Peça de polipropileno (PP)	g	1322,38
Solvente	g	649,794
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	5743,88
Energia térmica	MJ	5251,78
Diesel	g	246,346
SAÍDAS		
Lata de duas peças	-	74000
Emissões para o ar (saída)		
Álcoois (não especificados)	g	3238,98
Etilenoglicol	g	1768,6
Éter (não especificado)	g	298,22
Formaldeído (metanol)	g	149,48
Nafta	g	73,038
Xileno (dimetilbenzeno)	g	1,7464

Manganês (+II)	g	0,8362
Fluoreto de hidrogênio	g	0,68154
Etilbenzeno	g	0,046102
Metanol	g	0,018278
Emissões para a água (saída)		
Águas residuais	Kg	4338,62
Fósforo	Kg	37
Sólidos (dissolvidos)	Kg	8,14
Sulfato	Kg	3,33
Demanda química de oxigênio (COD)	Kg	1,924
Cálcio (+II)	Kg	1,48
Demanda biológica de oxigênio (BOD)	g	288,6
Cloreto	g	259
Sólidos (suspensos)	g	259
Total de Carbono Orgânico delimitado	g	177,6
Sódio (+I)	g	155,4
Óleo (não especificado)	g	103,6
Nitrogênio (N total)	g	62,16
Flúor	g	33,3
Alumínio (+III)	g	31,82
Potássio	g	22,2
Magnésio (+II)	Kg	1,04E-02
Partículas de silicato	Kg	5,62E-03
Arsênio (+V)	Kg	2,22E-03
Estrôncio (utilizado em tubos de raios catódicos)	Kg	1,04E-03
Manganês (+II)	Kg	6,81E-04
Fenol (hidroxibenzeno)	Kg	6,14E-04
Sulfureto	Kg	3,85E-04
Ferro	Kg	2,44E-04
Zinco (+II)	Kg	2,22E-04
Selênio	Kg	2,15E-04
Cobre (+II)	Kg	1,92E-04
Bário	Kg	9,62E-05
Cloro	Kg	8,88E-05
Chumbo (+II)	Kg	6,73E-05
Cromo (não especificado)	Kg	6,66E-05

Cádmio (+II)	Kg	6,36E-05
Cianeto	Kg	3,85E-05
Níquel (+II)	Kg	2,59E-05
Prata	Kg	2,15E-05
Mercúrio (+II)	Kg	8,14E-07
Outros resíduos (saída)		
Sucata de alumínio	Kg	255,078
Total de resíduos para incineração	Kg	16,65
Lama	Kg	12,876
Resíduos (reciclagem)	Kg	9,62
Resíduos (incineração)	g	3674,84
Resíduos (aterros)	g	3258,22
Lama (de processamento)	g	1946,94
Resíduos perigosos para incineração	g	55,648

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 60, 61, 62, e 63.

Para a inclusão do material reciclado é considerada a fabricação do lingote secundário, produzido a partir da sucata pós-consumo, que deve ser tratada antes da sua fusão no forno. Os resíduos de alumínio são triturados para remover os contaminantes e os pedaços são passados em separadores magnéticos para eliminar contaminações ferrosas.

O metal deixa os trituradores e passa para a unidade de decapagem, onde é aquecido e os revestimentos superficiais (principalmente a camada de tinta) são vaporizados e oxidados. Já no forno de fusão, o alumínio primário é utilizado para compensar a perda do sistema de fusão e equilibrar a composição, caso necessário. Além disso, os aditivos que compõem a liga são adicionados às especificações do lingote.

É importante ressaltar que os números das tabelas abaixo são específicos para lingotes utilizados na produção de latas e, de modo algum, podem representar a produção geral ou total de lingotes de alumínio (AA, 2010).

Tabela 27 - Simulação da unidade de processo de preparação da sucata (trituração e decapagem)

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de sucata preparada
ENTRADAS		
Sucata de alumínio	Kg	1013
Materiais operacionais		
Hidróxido de cálcio	Kg	0,656
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	30,91
Energia térmica	MJ	281,22
SAÍDAS		
Sucata de alumínio processada	Kg	1000
Emissões para o ar (saída)		
Cloreto de hidrogênio	g	6,21
Dióxido de azoto	g	2,071
Dióxido de enxofre	Kg	8,63E-06
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) (não especificado)	g	3,667
Outras emissões para a atmosfera	Kg	3,97E-10
Pó (não especificado)	g	23,49
Outros resíduos (saída)		
Partículas (pó) de alumínio	Kg	5,103
Resíduos perigosos para aterros	Kg	0,1
Filtro de ar (cal)	Kg	0,042
Resíduos não perigosos - deposição em aterros	Kg	2,791
Contaminação da sucata	Kg	6,57

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 65 e 66.

A sucata pós-industrial ou de fabricação é produzida (e reaproveitada) nos laminadores, nas fábricas de produção de latas, e no processo de enchimento destas (excluído da coleta de dados neste estudo). A sucata de laminadores e das fábricas de latas é tratada de uma maneira semelhante, uma vez que não recebeu nenhum revestimento (sucata limpa). Neste modelo, esta sucata é considerada por ser diretamente refundida em lingotes, realimentando o processo de laminação (AA, 2010, p. 68).

Tabela 28 - Simulação para a unidade de processo para refusão e fundição.

Parâmetro	Unidade	Quantidade / 1000 kg de lingote para laminação
ENTRADAS		
Alumínio	Kg	1046
Componentes de liga	Kg	5,669
Entradas de materiais operacionais		
Água de resfriamento	Kg	848
Água do processo	Kg	716,5
Óleo hidráulico	Kg	0,823
Lubrificante (não especificado)	Kg	0,496
Filtros	Kg	0,972
Sal (fluxo)	Kg	0,176
Entradas de outros materiais		
Cloreto de sódio (pedra de sal)	Kg	2,564
Cloreto de potássio	Kg	2,564
Cloreto de sódio (pedra de sal)	Kg	0,6
Hidróxido de sódio (100% soda cáustica)	Kg	0,097
Ácido sulfúrico (100%)	Kg	0,867
Criolita	Kg	0,214
Hipoclorito de sódio	Kg	0,014
Material Refratário	Kg	0,007
Entradas de energia e combustível		
Energia [energia elétrica]	MJ	1022
Energia térmica	MJ	1907
Diesel	Kg	0,704
Gasolina (regular)	Kg	0,012
Querosene	g	1,074
SAÍDAS		
Lingote de alumínio	Kg	1000
Emissões para o ar (saída)		
Pó (não especificado)	Kg	0,121
Óxidos de azoto	Kg	0,112
Cloreto de hidrogênio	Kg	0,106
Dióxido de azoto	Kg	0,102
Monóxido de Carbono	Kg	0,083

Dióxido de enxofre	g	4,336
Fluoreto de hidrogênio	g	3,451
Cloro	g	1,62
Outras emissões para a atmosfera	g	1,355
Amônia	g	0,444
Chumbo (+II)	Kg	4,51E-06
Dioxinas (não especificadas)	Kg	1,5E-11
Emissões para a água (saída)		
Águas residuais	Kg	1637
Sólidos (dissolvidos)	Kg	0,128
Demanda química de oxigênio (COD)	Kg	0,021
Demanda biológica de oxigênio (BOD)	Kg	0,013
Cloreto	g	9,47
Sólidos suspensos (indeterminados)	g	3,014
Óleo (não especificado)	g	2,08
Sólidos (suspensos)	g	1,755
Alumínio (+III)	g	0,844
Íon de alumínio (+III)	g	0,166
Amoníaco	Kg	3,61E-05
Íons de zinco (+II)	Kg	2,15E-05
Zinco (+II)	Kg	4,51E-06
Cianeto	Kg	4,51E-06
Outros resíduos (saída)		
Entulho (impurezas)	Kg	39,37
Resíduos não perigosos para processamento	Kg	28,33
Resíduos não perigosos - deposição em aterros	Kg	6,922
Sucata Revestida (All 5XXX série liga)	Kg	3,526
Sucata para reciclagem, excluindo o alumínio	Kg	1,07
Filtro de ar (cal)	Kg	0,560
Partículas (pó) de alumínio	Kg	0,275

Fonte: sintetizado e adaptado pela autora a partir de AA, 2010, p. 66, 67 e 68.

Apoio: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
Programa regular de bolsa de mestrado no país