MARCELO REAL PRADO

ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS DE VIDRO, ALUMÍNIO E PET UTILIZADAS EM UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES NO BRASIL

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto

CURITIBA

2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

MARCELO REAL PRADO

ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS DE VIDRO, ALUMÍNIO E PET UTILIZADAS EM UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES NO BRASIL

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto

CURITIBA

2007

MARCELO REAL PRADO

ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS DE VIDRO, ALUMÍNIO E PET UTILIZADAS EM UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES NO BRASIL

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. GEORGES KASKANTZIS NETO
Setor de Tecnologia, UFPR

Prof. Dr. HERON OLIVEIRA DOS SANTOS LIMA
Coordenação de Alimentos, UTFPR-Campo Mourão

Profª. Drª. CÁSSIA MARIA LIE UGAYA
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR-Curitiba

Prof. Dr. MARCELO RISSO ERRERA
Setor de Tecnologia, UFPR

Profª. Drª. MARIA LUCIA MASSON
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 14 de fevereiro de 2.007.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Georges Kaskantzis Neto, pela orientação, acompanhamento e revisão deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos da UFPR, por todos os ensinamentos.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo incentivo e apoio à qualificação de seus docentes.

À professora Dra. Cássia Maria Lie Ugaya, por suas considerações, apoio e incentivo.

Às empresas que contribuíram com informações para realização deste estudo.

Ao Sr. Peter Muller Beilschmidt, do IFU Hamburg GmbH, pela autorização de uso do software utilizado no trabalho.

À minha esposa Elisiane, pela paciência, compreensão e dedicação.

À minha família, pela ajuda e incentivo em todos os momentos.

A Deus por permitir chegar até aqui.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Só quem tenta o absurdo é capaz de alcançar o impossível.”

SUMÁRIO

SUMÁRIO i
LISTA DE FIGURAS iii
LISTA DE TABELAS v
LISTA DE QUADROS vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS vii
RESUMO ix
ABSTRACT x
1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Objetivos 5
1.1.1 Objetivo Geral 5
1.1.2 Objetivos Específicos 5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6
2.1 A Embalagem e o Meio Ambiente 6
2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) 7
2.2.1 Etapas de um estudo de ACV 12
2.2.1.1 Definição de Objetivo e Escopo 12
2.2.1.2 Análise do Inventário 13
2.2.1.3 Avaliação dos Impactos 13
2.2.1.4 Interpretação 15
2.2.1.5 Revisão Crítica 15
2.2.2 Normatização da ACV 16
2.2.3 As normas da série ISO 14000 16
2.2.4 Exemplos de ACV no Brasil e no mundo 17
2.2.5 ACV de Embalagens 20
2.3 O Ciclo de Vida das Embalagens de Refrigerantes 25
2.3.1 *Considerações Gerais* 25
2.3.2 GARRAFAS DE VIDRO 27
2.3.2.1 Produção de Vidro 29
2.3.2.2 Fabricação da Garrafa de Vidro 30
2.3.2.3 Reciclagem das Garrafas de Vidro 33
2.3.3 LATAS DE ALUMÍNIO 34
2.3.3.1 Extração da bauxita e produção da alumina 35
2.3.3.2 Processo de eletrólise e fundição 37
2.3.3.3 Laminação e produção da lata 38
2.3.3.4 Processo de Reciclagem da Lata de Alumínio 39
2.3.4 GARRAFAS PET 41
2.3.4.1 Extração e Processamento do Petróleo 44
2.3.4.2 Fabricação da Resina 51
2.3.4.3 Fabricação da Pré-forma e da Garrafa 52
2.3.4.4 Fabricação da Tampa e Rótulo 53
2.3.4.5 Processo de Reciclagem da Garrafa PET 54
3 MATERIAIS E MÉTODOS 55
3.1 Definição dos objetivos e fronteiras do estudo 55

3.2 Estudo dos processos produtivos das embalagens 60
3.3 Levantamento das informações em campo e na literatura..... 61
3.4 Tratamento das informações obtidas em campo e na literatura 66
3.5 Elaboração da matriz de aspectos ambientais..... 76
3.6 Simulação dos processos utilizando software Umberto 77
3.7 Análise comparativa dos resultados..... 80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 81
4.1 Identificação das fronteiras dos sistemas 81
4.2 Dados coletados e Análise do inventário 82
4.3 Resultados com o software UMBERTO 117
5 CONCLUSÕES 120
5.1 Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros..... 121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 123
ANEXO I..... 133
ANEXO II..... 161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama representativo do ciclo de vida de um produto 9
Figura 2 - Etapas de uma Avaliação do Ciclo de Vida 12
Figura 3 – Diagrama de blocos genérico do ciclo de vida de uma embalagem para refrigerantes 27
Figura 4 – Diagrama da produção de garrafas de vidro 31
Figura 5 – Extração da bauxita e produção da alumina 36
Figura 6 – Processo de Laminação 38
Figura 7 – Etapas da reciclagem da lata de alumínio 40
Figura 8 – Diagrama da produção do polímero PET 43
Figura 9 – Refino do Petróleo 45
Figura 10 – Processo de obtenção do etileno 47
Figura 11 – Processo de obtenção do DMT 50
Figura 12 – Representação da molécula de PET 51
Figura 13 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das garrafas de VIDRO 57
Figura 14 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das latas de ALUMÍNIO 58
Figura 15 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das garrafas de PET 59
Figura 16 – Formulário para Coleta de Dados 61
Figura 17 – Quadro de definição e caracterização das variáveis do sistema no software UMBERTO 78
Figura 18 – Exemplo de um fluxo genérico com entradas e saídas em processos produtivos realizados com o UMBERTO 79
Figura 19 – Consumo de água e de energia no ciclo de vida das garrafas de VIDRO 91
Figura 20 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das Garrafas de VIDRO 93
Figura 21 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de VIDRO 94
Figura 22 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Garrafas de Vidro (kg) 96
Figura 23 – Consumo de água e energia no ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO 100
Figura 24 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das latas de Alumínio 101
Figura 25 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das Latas de Alumínio 103
Figura 26 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Latas de Alumínio (kg) 105
Figura 27 – Consumo de água e energia no ciclo de vida das garrafas de PET 109
Figura 28 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das garrafas de PET 110
Figura 29 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de PET 112

Figura 30 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Garrafas de PET (kg) 114
Figura 31 - Resumo da quantificação dos aspectos ambientais dos ciclos de vida das embalagens estudadas de acordo com a unidade funcional adotada 115
Figura 32 – Etapas do ciclo de vida das garrafas de vidro 162
Figura 33 – Etapas do ciclo de vida das latas de alumínio 163
Figura 34 – Etapas do ciclo de vida das garrafas de PET 164
Figura 35 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das garrafas de vidro 165
Figura 36 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das latas de alumínio 166
Figura 37 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das garrafas de PET 167
Figura 38 – Consumo de energia nos ciclos de vida das embalagens 168
Figura 39 – Consumo de água nos ciclos de vida das embalagens (kg) 169
Figura 40 – Geração de efluentes líquidos nos ciclos de vida das embalagens (kg) 170
Figura 41 – Emissões atmosféricas geradas nos ciclos de vida das embalagens 171
Figura 42 – Resíduos sólidos gerados nos ciclos de vida das embalagens 172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade de envase e massa (valores médios) das embalagens estudadas 56
Tabela 2 – Dados coletados para estudo de ACV das garrafas de VIDRO 63
Tabela 3 - Dados coletados para estudo de ACV das latas de ALUMÍNIO 64
Tabela 4 - Dados coletados para estudo de ACV das garrafas de PET 65
Tabela 5 - Valores de emissões atmosféricas (em kg/km) 66
Tabela 6 - Valores de emissões de VOC's para transporte, via tubovias (oleodutos), de petróleo e derivados 67
Tabela 7 – Características das embalagens definidas para o estudo de ACV 67
Tabela 8 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das garrafas de VIDRO 69
Tabela 9 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO 70
Tabela 10 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das garrafas de PET 70
Tabela 11 – Fatores de correção para produção de garrafas de VIDRO com taxa de reciclagem de 25% e taxa de reuso de 28 vezes 73
Tabela 12 – Fatores de correção para produção de latas de ALUMÍNIO com taxa de reciclagem de 90% 74
Tabela 13 – Fatores de correção para produção de garrafas de PET com taxa de reciclagem de 40% 76
Tabela 14 – Quantificação resumida dos aspectos ambientais dos ciclos de vida das embalagens estudadas de acordo com a unidade funcional adotada. ... 115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores adotados para as variáveis associadas aos diferentes tipos de transporte 68
Quadro 2 - Valores adotados para as variáveis associadas ao fator de correção da produção para as garrafas de vidro 71
Quadro 3 – Aspectos ambientais definidos para o estudo 77
Quadro 4 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida das garrafas de VIDRO 83
Quadro 5 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO 84
Quadro 6 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida de garrafas de PET 85
Quadro 7 - Balanço material e de energia para o ciclo de vida das GARRAFAS DE VIDRO com taxa de reciclagem de 25% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante 88
Quadro 8 - Balanço material e de energia para o ciclo de vida das LATAS DE ALUMÍNIO com taxa de reciclagem de 90% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante 97
Quadro 9 – Balanço material e de energia para o ciclo de vida das GARRAFAS PET com taxa de reciclagem de 40% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante 106

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a.a.	- ao ano
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CA	- consumo de água
CE	- consumo de energia
CV	- cavalo-vapor
d	- dia
DHET	- dihidroxietileno tereftalato
DMT	- dimetil tereftalato
EA	- emissões atmosféricas
EL	- efluentes líquidos
F_p	- fator de correção da produção
F_t	- fator de correção para o transporte
GLP	- gás liquefeito de petróleo
HP	- horse power (cavalo vapor)
HC	- hidrocarbonetos
IFEU	- Institut für Energie und Umweltforschung
IFU	- Institut für Umweltinformatik
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPI	- Imposto sobre Produtos Industrializados
ISO	- International Organization for Standardization
ITAL	- Instituto de Tecnologia de Alimentos
kg	- quilograma
km	- quilômetro
kWh	- quilowatt-hora
L	- litro
LCA	- Life Cycle Assessment
M	- metro
MEG	- Monoetilenoglicol
MJ	- Megajoule
mL	- mililitro
MP	- material particulado
ONG	- Organização não Governamental
PET	- Polietileno Tereftalato
pH	- potencial hidrogeniônico
PP	- Polipropileno
PTA	- ácido tereftálico purificado
PVC	- cloreto de polivinila
R$	- reais
RN	- recursos naturais

RS	- resíduos sólidos
t	- tonelada
TPA	- ácido tereftálico
t_R	- taxa de reciclagem
US$	- dólar
VOC	- compostos orgânicos voláteis

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida - ACV é uma metodologia importante, pois permite uma contabilização ambiental, onde são consideradas as retiradas de recursos naturais e energia da natureza e as "devoluções" para a mesma, permitindo avaliar os impactos ambientais potenciais gerados. O conhecimento do ciclo de vida de um produto é o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável. O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise de fluxos de materiais e energia do ciclo de vida de três tipos de embalagens para refrigerantes: garrafas de vidro, latas de alumínio e garrafas de PET. O estudo envolveu processos desde a extração de matérias-primas para produção das embalagens até as etapas de reciclagem, pós-consumo do refrigerante. Foram identificados e quantificados os principais pontos críticos de geração de impacto ambiental negativo durante o ciclo de vida de cada embalagem. O consumo de recursos naturais e energia, geração de emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes líquidos foram as categorias analisadas. Os resultados obtidos no estudo revelaram que, de acordo com os cenários e variáveis definidas, a garrafa de vidro apresentou um cenário menos favorável ao meio ambiente comparado às demais embalagens.

Palavras-chave: ***avaliação do ciclo de vida, embalagens, refrigerantes, desenvolvimento sustentável.***

ABSTRACT

The Life Cycle Assessment – LCA is an important method because it allows an environment accounting, where the extraction of natural resources and energy of the nature are considered and the "returns" to the same one and allows in evaluating relative potential the environment impacts generated. The knowledge of the life cycle of a product is the first step in the search of the sustainable development. The present work had as objective to make an analysis of material and energy flows of the life cycle of three types of packaging for soft drinks: glass bottles, aluminum cans and bottles of PET. The study considered processes since the extraction of raw materials for production of the packaging until the stages of recycling, after the consumption of the soft drink. They had been identified and quantified the main critical points of generation of negative environmental impact during the life cycle of each packaging. The consumption of natural resources and energy, the generation of atmospheric emissions, solid wastes and wastewaters had been the analyzed categories. The results showed that, in accordance with the scenes and defined variables, the bottle of glass presented a less favorable scene to the environment in comparison with the other packaging.

Key-words: ***life cycle assessment, packaging, soft drinks, sustainable development.***

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, consumir, cada vez em maiores proporções, é sinônimo de felicidade. Impelidos pela necessidade de vender seus produtos, os fabricantes gastam grandes quantias de dinheiro com propaganda, para incutir esse conceito na população. Porém, o elevado consumo está colocando o planeta em risco (MOURAD et al., 2002).

Quando da compra de um produto sem a preocupação de como foi feito e o destino que terá depois de usado, está-se colaborando, sem perceber, para a degradação do meio ambiente. Atualmente, com a vida agitada que as pessoas levam, sobretudo nas grandes cidades, o tempo é curto e quase todos querem fazer tudo da maneira mais rápida possível.

Como exemplo do descaso com o meio ambiente, pode-se citar as embalagens de plástico, metal e vidro, utilizadas para envase de refrigerantes, que vão todas juntas para o lixo, e até mesmo acompanhadas de produtos com alto teor tóxico, como pilhas, baterias, inseticidas e tintas. Da mesma forma, roupas, móveis e outros tipos de produtos são comprados sem a preocupação em saber se aquilo foi feito sem agredir a natureza ou se não se utilizou na sua fabricação trabalho escravo ou mão-de-obra infantil, por exemplo. Água e energia, por outro lado, são desperdiçadas, pois há a sensação de que nunca irão faltar.

Com o objetivo de tentar reduzir esses fatores negativos, e primar pela prevenção à poluição, está surgindo um movimento de sustentabilidade, que busca conscientizar o consumidor para que ele passe a fazer a sua parte na construção de um planeta com melhor qualidade de vida e uma sociedade mais justa.

Os especialistas em meio ambiente, por sua vez, também estão exercendo um papel fundamental nessa luta. Os empresários, por exemplo, devem implantar uma produção mais limpa, aproveitando os resíduos industriais, economizando energia elétrica, reciclando água no processo produtivo, fazendo coleta seletiva e apoiando programas ambientalistas.

Já o cidadão pode fazer a sua parte consumindo apenas o necessário e evitando o desperdício de combustível, água, eletricidade e alimentos. Além disso, deve valorizar materiais que podem ser reutilizados ou reciclados. É preciso exigir qualidade e durabilidade dos produtos, recusando aqueles que agridem a saúde e o meio ambiente.

Como consumidor responsável é necessário saber como um produto foi fabricado e como ele será descartado, o chamado ciclo de vida.

Uma questão importante é a das embalagens, pois o consumidor não se dá conta que determinados filmes aluminizados que envolvem biscoitos e salgadinhos, por exemplo, não são recicláveis. Deve-se sempre dar preferência a produtos cujas embalagens possam ser recicladas. Por outro lado, há um uso excessivo de embalagens descartáveis como fôrmas de alumínio, garrafas de PET para refrigerantes, garrafas *one way* (descartáveis) para cerveja, sacos de plástico, entre outras.

A reciclagem de latas de alumínio promove uma economia de 95% de energia se comparada com o processo de fabricação à partir da bauxita (CBA, 2005). Para os processos de reuso e reciclagem das garrafas de vidro a situação é semelhante. Na produção das garrafas de vidro, a adição de 10% de cacos de vidro na mistura representa uma economia de 2,5% de energia necessária para fusão nos fornos industriais. A redução do peso das garrafas de PET em 30% resulta em uma economia energética superior a 50% na sua produção (FABI, 2004).

Durante as últimas décadas, a consciência ecológica dos consumidores tem crescido de tal forma que as autoridades e os setores produtivos buscam cada vez mais informações sobre os impactos ambientais associados aos processos produtivos e, uso e descarte final dos produtos.

As indústrias têm dado cada vez mais atenção às propriedades ambientais de seus produtos visando também diferenciá-los para aumentar a fatia de mercado das empresas. Várias técnicas de gestão têm sido empregadas para avaliação dos impactos ambientais dos produtos, dentre a quais, a ACV -

Avaliação do Ciclo de Vida, que estuda a complexa interação entre o produto e o meio ambiente (JÖNSON, 1996; CHEHEBE, 1998).

Além dos fatores citados anteriormente, durante as últimas duas décadas tem-se verificado um aumento da consciência ecológica por parte dos consumidores (KRAMER et al., 2004). Deste modo, governos e sociedade têm demonstrado um grande interesse pela área ambiental, exigindo informações sobre os aspectos ambientais dos produtos comercializados, relativos aos impactos ambientais do processo produtivo, do uso do produto e em sua disposição final.

Os fabricantes têm dado cada vez mais atenção às propriedades ambientais de seus produtos como meio de diferenciá-los e aumentar a fatia de mercado das empresas.

O estudo do ciclo de vida de um determinado produto compreende as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo, incluindo as operações industriais e de consumo, até a disposição final do produto quando se encerra a sua vida útil (SETAC, 1993; JÖNSON, 1996).

Com os dados obtidos pela ACV é possível determinar a quantidade de recursos naturais necessários, o consumo de energia e os resíduos gerados no processo. Alguns trabalhos tratam a ACV como uma técnica de análise de recursos e perfis ambientais dos produtos utilizada para avaliação e tomada de decisão em nível de gerência, visando a melhoria da qualidade do produto e a conservação do meio ambiente.

A percepção de que a atividade econômica gera cada vez mais poluição e depósito de resíduos no meio ambiente fez com que no início da década de 70 surgisse um novo conceito que correlacionava diretamente o crescimento econômico à degradação ambiental (BONSERVIZZI et al., 1993). Na década de 80 surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, visando conciliar crescimento econômico com a preservação e controle ambiental (VILHENA et al., 2002).

Deste modo, em conjunto com os processos de reciclagem, tem-se hoje a necessidade de realizar estudos da ACV dos produtos para o levantamento de números mais exatos sobre as performances energéticas, de consumo de recursos naturais, de geração de resíduos e sua conseqüente influência no meio ambiente.

Os estudos já realizados apontam resultados que foram obtidos para uma determinada região e não podem ser transportados para outras regiões. O mesmo acontece para a época que foram realizados. A economia e as características sócio-culturais também influenciam nesse tipo de estudo. Além disso, a qualidade dos dados utilizados em um estudo de ACV é função de vários parâmetros, como representatividade, a fonte desses dados, a variabilidade e a incerteza das informações e métodos de medição.

Considerando-se que até o presente momento não existem estudos detalhados sobre Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens para Refrigerantes da indústria nacional e um banco de dados nacional disponível para consulta de valores relevantes, justifica-se plenamente a presente proposta de trabalho.

Na seqüência são apresentados a revisão bibliográfica, com as principais etapas do ciclo de vida das embalagens para refrigerantes, a metodologia utilizada para realização deste estudo, os resultados e discussões, além das conclusões deste trabalho.

No capítulo 2, revisão bibliográfica, são apresentados o conceito de análise do ciclo de vida e suas fases, um panorama sobre as embalagens e características sobre as principais embalagens utilizadas nas indústrias de refrigerantes.

O capítulo seguinte trata sobre a avaliação do ciclo de vida das principais embalagens para refrigerantes utilizadas na indústria brasileira e objeto deste estudo. São elas as garrafas de vidro, latas de alumínio e garrafas de PET.

A metodologia de desenvolvimento do trabalho é apresentada no capítulo 3. Nesse capítulo estão relatadas as considerações feitas durante o trabalho, além do detalhamento de cada etapa realizada para obtenção dos resultados que são apresentados e discutidos no capítulo 4.

As conclusões do trabalho, considerações finais e sugestões para estudos futuros são apresentadas nos capítulos 5.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise do inventário do ciclo de vida das três principais embalagens para refrigerantes utilizadas em uma indústria nacional: lata de alumínio, garrafas PET e de vidro.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atendimento do objetivo geral, foram definidos alguns objetivos específicos para este estudo, listados a seguir:

- Realizar um estudo das principais etapas do ciclo de vida das embalagens citadas, descrevendo e identificando os principais materiais e processos envolvidos;
- Fazer um levantamento das informações necessárias para realização do estudo através de coleta de dados em empresas e indústrias do setor;
- Identificar e quantificar as principais variáveis envolvidas em todo o processo de produção das embalagens, como o uso de recursos naturais e energia, além das emissões e resíduos gerados durante todo o ciclo de vida dessas embalagens.
- Com o inventário, apontar os pontos críticos para controle ambiental como forma de auxiliar em processos de tomada de decisão para otimização de processos, mudanças no produto visando produção mais limpa e prevenção à poluição do meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A industrialização e o uso de embalagens adequadas possibilitam a redução da perda de alimentos, o aproveitamento de subprodutos industriais e o aumento da segurança alimentar. Outro aspecto relevante é que ainda se perde muito alimento por falta de embalagem no Brasil.

A embalagem é essencial para a indústria e para o comércio, sendo fundamental para a logística de distribuição dos produtos desde os centros de produção até o consumo. Entretanto, é inegável que, após seu uso, ainda há um valor agregado à embalagem, seja pelo material que pode vir a ser aproveitado ou pela energia que ainda está disponível nesse resíduo.

2.1 A Embalagem e o Meio Ambiente

A indústria de embalagem é hoje um dos setores mais importantes do mundo, embora somente agora comece a ser reconhecida e diagnosticada como um setor estratégico para a sociedade. Representa um mercado de US$ 500 bilhões, composto por aproximadamente 100.000 empresas e com uma geração de 5 milhões de empregos (ANTUNES, 2005).

O consumo *per capita* anual de embalagens também é um indicador de desenvolvimento. Na década de 90, onde notava-se um grande contraste do consumo do Brasil (US$ 62) com o dos EUA (US$ 400), da Europa (US$ 385) e do Japão (US$ 450) (BELO, 1993). Atualmente, de acordo com a World Packaging Organization, o segmento de papel e papelão lidera o mercado mundial (33%), seguido de plásticos (26%), metálicas (25%), vidro (6%) e outros (10%) (ANTUNES, 2005).

Algumas embalagens apresentam diversas vantagens, mas, ao mesmo tempo, preocupam, do ponto de vista pós-uso e disposição final (COLTRO, 2000).

Dentre os temas discutidos a partir da década de 80 e que têm influenciado o cotidiano de maneira fundamental está o meio ambiente (TETRA PAK, 1998).

A primeira vítima destas discussões é, sem dúvida alguma, a embalagem. Alvo de grandes investimentos tecnológicos que a tornaram mais complexa e vista como a grande solução para preservação e transporte de variados produtos, a embalagem encontrou-se, de um dia para o outro, no papel de vilã. Acusada de ser a grande geradora do lixo não reutilizável, a embalagem vem sofrendo ataques de grupos ambientalistas, sem que seja verdadeiramente analisada a sua utilidade e, na maioria das vezes, a sua indispensabilidade.

Apesar disso, através da implementação dos estudos de ciclo de vida (ACV's), ou por meio de processos de reciclagem de embalagens pós-consumo o problema ambiental envolvendo as embalagens está diminuindo(GARCIA, 2000).

No Brasil, são coletadas 120 mil toneladas de lixo por dia. Desse número, estima-se que 80% são depositados em céu aberto, nos chamados lixões.

O vidro, que não é biodegradável, representa 3% dos resíduos urbanos. No total são reciclados cerca de 35% do material.

O plástico é um dos materiais que mais ocupam espaço nos aterros sanitários e leva de 200 a 450 anos para se degradar. Reciclado, ele pode ser útil como embalagem de produtos de limpeza, brinquedos, revestimentos de automóveis e engradados.

As latas de alumínio correspondem a menos de 1% do lixo recolhido e leva de 100 a 500 anos para desaparecer. Desse número, acima de 64% são reciclados. A latinha pode ser reciclada inúmeras vezes sem a perda de nenhuma de suas características (RECICLAGEM, 1999).

A conclusão do cenário atual das embalagens revela uma dura verdade: a questão ambiental é mais fruto da necessidade que responsabilidade e respeito à natureza (OFF THE SHELF, 1996).

2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

O discutido desenvolvimento sustentável está focado em melhoria de qualidade de vida, fugindo da utilização desbalanceada de recursos naturais. Muitos conceitos têm sido desenvolvidos nos últimos tempos para avaliar o uso

desses recursos e o gerenciamento ambiental desde uma visão individual até em um âmbito mais global (HOSPIDO et al*.,* 2005).

Um exemplo da preocupação com o meio ambiente são os materiais para embalagens que vem sendo um importante tópico na área de análise do ciclo de vida nesses últimos anos (HISCHIER et al., 2005).

A Avaliação do Ciclo de Vida de um produto, ou ACV estuda a complexa interação entre um produto e o ambiente, utilizando para tanto a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto (VIGON et al., 1993; BRENTRUP et al., 2004).

A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, desde a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final (SETAC, 1993).

Conhecido internacionalmente pela sigla LCA - Life Cycle Assessment, a metodologia é muito mais abrangente do que um estudo de balanço de energia e massa (CEMPRE, 2005).

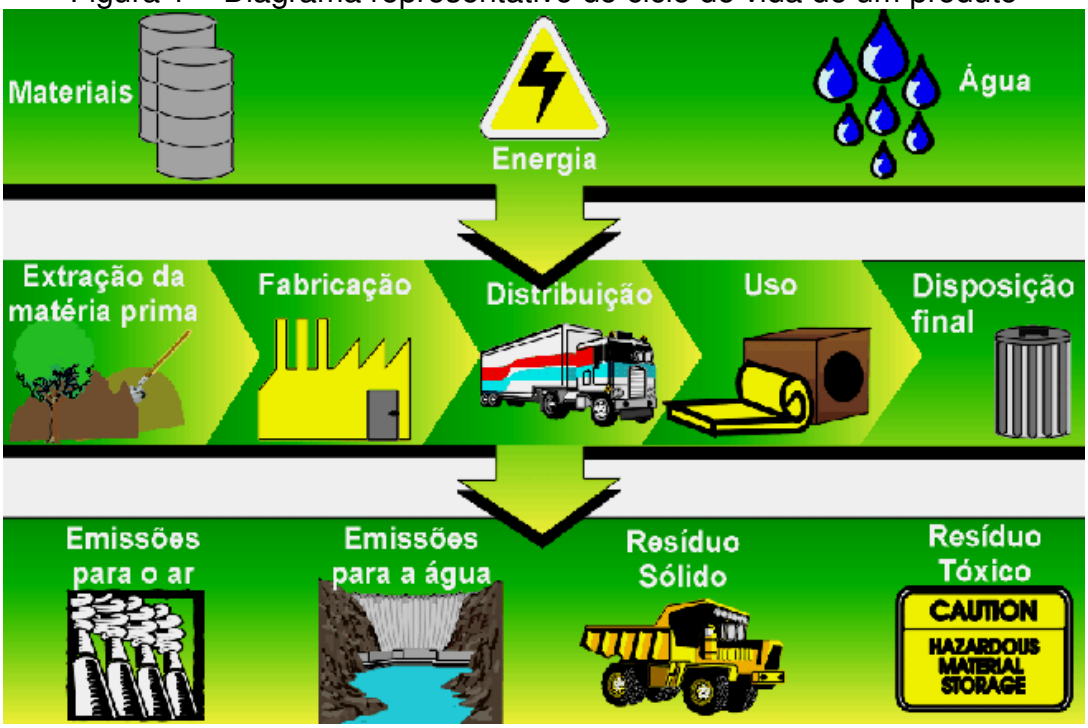
Uma das características da ACV é identificar oportunidades de aperfeiçoamento ambiental no processo de fabricação e utilização de materiais, apoiando a redução dos resíduos, planejando a reutilização e a reciclagem (COLTRO, 2003).

O ciclo de vida inicia-se quando os recursos para sua fabricação são removidos de sua origem, a natureza (berço) e finaliza-se quando o material retorna para a terra (túmulo). Através disso, resgata-se a história das coisas a partir da natureza, em termos do que é consumido e de como é devolvido para ela.

Este é, também, o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável (COLTRO, 2003) (ANTON et al, 2003).

A **Figura 1** ilustra um diagrama representativo do ciclo de vida de um produto.

Figura 1 – Diagrama representativo do ciclo de vida de um produto



Fonte: PEREZ, 2005.

Para se descrever o processo é necessária a construção de uma planilha de balanços de massa e energia, calculando-se automaticamente a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas. Por este motivo, alguns analistas referem-se ao trabalho como uma análise dos recursos e perfis ambientais, e com esta ferramenta pode-se avaliar e tomar decisões gerenciais de forma a contribuir para a melhoria e conservação do meio-ambiente.

A primeira empresa a realizar um trabalho semelhante a ACV foi a Coca-Cola, na década de 60, quando realizou um estudo para comparar diferentes tipos de embalagem para refrigerantes e determinar qual deles apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho com relação à preservação de recursos naturais. A metodologia desenvolvida ficou conhecida como *REPA-Resource and Environmental Profile Analysis*, e é considerada a precursora da Avaliação do Ciclo de Vida. Posteriormente, na Europa, foi desenvolvido um procedimento similar conhecido como *ECOBALANCE* (COLTRO, 2003).

De uma forma geral, dois objetivos podem ser considerados principais na ACV: descrever quais emissões serão geradas e quais matérias-primas serão usadas durante a vida de um produto e realizar a análise de quais são os impactos destas emissões e consumos de matérias-primas (PRE CONSULTANTS BV, 2004).

A ACV possui inúmeras vantagens, entre as quais a otimização dos produtos do ponto de vista ambiental e a ajuda na aquisição de informações para o processo de controle de produção e no melhor entendimento dos aspectos ambientais ligados aos processos produtivos de forma mais ampla.

Além disso, a ACV é útil para a tomada de decisões e para a seleção de indicadores ambientais relevantes na avaliação de projetos e processos, servindo como suporte em decisões de fabricação na indústria e governo, como no planejamento estratégico (ANTON et al., 2003; PRODUCT, 2004).

A ACV também contribui para a diminuição dos resíduos devido à redução do uso de energia e de materiais e é útil como ferramenta de marketing para a obtenção de declarações e rótulos ambientais de produtos amigos do ambiente.

Por fim, a ACV identifica oportunidades de melhoramentos dos aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção. Promove motivação com relação ao atendimento de uma futura legislação ambiental e na avaliação de componentes feitos de diferentes materiais, e atende às exigências de contínuo aprimoramento nos sistemas de gestão ambiental que demandam as séries ISO 14000 (CHEHEBE, 1998).

O estudo de ACV gera um banco de informações que também permite comparar as entradas e saídas de um sistema associadas com produtos alternativos, processos ou atividades. Também auxilia no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades visando uma redução das necessidades de recursos e/ou emissões (NEMECEK et al., 2005; CHEHEBE, 1998).

A avaliação do ciclo de vida de produtos ainda encontra-se em um estágio inicial em seu desenvolvimento, havendo por isso algumas preocupações referentes à sua praticidade e custos envolvidos. Existem quatro fatores principais que limitam a ACV. Inicialmente, a coleta de dados é complexa e cara, em seguida

existem muitas incertezas relativas à sua credibilidade, devido às suposições sobre a coleta de dados e determinação de categorias de impacto feitas durante o estudo (TIBOR, 1990; KNIGHT, 1996).

Uma das dificuldades está em decidir que atividades inerentes àquele produto em estudo podem ser eliminadas. Existem, dentro da metodologia, critérios para eliminar etapas, chamados de sistemas de produtos, ou seja, o sistema que foi definido por um determinado produto. O passo seguinte é o de levantamento das informações, levando em consideração o que a série ISO 14000 designa em termos de aspectos ambientais, sobre o que entra do meio ambiente, em termos de matéria ou de energia, ou o que esse sistema devolve para o meio ambiente (COLTRO, 2003).

O terceiro fator limitante é que os resultados alcançados para um estudo em determinada região não podem ser transportados para outras regiões, o mesmo acontecendo com a época em que se realiza o estudo, uma vez que diferenças sócio-econômico-culturais podem afetar o resultado final. Por fim, a segurança dos resultados depende da qualidade, viabilidade e tipo dos dados de entrada coletados.

Conceitualmente, em todo o processo da ACV, apenas as etapas de definição de objetivo/escopo e análise de inventário estão razoavelmente bem estabelecidas e definidas (TIBOR, 1990).

Desta forma, alguns princípios devem nortear o desenvolvimento de qualquer procedimento nesta área, entre os quais: a ACV deve sistematicamente localizar os aspectos ambientais do sistema produtivo, na etapa de escopo deve-se poder explicar e defender as suposições adotadas como parâmetros, os dados coletados devem ser documentados e comunicados claramente, e as previsões devem ser feitas respeitando a confiabilidade do dado (KNIGHT, 1996).

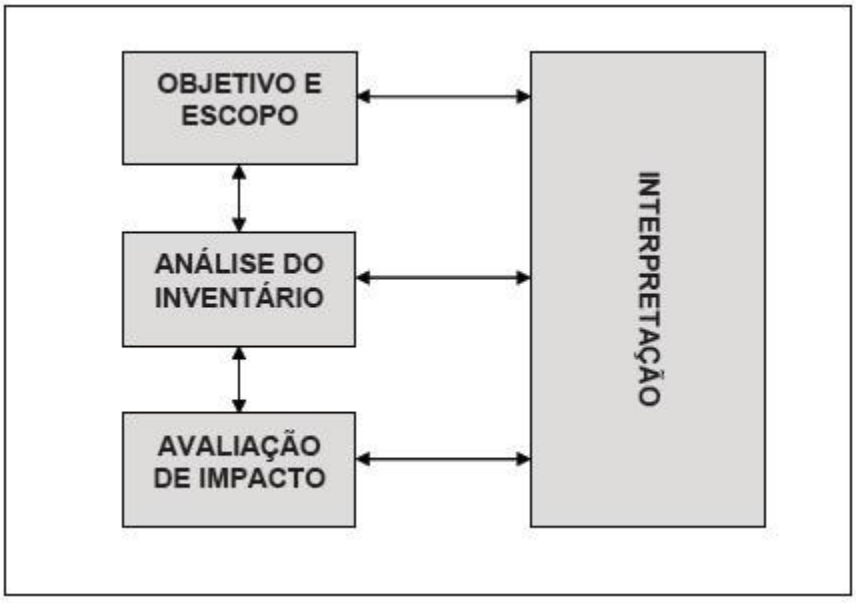
O processo de avaliação do ciclo de vida é bastante complexo. Existem modelos que são usados em conjunto com outras ferramentas, como as auditorias ambientais, os diagnósticos ambientais, assim como existem modelos que quantificam o impacto ambiental.

Mas a ACV tem uma característica que a individualiza: além de ser a única que avalia o ciclo de vida todo, é a única que pode ser usada para comparar produtos (COLTRO, 2003).

2.2.1 Etapas de um estudo de ACV

As principais etapas da Avaliação do Ciclo de Vida de um produto são: a definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto, interpretação e revisão crítica. Estas fases estão ilustradas na **Figura 2**.

Figura 2 - Etapas de uma Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: ABNT NBR ISO 14040, 2001

2.2.1.1 Definição de Objetivo e Escopo

Na etapa de definição de objetivo e escopo do trabalho (etapa de planejamento) são consideradas as principais razões para a realização do estudo. O público alvo, sua abrangência e limites, a unidade funcional adotada, a metodologia, os procedimentos considerados necessários para a garantia da qualidade do estudo, a escolha dos parâmetros ambientais, a escolha do método

de agregação e evolução do estudo e a estratégia para coleta de dados (SETAC, 1993).

2.2.1.2 Análise do Inventário

Após a definição clara do objetivo e escopo do estudo, o próximo passo é a análise do inventário, quando são efetuadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis envolvidas durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade. São realizadas medidas, procuras em literatura, cálculos teóricos e busca em bancos de dados (CHEHEBE, 1998).

A forma com que as entradas de materiais serão realizadas deve ser selecionada durante a definição do escopo, sendo que todas as suposições usadas para fazer as escolhas devem ser identificadas, de forma que apenas os fluxos de materiais mais significativos sejam estudados.

Os critérios usados para selecionar os materiais significativos incluem a relevância mássica, energética e ambiental. São selecionadas as entradas de materiais que cumulativamente contribuem mais que uma porcentagem definida para a massa ou fluxo de energia do sistema produtivo (KNIGHT, 1996).

Entre as principais categorias ambientais, são consideradas as emissões atmosféricas, os efluentes e os resíduos sólidos, que podem ser gerados a partir de fontes pontuais ou difusas. Barulho, vibrações, radiação, odor e despejos quentes também são considerados categorias ambientais, mas em menor grau. A unidade de cada categoria de dados deve ser dada por massa de um dado produto ou material (KNIGHT, 1996).

2.2.1.3 Avaliação dos Impactos

A proposta da avaliação dos impactos é compreender e avaliar o tamanho e significância dos impactos ambientais baseada na análise do inventário realizada.

Nesta etapa é feita a classificação, caracterização e valoração dos dados coletados (CHEHEBE, 1998).

Classificar é separar e agrupar os dados de acordo com as categorias de impacto determinadas, tais como esgotamento de recursos, saúde humana e impactos ecológicos (KNIGHT, 1996). As principais categorias de impacto analisadas são o consumo de recursos naturais, o consumo de energia, o efeito estufa, a acidificação, eutrofização e redução na camada de ozônio (SILVA, 2002).

Na caracterização ocorre a análise e quantificação do impacto em cada categoria selecionada, através do uso de dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos relevantes que descrevam o potencial dos impactos. São colocados em uma mesma base de cálculo diferentes parâmetros que contribuem para uma mesma categoria de impacto, considerando o efeito relativo de cada um. Como exemplo, todas as substâncias que contribuem para o efeito estufa são somadas na base de massa de dióxido de carbono equivalente, que é uma grandeza calculada a partir do potencial de aquecimento global de cada substância (MOURAD et al., 2002).

A etapa final é a discussão da significância relativa dos resultados através da valoração, a qual envolve interpretação, distribuição de pesos e ordenação dos dados. A análise dos impactos ambientais pode ser realizada através da aplicação de certos critérios que avaliam o grau de significância em relação às categorias de impacto (FERRÃO, 1998).

As categorias de impacto são somadas entre si e, de acordo com uma escala de importância para o meio ambiente previamente definida, busca-se um indicador único de desempenho ambiental para o produto em estudo. Ainda não existe nenhum acordo internacional geral alcançado sobre as metodologias mais adequadas para esta finalidade (MOURAD et al., 2002).

2.2.1.4 Interpretação

A etapa de interpretação é feita a identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo (CHEHEBE, 1998).

Na etapa de interpretação são realizados estudos para o desenvolvimento de prioridades e são feitas as avaliações possíveis, identificando oportunidades para a redução do ônus ambiental.

A interpretação é sempre baseada em uma série de princípios ou suposições centrais, entre as quais podemos citar a minimização do uso de recursos não renováveis e de energia e a minimização do uso de materiais e processos tóxicos.

Também devem ser destacados a minimização do uso de materiais ou processos conhecidos por causar aquecimento global, esgotamento da camada de ozônio, chuva ácida ou que comprometa o ambiente local, a minimização dos vários tipos de emissões e o empenho em reforçar fontes de redução, reutilização, reciclagem e recuperação (KNIGHT, 1996).

Baseado no princípio de análise crítica pode-se sugerir a implementação de algumas estratégias de produção, como a substituição e recuperação de materiais, a reformulação ou substituição de processos, o aumento na eficiência dos processos e a diminuição do uso de recursos naturais, visando a preservação ambiental.

2.2.1.5 Revisão Crítica

Por fim, a revisão crítica é uma avaliação independente do estudo da ACV para determinar sua validade e credibilidade (TIBOR, 1990).

Com a revisão crítica é possível responder algumas questões primordiais sobre o estudo, tais como, tendo em vista seu objetivo, se os métodos usados são válidos cientificamente e tecnicamente, se os dados usados são razoáveis e

apropriados, se as conclusões são válidas e se o estudo é transparente e consistente.

2.2.2 Normatização da ACV

Visualizando o potencial da técnica da ACV como estratégia de *marketing*, alguns estudos tendenciosos foram realizados, levando a público somente aqueles resultados que interessavam.

A proliferação de estudos de ACV dos produtos sem uma metodologia padronizada levou a certos exageros que quase chegaram a comprometer a imagem dessa ferramenta de avaliação. Essa época é referenciada por alguns autores como a fase de “Guerra das ACV’s”.

Assim, deu-se origem à série de normas ISO 14000 (GARCIA, 1996).

2.2.3 As normas da série ISO 14000

ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – princípios e estrutura*

Esta norma especifica a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de avaliação do ciclo de vida, não incluindo as técnicas de avaliação do ciclo de vida em detalhes.

ISO 14041 – *Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis – definição do escopo e análise do inventário*

Esta norma orienta como o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Da mesma

forma, esta norma orienta como realizar a análise de inventário, que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto.

ISO 14042 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment – Avaliação do impacto do ciclo de vida.*

Esta norma especifica os elementos essenciais para a estruturação dos dados, sua caracterização, a avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos potenciais identificados na etapa da análise do inventário.

ISO 14043 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation – Interpretação do ciclo de vida.*

Esta norma define um procedimento sistemático para identificar, qualificar, conferir e avaliar as informações dos resultados do inventário do ciclo de vida ou avaliação do inventário do ciclo de vida, facilitando a interpretação do ciclo de vida para criar uma base onde as conclusões e recomendações serão materializadas no Relatório Final.

2.2.4 Exemplos de ACV no Brasil e no mundo

Existem inúmeros trabalhos já desenvolvidos utilizando a ferramenta ACV. No Brasil, por exemplo, existem estudos de ACV dos mais diversos produtos, como o estudo de ACV para diferentes sistemas de embalagens para alimentos desenvolvido pelo CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem, concluído em 2000. O grupo é um dos precursores em estudos de ACV no Brasil.

Em 2002, ALMEIDA concluiu um estudo de ACV de pneus automotivos, utilizando a ferramenta para avaliar as possibilidades de gerenciamento de pneus inservíveis no Brasil, tomando como referência a produção de pneus à partir da borracha natural.

O trabalho teve o propósito de encontrar respostas para diversas questões sobre o ciclo de vida do pneu automotivo e, especialmente, sobre a disposição final de pneus inservíveis. Tais questões incluiriam a identificação das vantagens e desvantagens do ponto de vista ambiental dos estágios do ciclo de vida do pneu no contexto brasileiro e quais são as alternativas para disposição final de pneus inservíveis.

Os estágios de descarte e de utilização foram avaliados como os de maiores impactos negativos no ciclo de vida do pneu automotivo. Por outro lado, os estágios de recondicionamento e de obtenção de matérias-primas foram avaliados como os de maiores impactos positivos. Ao estágio de recondicionamento foram atribuídas as vantagens do prolongamento da vida útil do pneu. Ao estágio de obtenção de matérias-primas foram atribuídas as vantagens da obtenção da borracha natural.

A partir desse trabalho também foram evidenciados os desenvolvimentos tecnológicos mundiais na área de disposição final de pneus inservíveis. Foram citadas as tecnologias de regeneração e desvulcanização de borrachas, de pirólise e combustão de pneus. O Brasil se encontra no mesmo patamar de países desenvolvidos com grande descarte de pneus, em relação ao uso de tecnologias para a disposição final de pneus inservíveis e também no desenvolvimento de novas tecnologias (ALMEIDA, 2002).

Em 2001 foi desenvolvida uma tese de doutorado sobre a ACV de materiais e componentes automotivos. Dentre os objetivos do trabalho, foi feita uma verificação, de forma qualitativa, das ações de reuso, reciclagem e recuperação energética como alternativas para disposição em aterro de alguns componentes automotivos. Para alcançar este fim, utilizou-se a metodologia de ACV.

Os resultados do estudo de UGAYA mostraram que a substituição do aço pelo alumínio só seria vantajosa do ponto de vista ambiental com a redução do peso do veículo. A ACV qualitativa mostrou que as alternativas de reciclagem e recuperação energética para os componentes automotivos avaliados devem ser realizadas com maior cuidado, para que os impactos ambientais causados por esses processos sejam menores que a disposição final (UGAYA, 2001).

Uma recente pesquisa realizada ilustrou o uso da ferramenta em estudo do processo de geração de bagaço de cana-de-açúcar, nas usinas sucro-alcooleiras do Brasil, no intuito de apontar melhores formas de disposição e reuso do produto gerado durante a produção de álcool combustível e açúcar.

A atividade de queima da palha na lavoura foi identificada como o “ponto crítico” do processo, ou seja, a atividade que mais causa danos ao meio ambiente. Segundo NAKANO, esses resultados podem servir de base para estudos sobre a substituição da colheita manual pela mecanizada, quando o foco for meio ambiente global e local. No âmbito global, outro resultado do estudo foi a grande contribuição da queima para o Efeito Estufa, e conseqüentemente o aumento da temperatura da terrestre (Aquecimento Global). No âmbito local, não estudado nessa ACV, conta-se com a poluição atmosférica da fumaça das queimadas ocasionando problemas respiratórios, poluição visual, fuligem e particulados depositados, causadores de sujeira e diminuição da visibilidade em estradas (NAKANO, 2006).

MATTSON et al. aplicaram a ACV para estudo do uso do solo na agricultura comparando resultados de três diferentes culturas: semente de colza da Suécia, soja do Brasil e o óleo de palma da Malásia. (MATTSSON et al., 2000).

Na França, em 2002, foi realizado um estudo de ACV para avaliar os benefícios do uso do gás natural em ônibus (RABL, 2002).

Um grupo de pesquisadores suíços realizou, em 2001, um estudo de ACV de pesticidas e suas influências na saúde humana e no meio ambiente (MARGNI et al., 2001).

Um estudo sobre o sistema de geração e distribuição de energia elétrica foi desenvolvido no Brasil, utilizando a ferramenta ACV. O trabalho consistiu em avaliar os impactos causados pela produção e distribuição da energia produzida no país, comparando os sistemas de hidrelétricas, termoelétricas e sistemas de produção de energia nuclear (COLTRO, 2003).

O conceito de “ciclo de vida” amplia a visão sobre o processo de produção industrial, porque possibilita a melhoria do seu desempenho, tanto do ponto de vista econômico como do ambiental. Incorporar considerações ambientais como

objetivo de procedimentos de otimização da atividade industrial representa o início de uma mudança de paradigma no processo industrial, tradicionalmente direcionado apenas para o foco econômico (XAVIER et al., 2004).

Esta seria uma das justificativas para a diversificada gama de aplicações do uso da ferramenta ACV.

2.2.5 ACV de Embalagens

A evolução no mercado de embalagens é grande. Isto acontece em função da escolha dessas embalagens, que primam por tecnologias mais limpas e não só os custos e a preferência do consumidor (MOURAD, 2003).

No Brasil, o Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, através do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA é pioneiro em estudos de ACV de embalagens. Em 1997, o Instituto desenvolveu um estudo com objetivo de estabelecer a capacitação brasileira para realização de ACV de produtos e processos associados à embalagem. O intuito foi assessorar setor privado e órgãos governamentais nas decisões de otimização e interpretação da relação da embalagem com o meio ambiente (COLTRO, 2003).

Na década de 80, vários estudos de ciclo de vida foram realizados comparando os diferentes tipos de embalagens. Alguns destes estudos foram discrepantes nos resultados. Este fato ilustra a importância da qualidade dos dados que entram no estudo e a metodologia a ser seguida (CHEHEBE, 1998).

A pesquisa em ACV demonstra que A industrialização e o uso de embalagens adequadas possibilitam a redução da perda de alimentos, o aproveitamento de subprodutos industriais e o aumento da segurança alimentar. Ainda hoje se perde muito alimento por falta de embalagem no Brasil.

A embalagem é essencial para a indústria e para o comércio, sendo fundamental para a logística de distribuição dos produtos desde os centros de produção até o consumo.

Entretanto, é notório que após seu uso, ainda há um valor agregado à embalagem, seja pelo material que pode vir a ser aproveitado ou pela energia que ainda está disponível nesse resíduo.

Em 1998, PRATES concluiu uma tese de doutorado envolvendo a aplicação da ACV para um estudo de ecodesign de embalagem. No estudo foi considerado um projeto de embalagem para hambúrguer considerando a comparação entre embalagens confeccionadas por polyfoam e papel. Dentre os objetivos do trabalho estava demonstrar os pontos críticos da produção da embalagem visando a melhoria contínua da qualidade ambiental. Um dos resultados obtidos no estudo foi evidenciar que a utilização de embalagens de papel, para o produto estudado, é mais eficiente e causa um menor impacto ambiental comparado à outra embalagem (PRATES, 1998).

Entre os anos de 1983 e 1984, o governo finlandês em parceria com empresas do setor, financiou um estudo de ACV de embalagens para bebidas, principalmente cerveja. Foram selecionadas garrafas de vidro e de PET e latas de aço e alumínio. O objetivo do estudo foi a melhoria dos sistemas de fabricação das embalagens na indústria. Para o governo, os resultados auxiliaram em tomadas de decisão sobre a economia do setor, educação dos consumidores e investimentos em tratamento de resíduos municipais (LEPPÄNEN, 1994).

Muitos estudos de ACV de embalagens vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo. Esses estudos envolvem os mais variados tipos de embalagens.

Um desses estudos referiu-se a uma análise comparativa entre dois tipos de embalagens para ovos: de poliestireno e outra de papel reciclado. O objetivo do estudo foi avaliar os impactos causados por essas duas embalagens. Os resultados do estudo revelaram que a embalagem de papel reciclado apresentou uma contribuição negativa ao meio ambiente menor que a embalagem de poliestireno (ZABANIOTOU et al., 2003).

Considerando embalagens de plástico e vidro, foi realizado um estudo em 1994, que comparava os impactos ambientais de garrafas de PVC e de vidro que acondicionavam água mineral engarrafada. A unidade funcional considerada foi a disponibilização de 150.000 litros de água ao consumidor. Foram considerados

três tipos de embalagens primárias: garrafas de vidro descartáveis e retornáveis, e garrafas de PVC descartáveis. Considerou-se ainda que a produção de vidro incluía 40 % de vidro reciclado e que o fim de vida das garrafas de PVC era: 10 % para reciclagem, 30 % para valorização energética e 70 % para aterro.

As principais conclusões retiradas desse estudo foram: a diferença entre os impactos ambientais da garrafa de vidro retornável e da garrafa de PVC é mínima. E em segundo lugar, os impactos ambientais, das categorias consideradas, da garrafa de vidro descartável (mesmo com elevadas taxas de reciclagem) são bastante superiores aos impactos da garrafa de PVC (LOX, 1994).

A embalagem de alumínio tem sido no Brasil, a embalagem de maior taxa de reciclagem devido ao seu maior valor de compra, fomentando uma economia informal para este tipo de recipiente. Essa variável tem importância fundamental na ACV deste tipo de embalagem (ALCOA, 2005).

Considerando ainda estudos de ACV de embalagens para bebidas, a NAPCOR (National Association for Plastics Container Recovery) nos EUA e conduzidos pela empresa “Franklin Associates”, concluíram que existem vantagens na redução do uso de recursos naturais com a utilização de embalagens de PET (LIMA, 2001).

O estudo compara o impacto ambiental do PET com o vidro e o alumínio e, com exceção da taxa de reciclagem para a lata de alumínio, a garrafa de PET apresenta vantagens para todos os outros itens.

Em pesquisa realizada em Portugal, foi analisado o setor das embalagens e, em particular, o impacto ambiental das embalagens de bebidas mais representativas no país, ao longo do seu ciclo de vida. Esta informação foi utilizada para promover a inovação ambiental das embalagens. A avaliação de impacto ambiental foi realizada com recurso da técnica de ACV. A fase de produção da embalagem revelou-se como a principal responsável pela maior parte dos impactos ambientais, sendo a maior contribuição devida ao processo de fabricação da embalagem primária.

Os resultados do estudo mostraram que a embalagem de PET necessita aumentar cerca de 3900% a sua taxa de reciclagem para conseguir atingir uma

redução do impacto ambiental, na categoria de emissões de gases de efeito estufa. Ainda necessita aumentar em pouco mais de 50% (com o processo de reciclagem química de PET), enquanto que a embalagem de vidro teria que aumentar a sua taxa de reciclagem em 134% para atingir uma redução da mesma ordem de grandeza (SILVA, 2002).

Um estudo realizado na Grécia analisou os impactos ambientais de várias garrafas de água mineral (vidro, PET e PVC), apresentou como principal conclusão que nenhuma das embalagens consideradas tinha o melhor ou o pior resultado em todas as categorias ambientais consideradas (GEORGAKELLOS, 1997).

Em 2004, foi desenvolvido por FABI um estudo comparativo do consumo de energia e emissão de CO_2 entre garrafas de PET e de vidro, utilizando a metodologia ACV. Foram consideradas no estudo as etapas de fabricação, distribuição e reutilização das embalagens. Os resultados do estudo mostraram que o ciclo de vida da garrafa de vidro retornável apresentou um impacto negativo menor ao meio ambiente quando comparado à garrafa de PET, de acordo com as variáveis definidas para aquele estudo (FABI, 2004).

As garrafas de vidro, nesse estudo, apresentaram um menor consumo de energia e menor emissão de CO_2, considerando pequenas distâncias de distribuição do produto. Outra evidência do estudo foi salientar que a distância percorrida na distribuição do produto bem como o número de vezes que a embalagem (garrafa de vidro) pode ser reutilizada influencia e pode modificar os resultados na comparação final das embalagens (FABI, 2004).

No mesmo ano do estudo anterior, foi desenvolvido um estudo de ACV de embalagens para refrigerantes. Foram estudadas as embalagens de PET, alumínio e vidro considerando as taxas atuais de reciclagem dos materiais e a influência da variação destas taxas. Os resultados revelaram que considerando os impactos ambientais causados pelas embalagens, a garrafa de PET contribui mais para a degradação do meio ambiente que as outras embalagens, pelo seu alto potencial de geração de névoa fotoquímica.

O estudo de VALT também mostrou que o aumento da taxa de reciclagem para todas as embalagens contribui para a preservação do meio ambiente, diminuindo o consumo de matérias-primas e energia e a emissão de resíduos, com exceção do consumo de água para as garrafas de vidro (VALT, 2004).

Os vários resultados obtidos pelos estudos mencionados acima, pressupõem que não existe um tipo de material ideal, em termos ambientais, para todas e quaisquer embalagens existentes no mercado.

Existem, sim, alguns materiais que se adequam mais a alguns tipos de embalagem do que outros. Esta escolha está sempre condicionada pelas categorias ambientais a que se atribui maior importância.

Mas se entre países e até mesmo regiões dentro do mesmo país, existem muitas diferenças em termos de geografia, sistemas de transporte, hábitos de consumo, processos de distribuição, sistemas de processamento de resíduos, os resultados obtidos pelos vários estudos não podem ser extrapolados para um dado país ou região.

Para se obter um resultado confiável num estudo com estas características é necessário entrar em consenso e atender as características e as especificidades do país onde se realiza o estudo, o que motivou o presente trabalho.

2.3 O Ciclo de Vida das Embalagens de Refrigerantes

2.3.1 *Considerações Gerais*

Os produtos estudados neste trabalho são as embalagens utilizadas pela indústria de refrigerantes. A principal função destas embalagens é disponibilizar "com garantias de boas condições higiênico-sanitárias" a bebida aos consumidores.

Neste contexto, a unidade funcional estabelecida para este estudo foi "a disponibilização de 1000 litros de bebida aos consumidores". O fato de se considerar 1000 litros, tem a ver com uma maior facilidade na apresentação de resultados, fazendo com que estes pareçam mais intuitivos.

Muitos estudos expressam os resultados considerando 1000 kg de embalagem, porém é necessário que todo o ciclo seja avaliado, envolvendo, no mínimo: o acondicionamento e a distribuição do produto acondicionado, a contabilização das perdas, o destino da embalagem pós-consumo, além dos processos de reciclagem e gerenciamento do resíduo sólido urbano.

Uma recomendação é tomar como base a função da embalagem. Assim, a unidade funcional mais lógica deve ser o volume de produto acondicionado, comercializado e consumido, como é o caso deste estudo.

A elevada demanda de refrigerantes está relacionada ao poder de compra da população e também à temperatura média de cada região. Uma unidade fabril, na região metropolitana de Curitiba, no Paraná, distribui 50 carretas por dia de refrigerantes, apenas para a cidade de Curitiba, em dias de pico.

Em 2004 foram comercializados 183 milhões de litros de refrigerantes, só por essa empresa. Desse montante, 116 milhões foram de garrafas PET de 2L. No período de fim de ano e férias (setembro a março) o consumo de refrigerantes dobra, quando comparado aos períodos de temperatura mais amena.

Em função desses fatores, é necessário que exista a manutenção de capacidade de produção ociosa, como um mecanismo atenuante de impactos oriundos de oscilações de demanda.

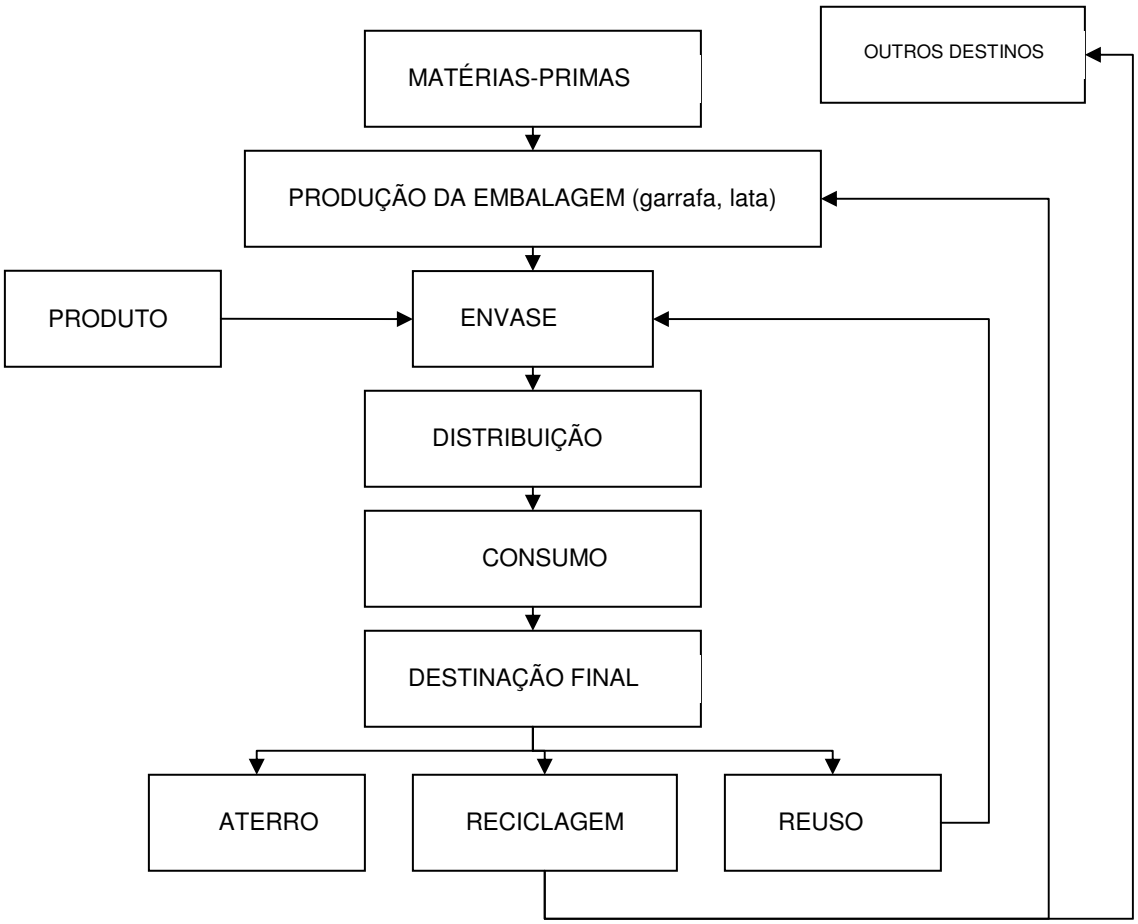
Os processos de industrialização e o uso correto de embalagens possibilitam a redução da perda de alimentos, o aproveitamento de subprodutos industriais e o aumento da segurança alimentar.

Assim, a embalagem mostra-se essencial para a indústria e para o comércio, sendo de suma importância para a logística de distribuição dos produtos desde os centros de produção até o consumo.

Desta forma o estudo do ciclo de vida das embalagens vem de encontro a essa premissa. Neste estudo são apresentados os estudos de ciclo de vida para a produção de garrafas de vidro, latas de alumínio e garrafas de PET.

A Figura 3 ilustra um ciclo de vida genérico de uma embalagem para refrigerante.

Figura 3 – Diagrama de blocos genérico do ciclo de vida de uma embalagem para refrigerantes



Fonte: SILVA, 2002

2.3.2 GARRAFAS DE VIDRO

As embalagens de vidro são usadas para bebidas, produtos comestíveis, medicamentos, perfumes, cosméticos e outros artigos. Garrafas, potes e frascos superam a metade da produção de vidro no Brasil.

Usando em sua formulação areia, calcário, barrilha e feldspato, o vidro é durável, inerte e tem alta taxa de reaproveitamento nas residências. A grande maioria dos recipientes de vidro fabricados no país é retornável (CEMPRE, 1999).

O vidro é uma substância inorgânica, amorfa e fisicamente homogênea, obtida por resfriamento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento contínuo de viscosidade até atingir a condição de rigidez, mas sem sofrer cristalização (SANTOS, 2003).

Industrialmente pode-se restringir o conceito de vidro aos produtos resultantes da fusão, pelo calor, de óxidos ou de seus derivados e misturas. O vidro tem em geral como constituinte principal a sílica ou o óxido de silício, que ao serem resfriadas endurecem sem cristalizar. O que é comum a todos os tipos de vidro é a sílica, que é à base do vidro (SANTOS, 2003).

A garrafa de vidro retornável apresenta diversas vantagens óbvias, pois pode ser utilizada várias vezes. Vários estudos já mostraram que, com base puramente em dados de consumo energético, a garrafa de vidro retornável é a melhor solução de embalagem para bebidas e alimentos (ROUSE, 1999).

Recipientes de vidro talvez sejam um tipo de embalagem manufaturada mais antiga que existe. Até o século XIX os vidros eram soprados sem a utilização de máquinas e eram peças exclusivas, até o desenvolvimento da manufatura industrial e produção em série. Dessa forma, os artefatos de vidro deixaram de ser objetos de luxo e passaram a fazer parte do cotidiano.

A redução de peso das embalagens e o emprego do processo prensado soprado também estão entre as principais evoluções deste tipo de material utilizado em embalagens, chegando a até 30% em redução de peso.

O vidro pode ser reciclado infinitamente, sem perda da qualidade ou pureza do produto. Uma garrafa de vidro gera outra exatamente igual, independente do número de vezes que o caco vai ao forno para ser reciclado.

A produção a partir do próprio vidro também reduz o consumo de energia e emite menos resíduos particulados e CO_2, o que contribui significativamente para a preservação do meio ambiente.

As garrafas retornáveis de vidro são reutilizadas, transportadas e manuseadas diversas vezes. São mais resistentes e também mais pesadas que as outras embalagens, onde a redução no peso dessas embalagens é uma característica que tende a mudar.

Dentre as vantagens do uso do vidro em embalagens, podemos citar a transparência, que permite ver o produto acondicionado dentro da embalagem, proporcionando uma sensação de higiene e confiabilidade (VIDALES, 1999).

A disputa no mercado com outros tipos de embalagens, principalmente plásticos, fez com que, apesar do aumento da produção, houvesse uma pequena estagnação na fabricação das embalagens de vidro.

Uma outra característica das embalagens de vidro é o reuso pós-consumo. Isso se torna uma grande vantagem já que, para os dias de hoje, auxilia no processo de reciclagem e, principalmente, evita problemas com a disposição final do produto.

No que se refere às embalagens de vidro, o setor de bebidas é o que vem sendo mais prejudicado, em função de uma mudança de comportamento do consumidor. A tendência tem sido a preferência pelas embalagens descartáveis. Em muitos casos, essa preferência é a única opção, já que em muitos locais já não há mais oferta do produto em embalagens retornáveis.

Para os distribuidores e redes de supermercados o problema está na logística de recepção e armazenamento dos vasilhames vazios e cheios também. Peso da embalagem, transporte e risco de quebra são os fatores de grande empecilho ao uso do vidro (ABIVIDRO, 2005).

2.3.2.1 Produção de Vidro

O vidro é uma solução sólida resultante de misturas em fusão em altas temperaturas, que variam de 1200°C a 1500°C. Quase 90% de todo o vidro fabricado no mundo é formado principalmente por sílica, soda e cal (SELKE, 1994).

Os vidros mais comuns em embalagens são do tipo silicatos soda-cal, produzidos com matérias-primas amplamente disponíveis como areia, barrilha e calcário ($CaCO_3$). Algumas características do vidro são:

- Retornabilidade (uso do vidro para o mesmo fim várias vezes);
- Reutilização (uso da embalagem de maneiras diferentes para as quais foi fabricada);
- Total reciclabilidade (sem perda de volume ou de propriedades do material);
- É inerte;
- Impermeável;
- Não deixa sabor nem gosto no conteúdo.

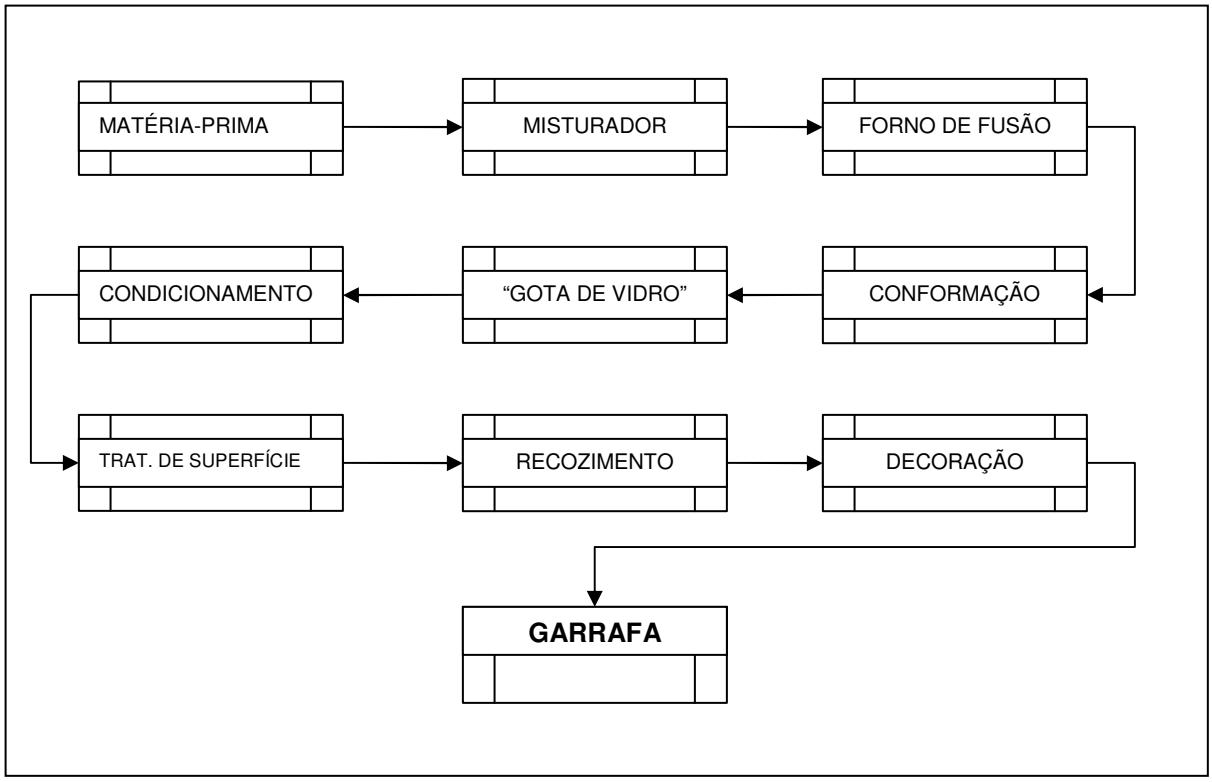
O vidro oferece resistência mecânica, resistência química e resistência ao choque térmico, características que permitem vários tratamentos de pré-embalagem.

Trata-se de uma matéria-prima que suporta quase todos os químicos em temperaturas normais, com exceção do ácido fluorídrico. Além disso, é higiênico, asséptico e proporciona alta inércia química, ou seja, as reações químicas levam muito tempo para acontecer, o que garante maior preservação das características originais do conteúdo embalado (VIDALES, 1999).

2.3.2.2 Fabricação da Garrafa de Vidro

O processo de fabricação da garrafa de vidro ou o ciclo de vida do vidro para fabricação de garrafas envolve etapas que vão desde a extração das matérias-primas até a reciclagem das garrafas após o consumo do conteúdo dessas. O diagrama da **Figura 4** representa as principais etapas desse processo.

Figura 4 – Diagrama da produção de garrafas de vidro



Fonte: FABI, 2004

2.3.2.2.1 Composição e Mistura

É a etapa onde são pesadas todas as matérias-primas que serão utilizadas no processo de fabricação das garrafas, de tal modo a estabelecer a proporção de cada uma delas e a mistura para a formação da composição.

Geralmente os materiais utilizados já estão em sua forma final de uso, ou seja, moídos, peneirados, secos e analisados.

Também nesta etapa que são introduzidos os cacos previamente limpos oriundos de refugo industrial ou processos de reciclagem.

2.3.2.2.2 Fusão

O local onde a composição é fundida e transformada em vidro fundido é chamado de forno de fusão ou simplesmente forno. Os fornos utilizados são todos contínuos, constituídos de uma grande piscina de vidro fundido, sendo alimentados continuamente em um lado pela composição que, por efeito do calor vai se fundir e se incorporar ao banho, sendo que, no lado oposto, o vidro já elaborado é conduzido às máquinas de conformação. Para manter a "piscina" aquecida e fundir-se à composição nova, queima-se óleo ou gás sob o banho.

O material refratário do forno, com o tempo, sofre com os ataques químicos e as paredes do forno vão se desgastando, podendo atingir uma condição de operação não econômica e até insegura. Nestes casos, uma das alternativas é a troca dos refratários.

2.3.2.2.3 Distribuição

Também chamada etapa de alimentação, esta etapa ocorre em um canal de material refratário, equipado com maçaricos e dutos de ventilação, cuja função é o transporte até a próxima etapa: a homogeneização da temperatura e a alimentação das gotas de vidro.

2.3.2.2.4 Conformação e recozimento

Nesta fase, a massa fundida e viscosa de vidro é transformada em um produto final. Existem inúmeras formas de realizá-la, dependendo do produto e quantidade que se pretende e dos recursos disponíveis. As maiores diferenças de processo produtivo entre um tipo de indústria e outra ocorrem nesta etapa.

Na produção de garrafas o processo utilizado é o de sopro com molde, onde a gota de vidro é vertida para dentro de um pré-molde, conformando o artigo, controlada mecanicamente e descarregada em uma transportadora.

Independente da composição e do processo de conformação, a peça de vidro, depois de conformada, deve ser recozida, isto é, deve ser resfriada lentamente até a temperatura ambiente, aliviando, desta forma, as tensões que normalmente surgem durante a conformação e que, de outra forma, quebrariam ou pelo menos fragilizariam a peça.

O recozimento visa eliminar essas tensões. Os artigos são reaquecidos até a temperatura de relaxamento das tensões, mantidos a esta temperatura pelo tempo necessário ao relaxamento (varia em função do artigo) e resfriados até a temperatura ambiente.

2.3.2.2.5 Tratamentos e Decoração

Os tratamentos realizados são para conservar a resistência mecânica do artigo produzido e facilitar seu escoamento nas linhas de produção. Em geral, esses tratamentos são feitos com a deposição de cloreto de estanho ou cloreto de titânio através de vapores sobre a garrafa.

Algumas garrafas, como as utilizadas para refrigerantes, são encaminhadas para decoração, em processo *silk screen,* com tinta vitrificante (SAINT-GOBAIN, 2006).

2.3.2.3 Reciclagem das Garrafas de Vidro

A reciclagem das garrafas de vidro pode ser dividida em quatro etapas: coleta, separação, retirada dos contaminantes e moagem dos cacos.

A primeira fase é a separação das garrafas de cores diferentes (geralmente nas cores verde, transparente ou âmbar). Essa separação pode ser mecânica ou manual. O processo é facilitado se as garrafas estão inteiras.

A cor do caco afeta diretamente na cor padrão da garrafa:

- Vidro transparente: permitido até 1% do caco verde e 5% do âmbar;
- Vidro verde: permitido até 10% do verde e 10% do transparente;
- Vidro âmbar: permitido até 15% do transparente e 35% do âmbar.

(FABI, 2004)

A etapa seguinte é a remoção dos contaminantes como tampas, rótulos e rolhas que podem causar defeitos nas garrafas, na mudança de coloração, além de danos ao forno, causando sérios prejuízos.

Considerações importantes devem ser feitas a respeito da reciclagem e reuso das garrafas de vidro quanto à conservação de energia. Deve ser considerada a distância a ser percorrida pelas embalagens vazias e cacos, uma vez que essa variável pode ser fator limitante na viabilidade do processo de reciclagem (PROJETO RECICLAGEM, 1999).

2.3.3 LATAS DE ALUMÍNIO

O Alumínio é um metal branco, brilhante, leve, dúctil e maleável. É abundante na natureza, principalmente na forma de silicatos. Embora seja muito oxidável, não se altera em contato com água ou ar, pois sua superfície é protegida por uma fina camada de alumina (MINERAL, 2005).

Acredita-se que o alumínio tenha se formado através de sucessivas colisões de átomos de hidrogênio em altas temperaturas e fortes pressões durante o nascimento do sistema solar. Há mais de 7 mil anos, os ceramistas da Pérsia faziam seus vasos de um tipo de barro contendo óxido de alumínio, o que hoje conhecemos como alumina (ALCOA, 2005).

O alumínio não ocorre isolado na crosta terrestre e sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao seu estado metálico. O primeiro

processo de transformação do alumínio em grandes quantidades ocorreu em 1886, através de reações químicas com a bauxita (ALCOA, 2005).

São duas as fases de produção industrial, a obtenção de alumina pura e a eletrólise ígnea da alumina. Na obtenção de alumina pura, o minério de bauxita é atacado por soda, precipitado para a eliminação de impurezas, lavado e calcinado. Em seguida, ocorre a redução ou eletrólise da alumina. O processo ocorre em solução de fluoreto duplo de alumínio e sódio, sendo o material fundido. O alumínio é então recolhido através de cátodos, com pureza de 99,8% (SIDRAK, 1998).

O ciclo de vida das latas de alumínio se inicia na etapa de extração da bauxita e segue até as etapas de reciclagem das latas pós-consumo.

Para fabricação do alumínio, é necessário separar os elementos que compõem a bauxita da alumina. Obtém-se a alumina, um pó branco, bem parecido com o açúcar refinado. Após uma série de processos químicos, chega-se ao alumínio: metal nobre, 100% e infinitamente reciclável (MÁRTIRES, 2002).

Este material é enviado para as etapas de fundição e produção de lingotes, que serão laminados e depois passarão pelos processos de estampagem e envernizamento (CONSTANTINO *et al.,* 2002).

A etapa seguinte é a de produção das latas que, depois de prontas, são lavadas, envasadas e distribuídas aos centros consumidores. Após o consumo, essas latas são recolhidas e encaminhadas para os processos de reciclagem.

Nos itens a seguir são descritas as etapas do ciclo de vida das latas de alumínio de forma mais detalhada.

2.3.3.1 Extração da bauxita e produção da alumina

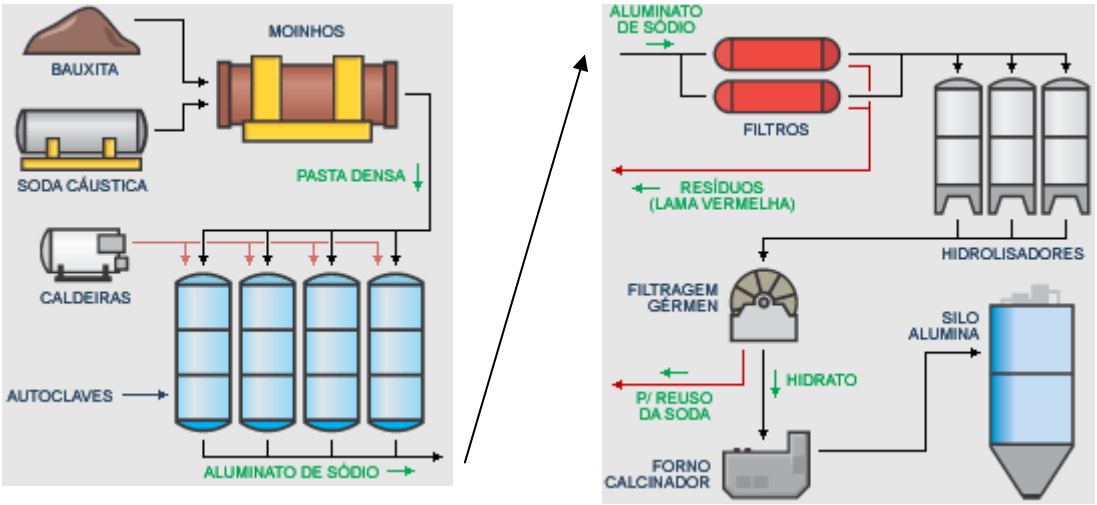
O processo de produção de alumínio é composto por uma série de reações químicas. Até mesmo a bauxita, minério do qual se extrai a alumina e o alumínio,

é formado por uma reação química natural, causada pela infiltração de água em rochas alcalinas que entram em decomposição e adquirem uma nova constituição química. A bauxita encontra-se próxima à superfície, em uma profundidade média de 4,5 metros, o que possibilita a sua extração a céu aberto com a utilização de retroescavadeiras.

Porém, alguns cuidados precisam ser tomados para se proteger o meio ambiente. A terra fértil acumulada sobre as jazidas é removida juntamente com a vegetação e reservada para um futuro trabalho de recomposição do terreno, após a extração do minério. Depois de minerada, a bauxita é transportada para a fábrica, onde chega em seu estado natural, com impurezas que precisam ser eliminadas (ALCOA, 2005).

Assim, se inicia a primeira reação química da série que vai viabilizar a obtenção da alumina e do alumínio. A bauxita é moída e misturada a uma solução de soda cáustica que a transforma em pasta. Aquecida sobre pressão e recebendo nova adição de soda cáustica, esta pasta se dissolve formando uma solução que passa por processos de sedimentação e filtragem que eliminam todas as impurezas. A **Figura 5** ilustra os processos de extração da bauxita e produção da alumina.

Figura 5 – Extração da bauxita e produção da alumina



Fonte: ALCOA, 2005.

Essa solução, livre de impurezas, está pronta para que dela se extraia apenas a alumina. Isso é feito, mais uma vez, através de uma reação química. Em equipamentos chamados de precipitadores, a alumina contida na solução precipita-se através do processo de nucleação.

Esse material cristalizado é lavado e secado por meio de aquecimento para que se obtenha o primeiro produto do processo de produção de alumínio: a alumina, um pó branco e refinado de consistência semelhante ao açúcar (ALCOA, 2005).

2.3.3.2 Processo de eletrólise e fundição

A eletrólise da alumina (óxido de alumínio) é o processo principal na fabricação do alumínio.

A alumina é então levada às chamadas cubas eletrolíticas, de onde se obtém o alumínio, por meio de um processo de redução, que consiste em extrair o metal do seu óxido. A cuba eletrolítica constitui-se basicamente de um anodo de carbono, um catodo (alumínio fundido e blocos de carbono) e o eletrólito (ou banho) de criolita fundida onde é dissolvida a alumina.

A reação total, decorrente da passagem da corrente elétrica, que ocorre no forno, consiste na redução da alumina, liberando o alumínio que é depositado no catodo, e na oxidação do carbono do anodo devido ao oxigênio liberado no processo.

O alumínio sai das cubas no estado líquido, a aproximadamente 850ºC, e é então transportado para a fundição, onde são ajustadas a sua composição química e forma física.

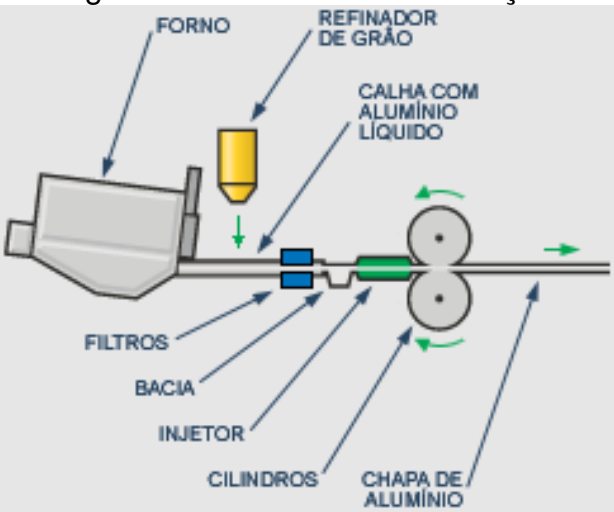
Observa-se que o consumo de energia para a chamada produção do alumínio primário corresponde a aproximadamente 25% do custo total do alumínio.

2.3.3.3 Laminação e produção da lata

Na fundição são produzidos lingotes, tarugos, placas, vergalhões e chapas. Esses produtos tanto se destinam à comercialização, quanto à utilização interna, na fabricação de produtos laminados, extrudados e cabos (CBA, 2005).

Para a produção da lata, parte-se das bobinas de alumínio laminado, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Processo de Laminação



Fonte: ALCOA, 2005

O alumínio laminado, que vem em grandes bobinas, entra na prensa de estampagem. Um equipamento computadorizado, corta a chapa em vários discos dando-lhes a forma de um copo. O alumínio neste estágio ainda tem a espessura da lâmina original.

Os copos formados seguem para outra prensa onde suas paredes externas, submetidas a uma grande pressão, vão afinar sua espessura e serão esticadas para formar o corpo da lata, tal como o conhecemos. Na saída da prensa, as bordas superiores são aparadas para que todos os corpos fiquem da mesma altura.

O passo seguinte é o de lavagem das latas para que, depois de secas, recebam o revestimento interno e a estampa externa.

O interior da lata recebe um spray de proteção extra, evitando que o conteúdo da lata venha a entrar em contato direto com o alumínio. A tinta da estampa, bem como o verniz externo e o revestimento interno, representam cerca de 2% do peso total de uma lata pronta vazia.

A última etapa de fabricação é a moldagem dos "pescoços" e do perfil da borda da lata, para que a tampa possa ser encaixada. O diâmetro da boca, diminuído nos últimos anos, permite utilizar uma tampa menor. Conseqüentemente, reduz o custo da embalagem.

As tampas são estampadas a partir de uma chapa envernizada de ambos os lados. Em seguida, recebem um composto selante para garantir a perfeita vedação entre elas e os copos. São, posteriormente, colocadas em prensa de alta precisão para formação e fixação dos anéis. Depois de prontas e inspecionadas, as tampas são embaladas para armazenagem e transporte.

A lata pronta, depois de lavada, segue para a etapa de envase.

2.3.3.4 Processo de Reciclagem da Lata de Alumínio

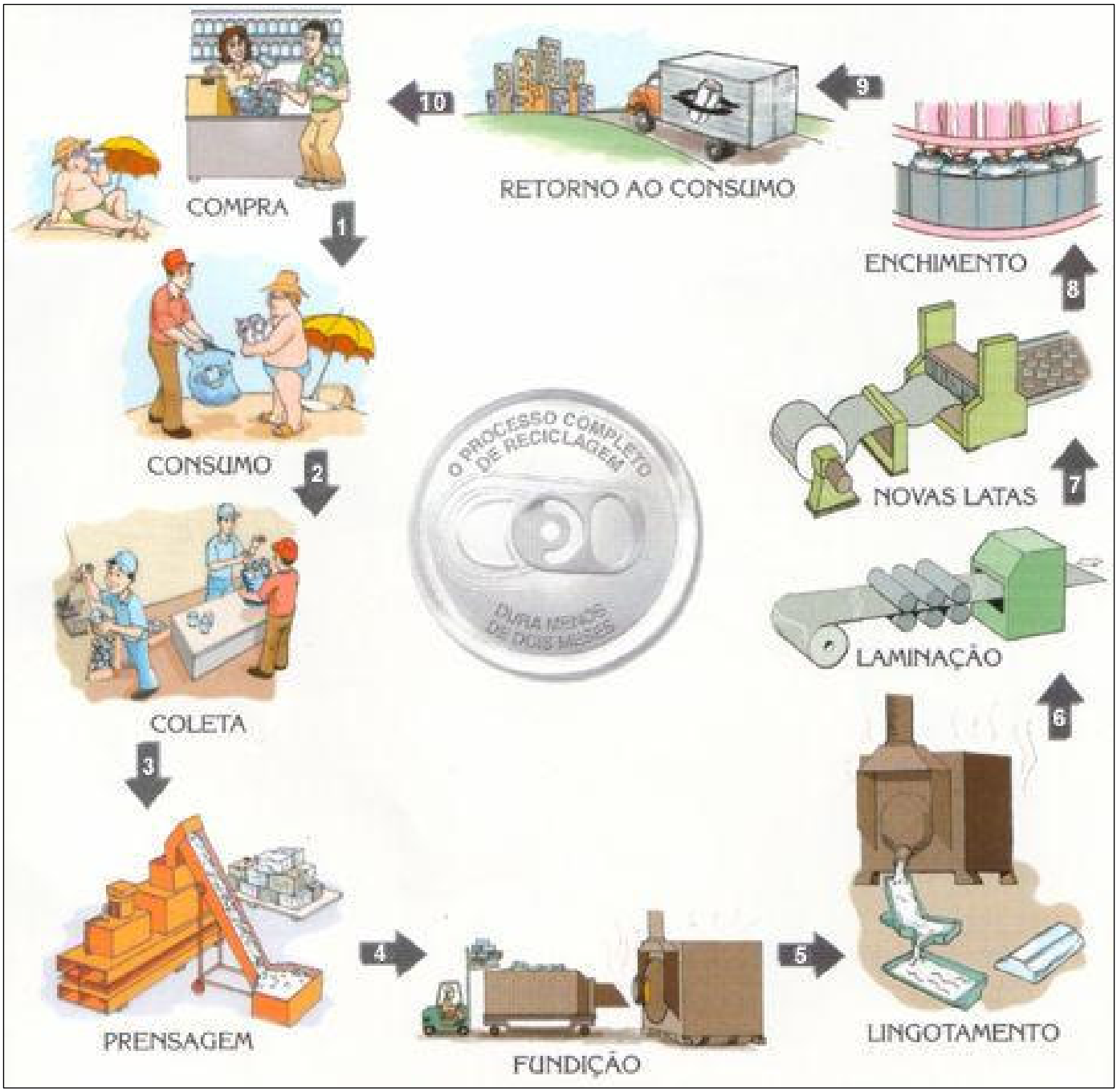
A reciclagem de latas é dividida em dez etapas, e se inicia com a entrega da latinha nos postos de coleta. As latinhas são feitas de alumínio, o que representa muitas vantagens sobre outros materiais recicláveis. Entre eles o de não se degradar durante o processo e poder ser usada para o mesmo fim, ao contrário das garrafas plásticas, que depois de recicladas não podem guardar alimentos (ABAL, 2005).

Entre os materiais hoje reciclados, o alumínio é o que possui maior valor de revenda, estimulando a coleta das latas (PROJETO RECICLAGEM, 2000).

Fora isso, o seu valor residual é alto, mais nobre do que o de outros materiais reutilizáveis, tornando-se uma fonte de renda para os seus coletores. Para se ter uma idéia desse valor, a sucata de latas de alumínio vale atualmente 33 vezes mais do que as de aço e 55 vezes mais que as garrafas de vidro. Desde a produção da latinha na fábrica até a sua volta aos centros de reciclagem, o tempo médio é de dois meses (GALILEU, 2005).

A Figura 7 ilustra as principais etapas do processo de reciclagem das latas de alumínio.

Figura 7 – Etapas da reciclagem da lata de alumínio



Fonte: ALCOA, 2005

As latas que chegam prensadas às unidades de reciclagem passam primeiramente por um desenfardador, que quebra os blocos de latinhas em pedaços que são transportados por uma correia até um moinho de facas, onde os pedaços são completamente desmanchados. Em seguida, um separador eletromagnético remove materiais ferrosos que possam estar misturados ao alumínio. As latas passam, então, para o moinho de martelos, onde são picotadas. Outra vez elas são submetidas ao separador eletromagnético.

A etapa seguinte é passar as latinhas por uma peneira vibratória que retira terra, areia e outros resíduos. Um separador pneumático completa o processo de limpeza através de jatos de ar, que separam do bolo papéis, plásticos e outros materiais. Na seqüência são removidas todas as tintas e vernizes que recobrem as latas em um grande forno rotativo. A seguir, os pedaços limpos de alumínio passam para um forno de fusão, no qual são submetidos a um banho de metal líquido para derreter. O metal derretido é colocado em formas e os lingotes resultantes seguem para a etapa de laminação de chapas, que são novamente transformadas em latas (ABRALATAS, 2005).

2.3.4 GARRAFAS PET

Os plásticos, cuja origem da palavra vem do grego "*plastikós*", ou seja, adequado à moldagem, são materiais produzidos através de um processo químico chamado de polimerização, que proporciona a união de monômeros para formar polímeros (ABIQUIM, 2003).

A principal matéria-prima dos plásticos é o petróleo, formado por uma complexa mistura de compostos que, por possuírem diferentes temperaturas de ebulição, separaram-se através de um processo conhecido como destilação. Uma das frações, a nafta, é fornecida para as centrais petroquímicas, onde passa por uma série de processos, dando origem aos principais monômeros, como por

exemplo, o eteno. Para a produção de plásticos são destinados cerca de 4% da produção mundial de petróleo.

De uma maneira geral, os plásticos têm ocupado uma posição de destaque entre os materiais mais utilizados para embalagens. Entre suas principais vantagens estão o menor consumo de energia na sua produção, a redução do peso do lixo, o menor custo de coleta e destino final, não apresentam riscos no manuseio, são práticos e totalmente recicláveis.

O PET é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros descoberto na década de 1930 por W. H. Carothers, da Du Pont (ABIQUIM, 2003).

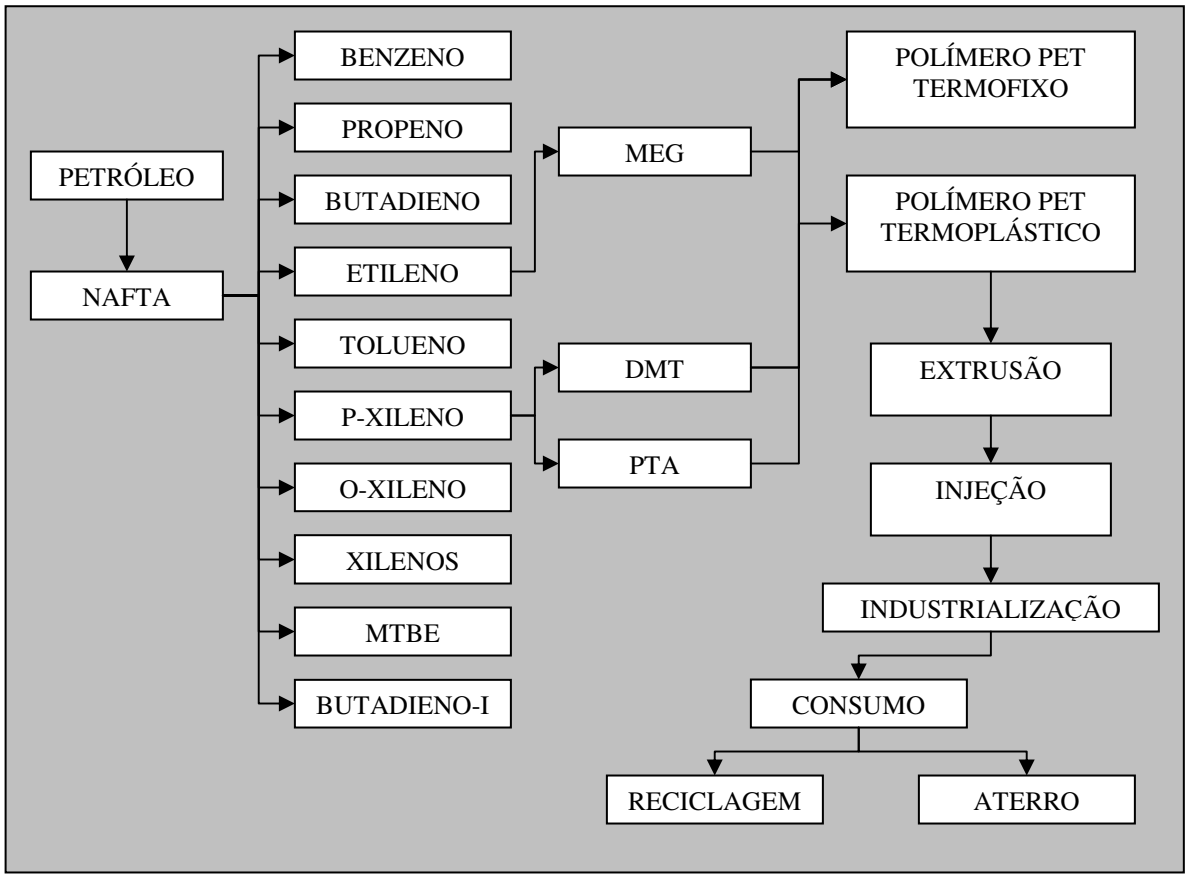
As garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70 (CEMPRE, 2004).

Atualmente no Brasil a resina PET para embalagens tem sido utilizada principalmente no envase de bebidas carbonatadas (60%), de óleo comestível (24%) e de água mineral (6%) (ABIPET, 2003).

As garrafas de PET são totalmente inertes, ou seja, mesmo que sejam indevidamente descartadas, não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos. No entanto, o descarte adequado destas embalagens e seu encaminhamento para a reciclagem são fundamentais para que os aterros sanitários sejam poupados e para que inundações causadas pelo lixo jogado nos rios sejam evitados.

A Figura 8 ilustra um diagrama contendo as principais etapas do ciclo de vida do PET para a fabricação de garrafas, etapas que vão desde a extração do petróleo até a reciclagem das garrafas após o consumo.

Figura 8 – Diagrama da produção do polímero PET



Fonte: VALT, 2004

O início do ciclo de vida das garrafas PET ocorre na extração do petróleo que, após ser destilado e refinado, é separado em diversos compostos, entre os quais a nafta. A partir da nafta, são obtidos outros produtos como o etileno e o p-xileno. Estes são matérias-primas para a fabricação do monoetilenoglicol (MEG) e do dimetiltereftalato (DMT), respectivamente.

O polímero PET é obtido à partir desses dois materiais, na forma de flocos. Os flocos são transformados nas chamadas pré-formas que seguem para o engarrafador, onde ocorrem as etapas de sopro, para a formação das garrafas e o envase do refrigerante (VALT, 2004).

As garrafas de refrigerante seguem para os centros de distribuição, chegando aos consumidores onde, após serem usadas, são descartadas. Parte

dessas garrafas descartadas é recolhida e encaminhada para reciclagem. O restante segue para disposição em aterros sanitários.

2.3.4.1 Extração e Processamento do Petróleo

A extração do petróleo ocorre através da perfuração de um poço que atinge o lençol petrolífero, que jorra espontaneamente. Esse tipo de extração é conhecido como primeira recuperação, tem baixo custo e extrai 5% da reserva total.

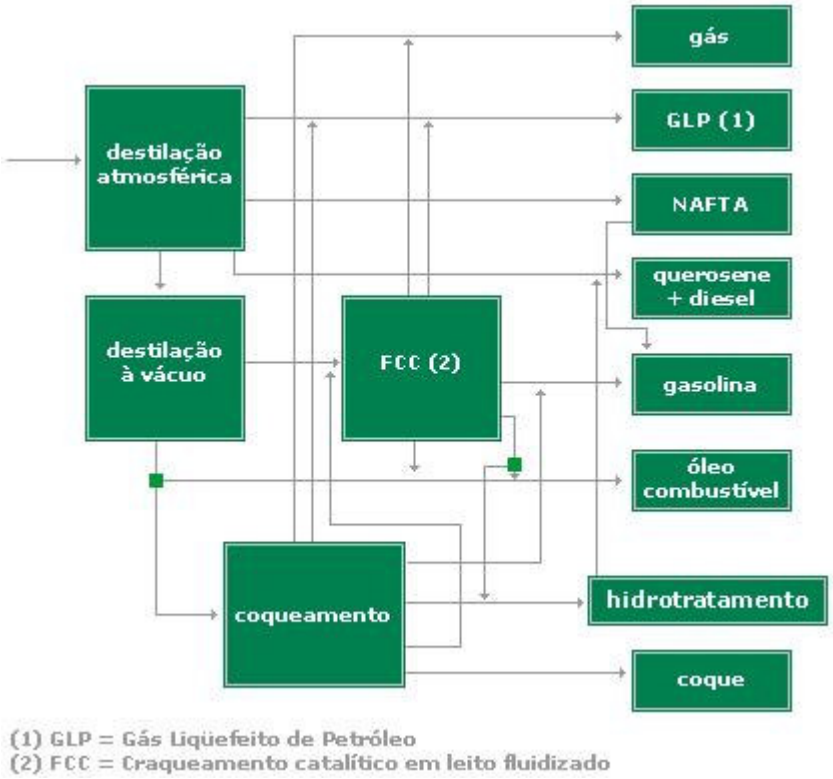
O sistema de extração do petróleo varia de acordo com a quantidade de gás acumulado na jazida. Se a quantidade de gás for grande o suficiente, sua pressão pode expulsar por si mesma o óleo, bastando uma tubulação que comunique o poço com o exterior. Se a pressão for fraca ou nula, será preciso ajuda de bombas de extração. Mesmo assim, há uma perda de quase 50% do petróleo que fica retido no fundo da jazida, não sendo possível sua total extração (SHREVE, 1997).

2.3.4.1.1 Refino do Petróleo

O refino do petróleo constitui-se de uma série de beneficiamentos pelos quais passa o mineral bruto, para obtenção de produtos determinados. Refinar petróleo é, portanto, separar as frações desejadas, processá-las e industrializá-las, transformando-as em produtos vendáveis.

O objetivo inicial das operações na refinaria consiste em conhecer a composição do petróleo a destilar, pois são variáveis a constituição e o aspecto do petróleo bruto, segundo a formação geológica do terreno de onde é extraído. A Figura 9 ilustra o processo de refino do petróleo (SHREVE, 1997).

Figura 9 – Refino do Petróleo



Fonte: ANP, 2006

2.3.4.1.2 Obtenção da Nafta

A primeira etapa do processo de refino é a destilação atmosférica, pela qual passa todo o óleo cru a ser beneficiado. Ela se realiza em torres de pratos perfurados. Em cada região da torre é possível obter uma fração desejada de determinado componente. Nessa etapa, são recolhidos como derivados da primeira destilação, principalmente, gás, gasolina, nafta e querosene.

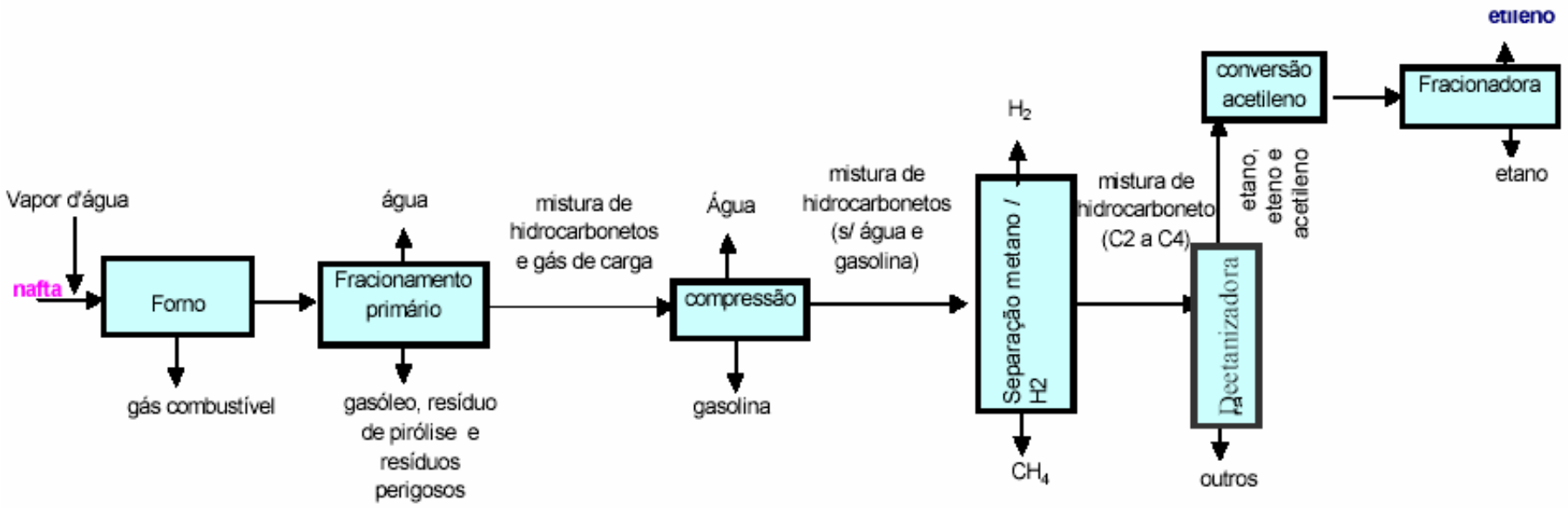
Após ser separada, a nafta passa por um processo onde são obtidos uma série de monômeros, sendo os principais denominados benzeno, propeno, butadieno, etileno, tolueno, p-xileno, o-xileno, outros xilenos, MTBE e butadieno-i.

Dentre esses monômeros, o etileno e o p-xileno são matérias-primas para fabricação do PET.

2.3.4.1.3 Obtenção do etileno e do p-xileno

A nafta bruta, utilizada como matéria-prima na produção de todos os petroquímicos básicos incluindo-se o etileno, é uma mistura de hidrocarbonetos cujo ponto inicial de destilação situa-se em torno de 30 ◦C e final a 200 ◦C. A Figura 10 ilustra o processo de obtenção do etileno.

Figura 10 – Processo de obtenção do etileno



Fonte: LIMA, 2001

Essa nafta bruta é aquecida e alimentada nos fornos de craqueamento, junto com vapor d'água, ocorrendo a pirólise. O gás combustível, obtido nesta etapa, é recolhido. O material restante segue para a etapa de fracionamento primário, separando-se em três frações: a de fundo (resíduo de pirólise), a retirada lateralmente (gasóleo) e a de topo (vapor d'água, fração leve e gasolina).

Esta última fração é rica em aromáticos e também composta por uma mistura de hidrocarbonetos, entre eles o etileno.

O processo seguinte consiste na purificação da corrente de etileno, onde traços de acetilenos são convertidos para etilenos ao passar por um conversor. Na última fracionadora é retirada uma corrente concentrada de etano que retorna para ser realimentada nos fornos como matéria-prima. A corrente de topo dessa fracionadora (fracionadora de etileno) tem pureza elevada e está pronta para ser utilizada. O etileno segue para produção do monoetilenoglicol (MEG).

De uma maneira semelhante, em uma unidade de reforma catalítica, processa-se uma fração rica em aromáticos, que foi separada dos hidrocarbonetos por compressão, com o objetivo de aumentar a concentração. Com uma destilação extrativa, obtém-se uma corrente rica em benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno (SHREVE, 1997; VALT, 2004).

2.3.4.1.4 Obtenção do monoetileloglicol (MEG) e do dimetiltereftalato (DMT)

O monoetilenoglicol (MEG) é o mais simples dos etilenoglicóis e é produzido pela reação de água com óxido de etileno. A partir da reação do etileno com o oxigênio, pelo processo da oxidação catalítica, obtém-se o óxido de etileno. O óxido de etileno é um dos mais importantes derivados do etileno.

Etilenoglicol é um consumidor de óxido de etileno. Outras denominações dadas a este produto são: monoetilenoglicol, etilenoglicol, glicol etilênico e 1,2-etanodiol.

Os etilenoglicóis são líquidos límpidos, incolores, inodoros e miscíveis com água em qualquer proporção. As reações de processo do monoetilenoglicol (MEG)

são fortemente exotérmicas e são realizadas na fase líquida. O MEG é empregado na síntese do polietileno tereftalato (PET).

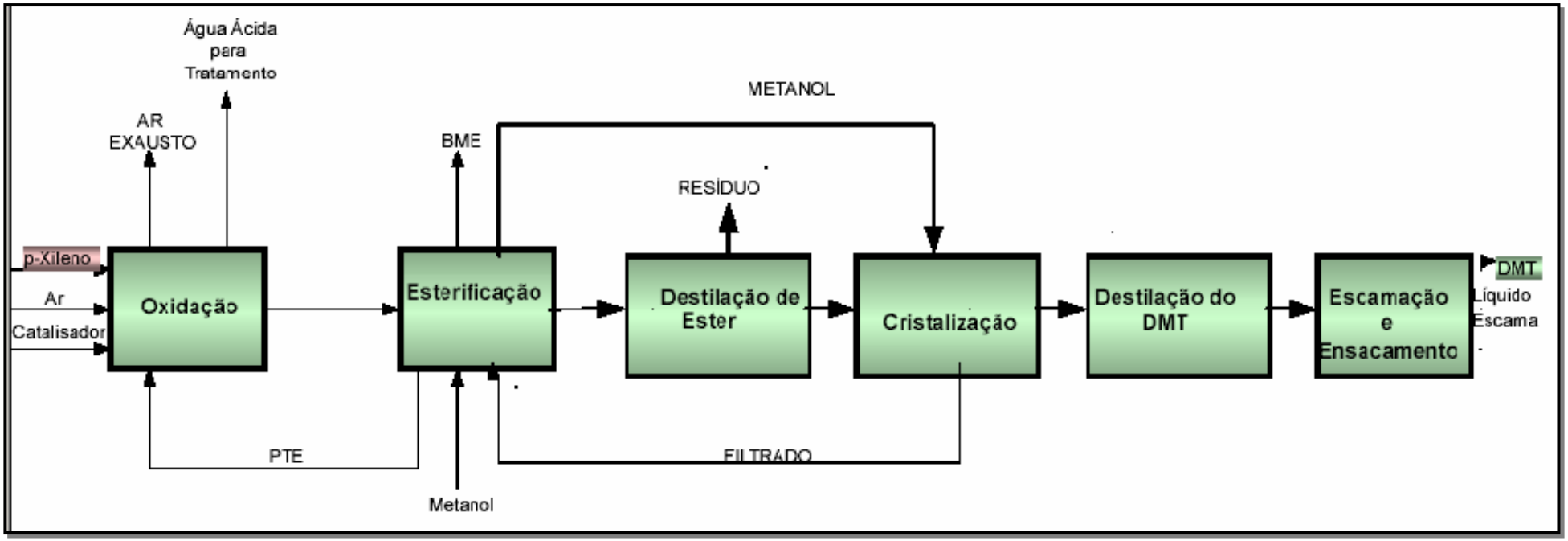
Já o dimetiltereftalato (DMT) é um outro produto utilizado na fabricação do polietileno tereftalato. Uma empresa localizada no Estado da Bahia é a única produtora nacional de DMT. A maior parte da produção é consumida no mercado interno para produzir o PET.

O processo de obtenção de DMT com pureza superior a 99.9% a partir de p-xileno é dividido nas seguintes etapas:

1. Oxidação
2. Esterificação
3. Destilação de Éster Cru
4. Cristalização
5. Destilação de DMT
6. Escamação e Ensacamento

A **Figura 11** ilustra o processo de obtenção do DMT.

Figura 11 – Processo de obtenção do DMT



Fonte: BRASKEM, 2005

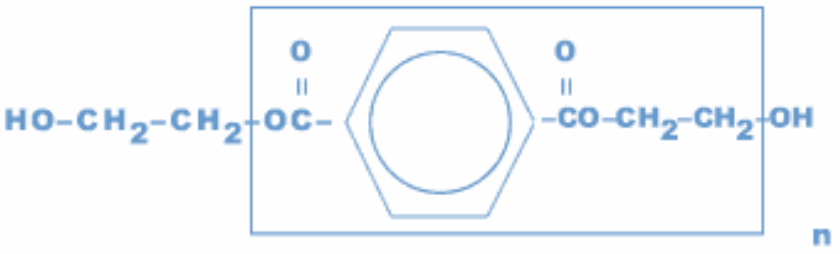
A última etapa do processo consiste na destilação do DMT cristalizado, obtendo-se, assim, um produto de elevada pureza que, juntamente com o MEG, podem ser encaminhados para a fabricação da resina PET.

2.3.4.2 Fabricação da Resina

O Polietileno Tereftalato (PET) forma-se a partir dos monômeros dimetiltereftalato (DMT) e monoetilenoglicol (MEG), através de transesterificação, para formar o Dihidroxietileno Tereftalato (DHET) que é um monômero do PET. A reação ocorre na presença de um catalisador com liberação de metanol.

No monômero puro (DHET) tem-se n igual a 1, o qual é aumentado em aproximadamente 80 vezes para se obter a cadeia final do PET. O fator n é referido como grau de polimerização. A **Figura 12** ilustra uma representação da molécula de PET.

Figura 12 – Representação da molécula de PET



A reação continua até que a massa molecular ideal seja alcançada e o polímero PET seja totalmente formado. Após sua fabricação, o polímero segue para a extrusão. Depois é resfriado e enviado para produção de grãos (*pellets*), forma mais comum de comercialização do PET pronto. Os pellets são então

levados a um processo de secagem para reduzir o teor de umidade e por fim ensacados (PEREIRA et al., 2002).

2.3.4.3 Fabricação da Pré-forma e da Garrafa

O processo inicia-se pela chegada da matéria prima, o PET em forma de pellets, protegida por embalagens tipo *big-bag* de 1000 ou 1200 kg.

Antes de ir para moldagem por injeção, o material passa por uma secagem pelo fato do PET ser higroscópico. Na injeção, a resina PET, em forma de pellets brancos, é transportada através de arraste a vácuo, até os silos de secagem onde se remove a umidade do pellet pela passagem em contracorrente de ar seco aquecido.

A moldagem pode ser feita por Injeção e por Sopro:

Moldagem por Injeção: Nesta etapa o objetivo é obter mudanças físicas no PET. A matéria prima seca, situada no silo de secagem sobre a injetora, entrará por tubulações flexíveis pela garganta de entrada na injetora para sofrer o processo de plastificação.

O processo de plastificação é assim denominado, pois o PET em estado sólido e a uma temperatura de aproximadamente de 150 ^{0}C (temperatura proveniente da secagem), passará para um estado pastoso (atingindo a temperatura de 300 ^{0}C), isto ocorre em uma parte da injetora denominado extrusor. O PET entra pela garganta e é aquecido por resistências e numa rosca é cisalhado, até atingir o estado pastoso. O PET pastoso e compactado é transferido para um outro canhão, denominado canhão injetor, onde este também contém resistências para manter a temperatura e / ou homogenizar a mesma. O canhão injetor transfere o PET para o molde.

No molde será dada a forma e realizada uma primeira resfriada nas pré-formas, onde elas atingem uma temperatura aproximada de 90 ^{0}C. As pré-formas são retiradas do molde por um equipamento robô, onde serão resfriadas para o armazenamento. Após o resfriamento são descarregadas sobre uma esteira

transportadora que as direciona para uma caixa de papelão à frente da injetora, onde são armazenadas para serem distribuídas para os clientes.

Estas pré-formas são semelhantes a um tubo de ensaio, com a aba suporte e rosca já estabelecidas. Podem ser nas cores cristal ou verde, dependendo da coloração a ser solicitada pelo mercado.

Uma quantidade da produção já sai da empresa na forma de pré-forma, e poderá ser transportada para a fábrica que irá desenvolver as próximas etapas. A parte final, moldagem por sopro, pode ser realizada na mesma fábrica, em outra especializada ou na indústria de refrigerantes.

A moldagem por sopro é normalmente realizada nas indústrias de refrigerantes. O processo consiste no aquecimento da pré-forma e inserida no molde com formato da garrafa. Dentro do molde da garrafa, a pré-forma é submetida a um estiramento, sofrendo orientação axial e ao mesmo tempo é insuflado ar comprimido, expandindo a pré-forma contra a parede do molde, proporcionando orientação radial, ao mesmo tempo em que a garrafa recém-formada é resfriada pela parede do molde. Em seguida a garrafa é retirada do molde (LIMA, 2001).

2.3.4.4 Fabricação da Tampa e Rótulo

As tampas utilizadas nas garrafas PET são fabricadas a partir de polipropileno (PP), com anéis retentores de policloreto de vinila (PVC). Já os rótulos são fabricados a partir do polietileno de baixa densidade (PEBD).

O PP é obtido na polimerização do propileno. Possui elevada resistência mecânica, rigidez e dureza. Apresenta baixa densidade e alta resistência ao calor.

O PVC termoencolhível é obtido a partir da polimerização do cloreto de vinila a altas temperaturas. Para amolecimento da resina pura, normalmente dura e rígida, são utilizados os chamados modificadores, obtendo-se assim, materiais de cores variadas e mais flexíveis.

Já o PEBD é resultado da polimerização do etileno a alta pressão e elevada temperatura. Trata-se de um termoplástico flexível e tenaz, mas com pouca resistência mecânica (BLASS, 2001).

2.3.4.5 Processo de Reciclagem da Garrafa PET

O PET é uma embalagem barata, leve, resistente e reciclável e por isso é amplamente utilizada pela indústria. Tem excelente barreira para gases e odores. Ele é um **termoplástico**, o que significa que pode ser reprocessado várias vezes, pois quando submetido ao aquecimento esse plástico amolece, se funde e pode ser novamente moldado.

O processamento básico de reciclagem compreende: aquisição de matéria-prima, classificação, moagem, lavagem, enxágüe, descontaminação, pré-secagem, secagem, eliminação de pó e embalagem. Depois de coletadas por um sistema seletivo, as embalagens PET passam por uma triagem para separá-las por cor.

Para viabilizar o transporte para as fábricas recicladoras é necessário, em muitos casos, o enfardamento, utilizando prensas hidráulicas ou manuais. O processo de reciclagem do PET, propriamente dito, se dá através de moagem e lavagem das embalagens. Daí os polímeros são novamente transformados em grânulos, os chamados *grãos* ou *pellets* (PIRES, 2006).

Os pellets seguem para uma etapa de enxágüe para a retirada de possíveis contaminantes, como restos de bebidas e alimentos. Após a drenagem da água de enxágüe, ocorre uma pré-secagem para a retirada da água superficial do material.

A secagem final é feita em um secador contínuo com ar quente. A remoção do pó aderido aos pellets, em função da passagem do ar quente, é feita com auxílio de um ventilador e um sistema de exaustão desse pó. O material seco e isento de pó segue então para a ensacadora, completando o processo da reciclagem (RECICLAGEM DO PET, 1996).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho pode ser dividido em três etapas principais. Uma primeira etapa teórica, envolvendo a descrição dos tipos de materiais e dos processos envolvidos e o estudo de levantamento do ciclo de vida de cada uma das embalagens propostas.

A segunda etapa foi desenvolvida por meio de coleta de dados em empresas do setor e na literatura para realização do estudo do ciclo de vida das embalagens estudadas. A terceira etapa foi a compilação das informações obtidas, que foi realizada em planilha eletrônica e corroborada com os resultados obtidos utilizando o software Umberto, onde todos os processos, fluxos e variáveis pertinentes ao estudo foram alimentados no sistema, permitindo, assim, uma análise comparativa entre as embalagens estudadas.

3.1 Definição dos objetivos e fronteiras do estudo

O objetivo principal consiste em apontar os pontos críticos para controle ambiental como forma de auxiliar em processos de tomada de decisão para otimização de processos, mudanças no produto visando produção mais limpa e prevenção à poluição do meio ambiente.

Com isso, identificar oportunidades de aperfeiçoamento ambiental no processo de fabricação e utilização de materiais, apoiando a redução dos resíduos, planejando a reutilização e a reciclagem. Para tanto, foi realizado um estudo comparativo entre o Ciclo de Vida de três tipos de embalagens utilizadas na indústria de refrigerantes.

Para realização do estudo, foram consideradas as embalagens para refrigerantes apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade de envase e massa (valores médios) das embalagens estudadas

Tipo de embalagem	Capacidade de embase (mL)	Massa (g)
Garrafa de vidro	**290**	**386,2**
Garrafa de PET	**2000**	**50,0**
Lata de alumínio	**350**	**14,3**

As fronteiras do estudo do ciclo de vida de cada embalagem foram definidas de acordo com a proposta do trabalho, envolvendo as etapas que vão desde a extração das matérias-primas para produção das embalagens, a embalagem pré-pronta (lata, pré-forma de PET e garrafa de vidro incolor), a sua utilização nas indústrias de refrigerantes até os processos de reciclagem de cada uma delas.

Para as embalagens selecionadas neste estudo, as fronteiras estabelecidas estão ilustradas na **Figura 13**, **Figura 14** e **Figura 15**.

Figura 13 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das garrafas de VIDRO

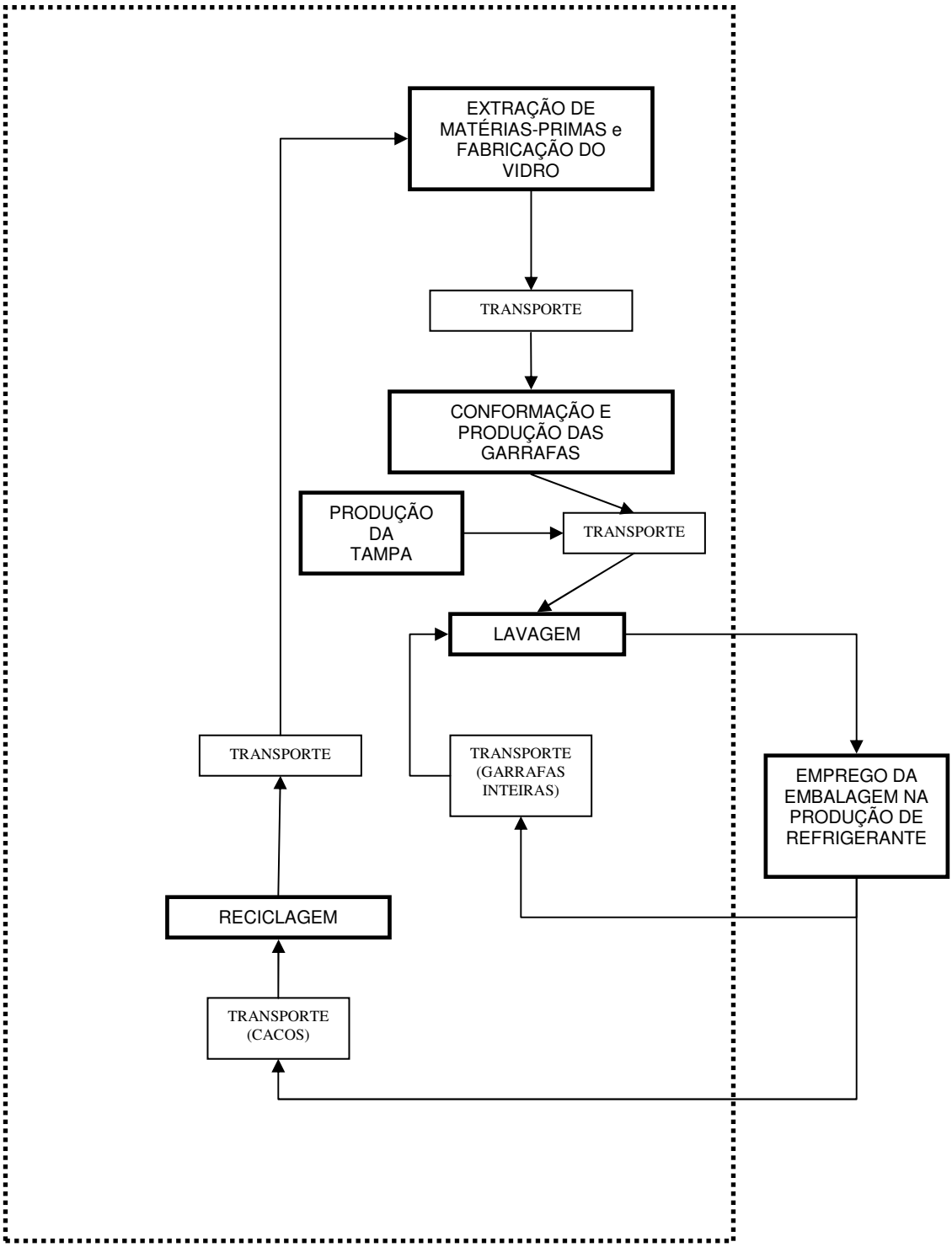


Figura 14 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das latas de ALUMÍNIO

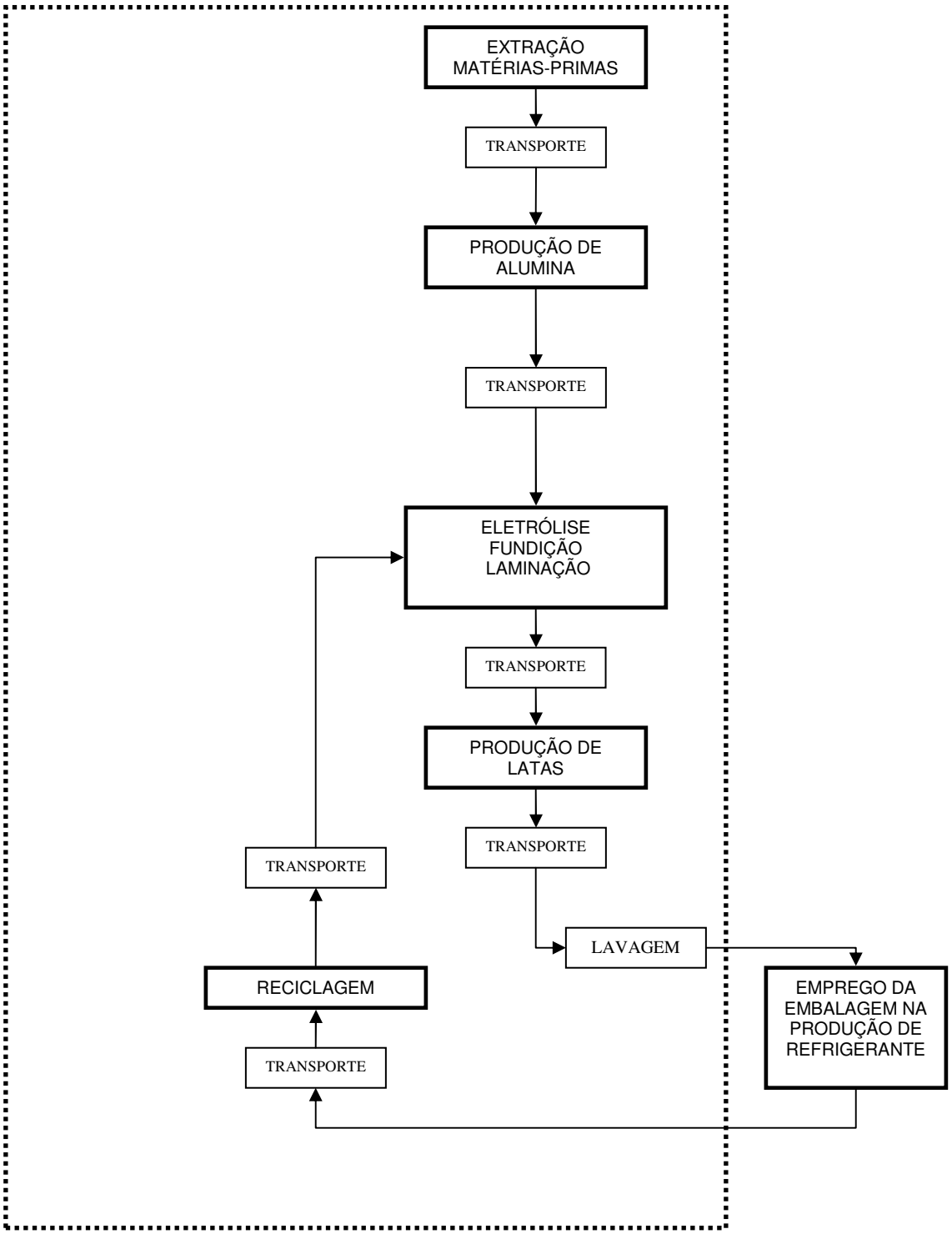
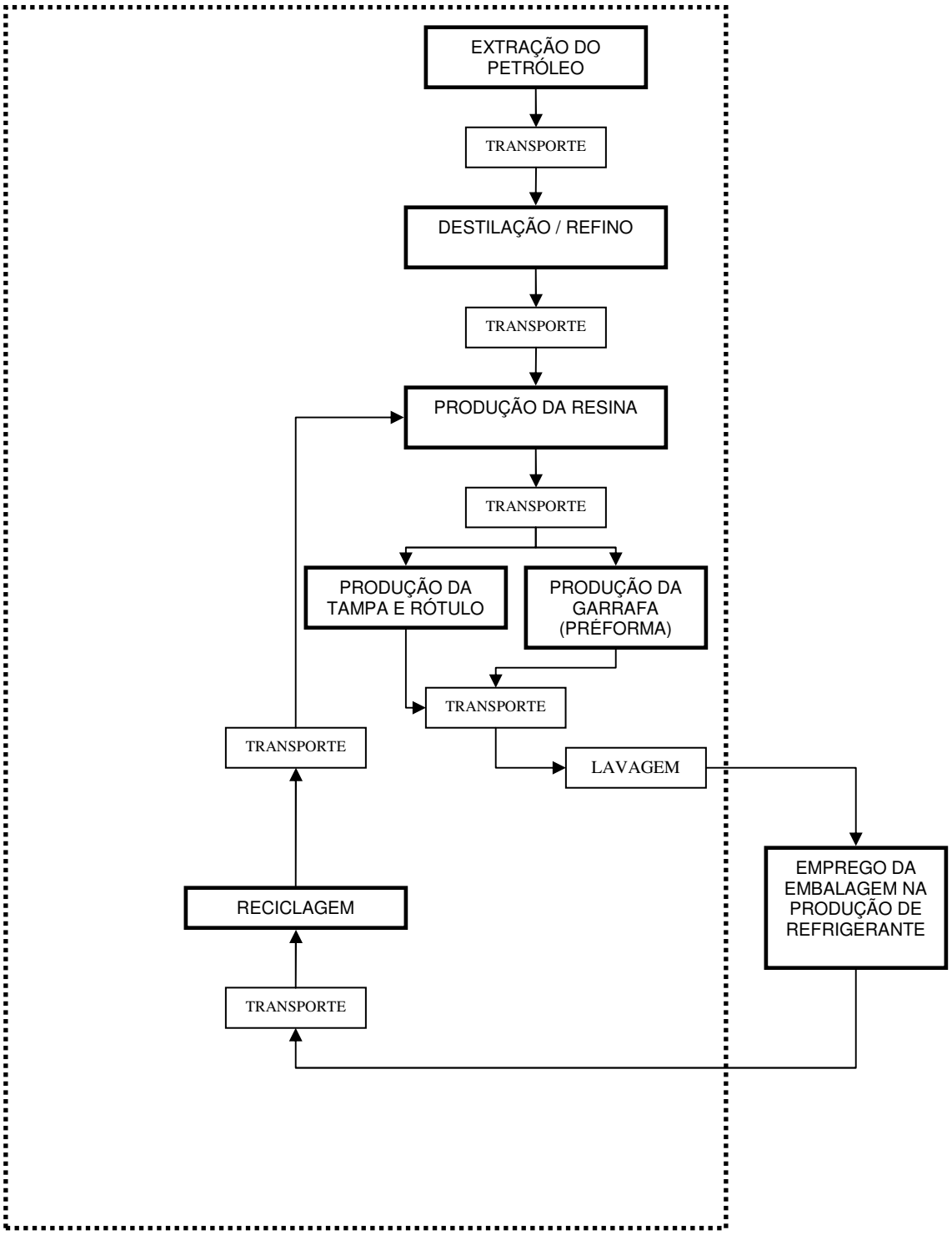


Figura 15 - Representação esquemática das fronteiras do estudo de ACV das garrafas de PET



3.2 Estudo dos processos produtivos das embalagens

A descrição dos tipos de materiais e processos envolvidos foi feita a partir de dados de literatura e consulta a empresas pertinentes. Foram consideradas e consultadas as empresas de grande expressão nacional, cada qual no respectivo setor produtivo.

Neste trabalho considerou-se que o ciclo de vida genérico de uma embalagem para refrigerante é composto por três fases: a fase de produção das embalagens, que inclui a extração de matérias-primas e os processos associados à sua produção; a fase de engarrafamento, restrita à preparação das embalagens (lavagens) para envase do refrigerante; e a fase de pós-uso e destino final (relativa aos processos de encaminhamento dos resíduos de embalagem e processos de reciclagem). No trabalho foram considerados o consumo de energia e a emissão de poluentes atmosféricos associados, nas etapas de transporte entre os diferentes processos.

As informações foram coletadas em empresas de grande expressão nacional, líderes no mercado em seu segmento (sob o aspecto volume de produção e representatividade do respectivo setor de produção), onde, algumas das empresas são multinacionais. As informações fornecidas estão de acordo com a capacidade produtiva de cada empresa.

O período de coleta de informações foi de julho de 2004 a setembro de 2005. Essas informações estão apresentadas nos formulários de coleta de dados no Anexo I.

Em função da capacidade produtiva, as informações foram coletadas para posteriormente serem normalizadas para uma base de cálculo mássica.

Estabeleceu-se como base de cálculo 1000 kg de material produzido em cada processo. Dessa forma, a diferença entre as entradas e saídas de cada processo resulta em 1000 kg de produto.

Os balanços calculados no estudo, baseados nas informações coletadas e que utilizaram esta base de cálculo, estão ilustrados no Capítulo 4.

Para elaboração das planilhas a metodologia de cálculo está descrita no item 3.4.

3.3 Levantamento das informações em campo e na literatura

A coleta de dados e informações necessárias para desenvolvimento deste estudo foi realizada através de visitas técnicas a empresas do setor pertinente, entrevistas com os responsáveis pela produção, correio eletrônico e análise de documentos. Para tanto, utilizou-se de um formulário, tal como sugerido por CHEHEBE, (1998) e ilustrado na Figura 16 .

Figura 16 – Formulário para Coleta de Dados

LOCAL:				
PROCESSO/ATIVIDADE:				
PRODUTO:		QUANTIDADE:		DATA:
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, águas residuárias, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
BALANÇO DE ENERGIA (consumo):				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários:				

As associações que foram consultadas para obtenção das informações necessárias para este estudo foram: ABAL – Associação Brasileira do Alumínio; ABIVIDRO – Associação das Indústrias Brasileiras de Vidro; ABIPET – Associação

Brasileira da Indústria do PET; ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas e ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade.

As empresas e indústrias fornecedoras de informações para este estudo estão ilustradas na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 2 – Dados coletados para estudo de ACV das garrafas de VIDRO

Processo	Fonte	Capacidade produtiva média	Distância até o processo seguinte	Meio de transporte
Fabricação do vidro	Empresa A multinacional localizada no estado de São Paulo	250 m^3/d de areia, 190 m^3/d de dolomita, 180 m^3/d de calcário, 120 m^3/d de feldspato	400 km	Ferroviário
Produção das garrafas	Empresa B multinacional localizada no estado de São Paulo	100 mil garrafas/d	600 km	Rodoviário
Preparação para envase e lavagem das garrafas	Empresa multinacional localizada no estado do Paraná	100 mil garrafas/d	100 km	Rodoviário
Fabricação das tampas	Empresa multinacional localizada no estado do Pará	10 mil unidades/d	3500 km	Rodoviário
Reciclagem das garrafas	Empresa C multinacional localizada no estado de São Paulo	1 t/d	100 km	Rodoviário

Tabela 3 - Dados coletados para estudo de ACV das latas de ALUMÍNIO

Processo	Fonte	Capacidade produtiva média	Distância até o processo seguinte	Meio de transporte
Extração de matérias primas e produção de alumina	Empresa estatal localizada no estado de Minas Gerais	2 mil t/d de bauxita, 800 t/d de alumina, 260 t/d alumínio	20 km	Rodoviário
Eletrólise / Laminação	Empresa multinacional localizada no estado de Minas Gerais	200 t/d de lâminas	350 km	Rodoviário
Fabricação das Latas	Empresa D multinacional localizada no estado de São Paulo	300 mil latas/d	400 km	Rodoviário
Preparação para envase e lavagem das latas	Empresa multinacional localizada no estado do Paraná	5 mil latas/d	100 km	Rodoviário
Reciclagem das latas	Empresa E multinacional localizada no estado de São Paulo	160 t/d de latas	400 km	Rodoviário

Tabela 4 - Dados coletados para estudo de ACV das garrafas de PET

Processo	Fonte	Capacidade produtiva média	Distância até o processo seguinte	Meio de transporte
Extração do petróleo	Empresa estatal localizada no estado da Bahia	110-120 mil barris/d	40 km	Oleoduto
Refino	Empresa multinacional localizada no estado da Bahia	3,5 mil t/d de etileno, 400 t/d de MEG e 250 t/d de DMT	33 km	Oleoduto
Fabricação da resina e da preforma	Empresa multinacional localizada no estado da Bahia	180 t/d de resina e 100 mil preformas/d	1800 km	Rodoviário
Produção dos rótulos	Empresa F multinacional localizada no estado de São Paulo	2,0 milhões de rótulos/d	400 km	Rodoviário
Produção das tampas	Empresa G multinacional localizada no estado de São Paulo	1,5 milhões de tampas/d	400 km	Rodoviário
Preparação para envase e lavagem das garrafas	Empresa multinacional localizada no estado do Paraná	7 mil garrafas/d	100 km	Rodoviário
Reciclagem das garrafas de PET	Empresa de reciclagem localizada no estado da Bahia	1 t de garrafas/d	100 km	Rodoviário

3.4 Tratamento das informações obtidas em campo e na literatura

As informações necessárias para o estudo foram coletadas de acordo com a capacidade produtiva de cada empresa, conforme mencionado anteriormente. Essas informações não estão de acordo com a base de cálculo mássico definida para o estudo. Assim, para efeito de balanços de massa foram calculados fatores de correção para cada uma das etapas de produção dos ciclos estudados, bem como os fatores de correção para o transporte entre essas etapas.

O fator de correção para o transporte do produto, utilizado no estudo de ACV da embalagem, representa a quantidade de emissões atmosféricas gerada por unidade de distância percorrida e por unidade de capacidade mássica de transporte (por via rodoviária, ferroviária ou por oleoduto).

Para os processos, o fator de correção da produção representa a massa de cada elemento (tampa, rótulo) do produto para a produção da quantidade de embalagem com capacidade de envase igual à unidade funcional adotada. Isso, considerando a taxa atual de reciclagem e o número de vezes de reuso, quando for o caso. A Tabela 5 e a Tabela 6 indicam os valores de emissões para os diferentes tipos de transporte.

Tabela 5 - Valores de emissões atmosféricas (em kg/km)

Emissão Atmosférica	Transporte rodoviário em caminhão à óleo diesel*	Transporte ferroviário em trem à óleo diesel**
CO	**0,0250**	**0,0689**
CO_2	**1,2100**	**3,3400**
HC	**0,0060**	**0,0165**
SO_2	**0,0030**	**0,0083**
NO_x	**0,0330**	**0,0910**
MP	**0,0160**	**0,0440**

Fonte: *ECONOMIA & ENERGIA, 2005; **ERIKSSON et al., 1996.

Tabela 6 - Valores de emissões de VOC's para transporte, via tubovias (oleodutos), de petróleo e derivados

Produto	Quantidade emitida (kg/m^3 transportado)	Densidade do material (massa específica em kg/m^3)
Petróleo	**0,0700**	**843**
Nafta	**0,0700**	**712**
Derivados da Nafta	**0,0890**	

Fonte: ASSUNÇÃO, 2003

Para avaliação dos aspectos e impactos ambientais e estudo comparativo das três embalagens escolhidas, adotou-se como unidade funcional 1000 L de capacidade de envase de refrigerante das embalagens estudadas. A Tabela 7 ilustra as principais características das embalagens.

Tabela 7 – Características das embalagens definidas para o estudo de ACV

Embalagem	Capacidade de envase (mL)	Número de embalagens de acordo com a unidade funcional adotada (1000 L)
Garrafa de VIDRO	290	3448
Lata de ALUMÍNIO	350	2857
Garrafa de PET	2000	500

Os fatores de correção dos dados coletados em cada processo produtivo das embalagens estudadas foram estabelecidos para a comparação dos resultados. Os dois fatores utilizados no trabalho foram o fator de correção para o transporte e o fator de correção para a produção, ambos adimensionais.

Os fatores de correção relativos ao transporte foram calculados utilizando as distâncias percorridas entre os processos de produção das três embalagens estudadas. Não foram consideradas as distâncias percorridas dentro de cada processo. A relação utilizada foi:

$$F_t = (A \times B) \div C \qquad (1)$$

onde,

F_t – Fator de correção para o transporte

A – Valor de emissão para o produto (para transporte por oleoduto) ou distância entre locais de produção (para transporte ferroviário e rodoviário);

B – Quantidade de produto transportado;

C – Densidade do produto (para transporte por oleoduto) ou capacidade de transporte (ferroviário ou rodoviário).

Quadro 1 – Valores adotados para as variáveis associadas aos diferentes tipos de transporte

Tipo de transporte / Variáveis	Transporte por Oleoduto	Transporte Rodoviário	Transporte Ferroviário
A	Valor de emissão para o produto	Distância entre locais de produção	Distância entre locais de produção
B	Quantidade de produto transportado (= 1000 kg)	Quantidade de produto transportado (= 1000 kg)	Quantidade de produto transportado (= 1000 kg)
C	Densidade do produto	Capacidade de transporte rodoviário (Carreta = 25 t.)	Capacidade de transporte ferroviário (Trem = 300 t.)

Para o transporte por oleoduto, a unidade do fator de correção é dada em quilogramas de poluentes emitidos, uma vez que essas emissões ocorrem no início e final do oleoduto, independentemente da distância percorrida.

Para o transporte rodoviário e ferroviário, a unidade do fator de correção é dada em quilômetros que, multiplicada pelos valores de emissões atmosféricas ilustrados na Tabela 5, resulta na quantidade (em “kg”) de poluentes emitidos.

Considerou-se neste estudo, para transporte rodoviário, caminhões com capacidade de carga de 25 toneladas e consumo de 2,0 litros de óleo diesel por quilômetro rodado (FABI, 2004). Para transporte ferroviário, foram considerados

vagões com capacidade total de carga de 300 toneladas e consumo de 6,0 litros de óleo diesel por quilômetro rodado (MOURA et al., 1999).

O consumo de combustível de uma locomotiva é menor do que o de um caminhão devido à diferenciada característica de tração dos dois veículos. O caminhão se utiliza exclusivamente do motor à combustão, enquanto que a locomotiva aproveita o motor à combustão para mover um gerador elétrico responsável pela geração do torque e da tração da locomotiva (SOUZA, 2005).

Os valores de emissões atmosféricas associadas ao transporte foram obtidos de ECONOMIA & ENERGIA (2005) para o transporte rodoviário e de MOURA et al. (1999) para o transporte ferroviário. Para o transporte por oleoduto, foram utilizados os dados de ASSUNÇÃO (2003). Esses valores estão descritos e apresentados na Tabela 5 e Tabela 6.

Os fatores de correção para o transporte adotados neste trabalho encontram-se na Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 8 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das garrafas de VIDRO

Processo	Fator de correção (F_t)	Distância até o processo seguinte (km)
Extração das matérias-primas até a fabricação do vidro	**1,33**	**400**
Conformação e produção das garrafas	**24,00**	**600**
Preparação para envase e lavagem das garrafas	**4,00**	**100**
Produção das tampas	**140,00**	**3500**
Reciclagem das garrafas	**4,00**	**100**

Tabela 9 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO

Processo	Fator de correção (F_t)	Distância até o processo seguinte (km)
Extração matérias-primas até a produção de alumina	**0,80**	**20**
Eletrólise e fundição até a laminação	**14,00**	**350**
Produção Das latas	**16,00**	**400**
Preparação para envase e lavagem das latas	**4,00**	**100**
Reciclagem das latas	**16,00**	**400**

Tabela 10 – Fatores de correção para transporte entre os processos do ciclo de vida das garrafas de PET

Processo	Fator de correção (F_t)	Distância até o processo seguinte (km)
Extração do petróleo	**0,08**	**40**
Destilação e refino	**0,12**	**33**
Produção da resina até a produção da pré-forma	**72,00**	**1800**
Produção, preparação para envase e lavagem das garrafas	**4,00**	**100**
Produção do rótulo	**16,00**	**400**
Produção da tampa	**16,00**	**400**
Reciclagem das garrafas	**4,00**	**100**

Os fatores de correção referente às etapas do processo de produção foram calculados tomando-se com referência a metodologia usada nos estudos de RYBERG et al. (1998), citados por VALT (2004).

Segundo pesquisa realizada junto às empresas do setor, atualmente as taxas de reciclagem das embalagens estudadas são de 25% para as garrafas de vidro ($\mathbf{t_{RV}}$), 90% para as latas de alumínio ($\mathbf{t_{RA}}$) e 40% para as garrafas de PET ($\mathbf{t_{RP}}$). Na Europa, a taxa de reuso de garrafas de vidro está na faixa de 20 a 40

vezes. Segundo FABI (2004) e, de acordo com as condições locais desse estudo, uma garrafa de vidro possui tempo de vida médio de 7 anos e pode ser utilizada 4 vezes ao ano. Dessa forma, o número de vezes de reuso dessa embalagem será de 28 vezes. Esse valor foi a taxa de reutilização das garrafas de vidro utilizada nesse estudo.

Fatores de correção da produção para as garrafas de VIDRO

Para os processos referentes ao ciclo de vida das garrafas de vidro, os fatores de correção foram calculados utilizando a relação:

$$F_p = \left[\left(D \div E\right) - \left(D \times t_{RV} \div E\right)\right] \div 1000 \qquad (2)$$

onde,

F_p – Fator de correção da produção (adimansional);

D – Quantidade de vidro associada à unidade funcional adotada (kg);

E – Taxa de reuso das garrafas de vidro (28 vezes);

t_{RV} – Taxa de reciclagem das garrafas de vidro (%).

Quadro 2 - Valores adotados para as variáveis associadas ao fator de correção da produção para as garrafas de vidro

Variáveis	Discriminação
F_p	Fator de correção da produção
D	Quantidade de vidro associada à unidade funcional adotada (= 1331,70 kg)
E	Taxa de reuso das garrafas de vidro (= 28 vezes)
t_{RV}	Taxa de reciclagem (= 25%)
1000	Base de cálculo adotada (= 1000 kg de material)

A variável ***D*** representa a massa de vidro necessária para a fabricação da quantidade de garrafas para o envase de 1000 L (unidade funcional).

Para a produção de garrafas, utilizou-se a relação:

$$F_p = D \div (E \times 1000) \quad (3)$$

Para o processo de lavagem, a relação utilizada foi:

$$F_p = D \div 1000 \quad (4)$$

Já para o processo de fabricação das tampas:

$$F_p = F \div 1000 \quad (5)$$

onde,

F - Massa de tampas, relacionada à unidade funcional (= 8,21 kg).

Cada tampa tem uma massa de 0,00238 kg. Para envase de 1000 L de refrigerante em garrafas de vidro de 290 mL, são necessárias 3448,3 garrafas. Consequentemente o mesmo número de tampas, totalizando uma massa total de 8,21 kg de material.

Por fim, na etapa de reciclagem a relação utilizada foi:

$$F_p = [(D \div E) \times t_{RV}] \div 1000 \quad (6)$$

Os fatores de correção para produção dos processos do ciclo de vida das garrafas de Vidro estão ilustrados na Tabela 11 .

Tabela 11 – Fatores de correção para produção de garrafas de VIDRO com taxa de reciclagem de 25% e taxa de reuso de 28 vezes

Processo	Fator de correção (F_p)	Produção (kg)
Extração das matérias-primas até a fabricação do vidro	**0,0357**	**35,67**
Conformação e produção das garrafas	**0,0476**	**47,56**
Preparação para envase e lavagem das garrafas	**1,3317**	**1331,70**
Produção das tampas	**0,0082**	**8,21**
Reciclagem das garrafas	**0,0119**	**11,89**

Fatores de correção da produção para as latas de ALUMÍNIO

Para as latas de alumínio o raciocínio adotado foi análogo. Para as etapas de extração da matéria-prima, produção da alumina e etapas de eletrólise e fundição, a seguinte relação foi utilizada:

$$F_p = \left[\left(G \times H\right) - \left(G \times H \times t_{RA}\right)\right] \div 1000 \qquad (7)$$

onde,

G - Quantidade de alumínio relacionado à unidade funcional adotada (= 40,83 kg);
H - Relação entre a necessidade do recurso natural (= 1,908) e para a produção do alumínio (= 1,000) (VALT, 2004);
$\mathbf{t_{RA}}$ – Taxa de reciclagem da latas de alumínio (= 90%).

O valor de ***G*** foi obtido multiplicando-se a massa de uma lata de alumínio (14,29 g) pelo número de latas necessárias para envasar 1000 L de refrigerante (2857 latas).

Nos processos de laminação, produção e lavagem das latas, os fatores de correção foram calculados de acordo com a relação:

$$F_p = G \div 1000 \quad (8)$$

Na etapa de reciclagem das latas de alumínio, utilizou-se da relação:

$$F_p = G \times t_{RA} \div 1000 \quad (9)$$

Os fatores de correção para produção para os processos da ACV das latas de Alumínio estão ilustrados na Tabela 12 .

Tabela 12 – Fatores de correção para produção de latas de ALUMÍNIO com taxa de reciclagem de 90%

Processo	Fator de correção (F_p)	Produção (kg)
Extração matérias-primas e produção de alumina	**0,0078**	**7,79**
Eletrólise e fundição	**0,0041**	**4,08**
Laminação	**0,0408**	**40,83**
Produção das latas	**0,0408**	**40,83**
Lavagem das latas	**0,0408**	**40,83**
Reciclagem das latas	**0,0367**	**36,75**

Fator de correção da produção para as garrafas de PET

Para estudo do ciclo de vida das garrafas de PET, os cálculos dos fatores de correção, relacionados aos processos de produção das garrafas, foram calculados seguindo a relação:

$$F_p = [(I \times J) - (I \times J \times t_{RP})] \div 1000 \quad (10)$$

onde,

I - Quantidade de resina de PET relacionada à unidade funcional (= 25 kg);
J - Relação entre a necessidade do recurso natural (1,65 para extração e refino do petróleo) e para a fabricação da resina de PET (1,00) (VALT, 2004);
$\mathbf{t_{RP}}$ – taxa de reciclagem das garrafas de PET.

O valor **I** foi obtido multiplicando o número de garrafas necessárias para envasar 1000 L de refrigerante (500 garrafas) pela quantidade de resina de PET presente em uma garrafa de PET de 2 L (50 g).

O fator de correção da produção relacionado à etapa de reciclagem foi calculado de acordo com a relação:

$$F_p = (I \times t_{RP}) \div 1000 \quad (11)$$

Para os processos de fabricação dos rótulos e das tampas, os fatores de correção foram calculados seguindo a relação:

$$F_p = K \times L \div 1000 \quad (12)$$

onde,

K - Número de rótulos e tampas relacionados à unidade funcional = 500. São necessárias 500 garrafas de PET com capacidade de 2 L cada para envasar 1000 L de refrigerante.
L - Massa de um rótulo (= 0,002 kg) ou de uma tampa (= 0,00286 kg).

Os fatores de correção para produção para os processos da ACV das garrafas de PET estão ilustrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Fatores de correção para produção de garrafas de PET com taxa de reciclagem de 40%

Processo	Fator de correção (F_p)	Produção (kg)
Extração do petróleo	**0,02475**	**24,75**
Destilação e refino	**0,02475**	**24,75**
Produção da resina até a produção da pré-forma	**0,01500**	**15,00**
Produção, preparação para envase e lavagem das garrafas	**0,02500**	**25,00**
Produção do rótulo	**0,00100**	**1,00**
Produção da tampa	**0,00143**	**1,43**
Reciclagem das garrafas	**0,01000**	**10,00**

3.5 Elaboração da matriz de aspectos ambientais

A seleção dos aspectos ambientais e a divisão em grupos utilizados na identificação e quantificação dos impactos ambientais, de cada processo produtivo estudado, foram baseadas considerando-se a sua importância e magnitude em relação aos potenciais efeitos que provocam sobre o meio ambiente.

O desenvolvimento da matriz de aspectos ambientais foi feito mediante a identificação das variáveis mais importantes do ciclo de vida do produto.

Analogamente aos procedimentos anteriores, foram considerados todos os processos do ciclo de vida das embalagens estudadas.

Os aspectos ambientais levantados neste estudo foram divididos em cinco grupos. Os grupos e aspectos utilizados em todos os processos estão indicados no Quadro 3.

Quadro 3 – Aspectos ambientais definidos para o estudo

Grupo	Aspectos ambientais
Recursos naturais	Matérias-primas e insumos utilizados, consumo de água.
Recursos energéticos	Consumo de energia elétrica e térmica (associada ao vapor de caldeira), consumo de combustível.
Emissões atmosféricas	Emissão de VOC´s e gases de combustão, CO_x, NO_x, SO_x, NH_3, N_2O, material particulado.
Efluentes líquidos	Água de lavagem, água de sistemas de utilidades (resfriamento).
Resíduos sólidos	Geração e descarte de materiais sólidos, perdas de produto, cinzas, embalagens secundárias.

3.6 Simulação dos processos utilizando software Umberto

Após o levantamento das informações necessárias ao desenvolvimento do estudo, realizou-se a compilação das mesmas com o uso do software Umberto.

O software utilizado foi o de versão 4.1 educacional, desenvolvido pelo IFU – Hamburg GmbH, da Alemanha.

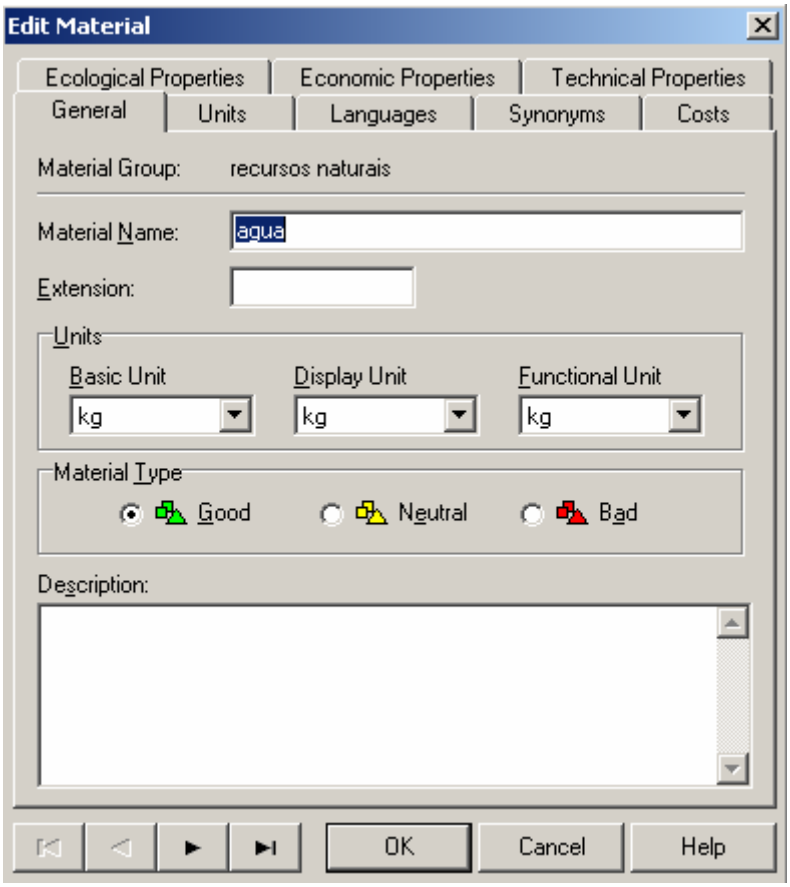
Primeiramente foram definidas as variáveis que seriam utilizadas nos processos estudados, como água, energia, emissões (VOC's, COx, NOx, SOx), entre outros, conforme descrito no Quadro 3 – Aspectos ambientais definidos para o estudo.

A definição das variáveis envolvidas em cada uma das etapas dos fluxos pré-estabelecidos, bem como os valores pertinentes a cada uma delas, foram introduzidos no software, de acordo com as matrizes de aspectos ambientais já definidas no estudo.

As variáveis foram classificadas e identificadas de acordo com o grau de impacto ao meio ambiente. Em caso de uma variável sem impacto negativo, como a água, esta foi identificada com o ícone verde (“good”). Para variáveis inertes, o ícone amarelo (“neutral”) e para emissões, como CO, por exemplo, estas foram identificadas com o ícone vermelho (“bad”).

A Figura 17 ilustra o quadro de definição e caracterização das variáveis utilizadas pelo software.

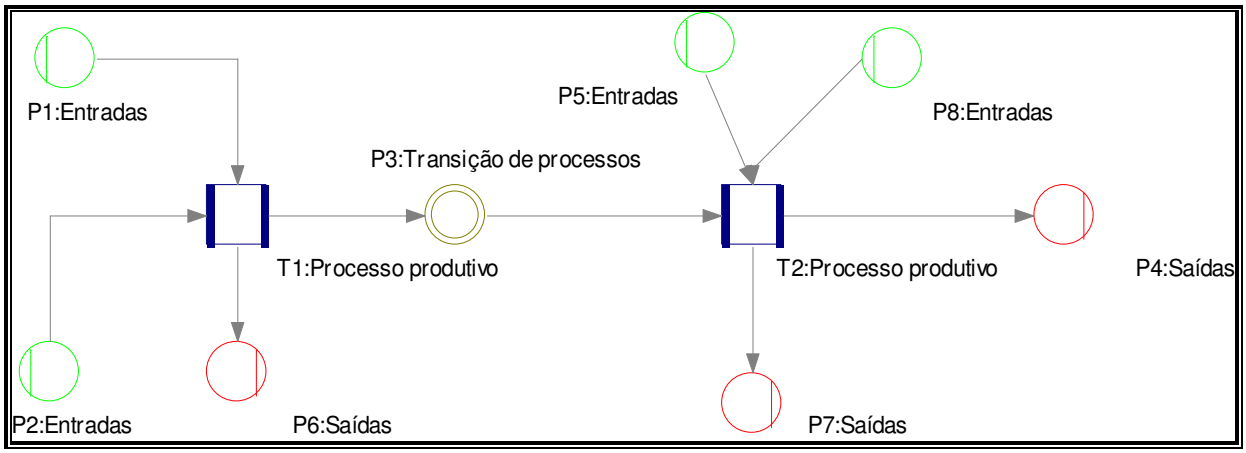
Figura 17 – Quadro de definição e caracterização das variáveis do sistema no software UMBERTO



Fonte: IFU, 2005

Definidas as variáveis, foi feita a modelagem de todos os fluxos dos processos produtivos do estudo das embalagens na forma de fluxogramas, como mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de um fluxo genérico com entradas e saídas em processos produtivos realizados com o UMBERTO



Fonte: IFU, 2005.

Os fluxos dos processos e matrizes de entradas e saídas para as embalagens estudadas, utilizando o Umberto, estão ilustrados no Capítulo 5.

O software é capaz de realizar cálculos de consistência dos dados alimentados, no sentido de que, a partir de uma base de cálculo (p.e., 1000 kg de embalagem), possa gerar um relatório conciso de balanço material e energético.

Todos os dados e informações obtidas nos estudos do Ciclo de Vida de cada embalagem foram transportados para o programa e estão ilustrados nas figuras apresentadas no ANEXOII.

Utilizando a unidade funcional adotada, comum aos três estudos de ACV, o software realiza um inventário, contendo todas as informações necessárias para o estudo comparativo entre as três embalagens.

Para o estudo comparativo, o software permite fazer uma análise dos resultados do inventário.

O software foi utilizado para corroborar os resultados calculados em planilha eletrônica, descritos no item 3.4, além de demonstrar uma ferramenta alternativa para estudos de ciclo de vida de produtos.

3.7 Análise comparativa dos resultados

A análise dos dados obtidos, as comparações entre os estudos de ACV das três embalagens, foram realizadas com o auxílio do software Umberto.

Os dados coletados durante o trabalho de campo e na literatura foram analisados qualitativamente e quantitativamente.

A análise qualitativa referiu-se à identificação dos aspectos ambientais associados aos processos produtivos das embalagens, como descrito na seção 3.5.

Para realização da avaliação quantitativa, referente aos impactos ambientais, todas as variáveis definidas no estudo foram calculadas em uma mesma base de cálculo, tomando-se sempre como referência a unidade funcional estabelecida, conforme descrito na seção 3.6.

Após a elaboração de todos os fluxos de processos e, de acordo com as variáveis estabelecidas no estudo, calculou-se o balanço global, material e energético, para todos os processos do estudo de ACV das embalagens.

Os resultados obtidos permitiram estimar e comparar quais impactos ambientais seriam mais significativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no estudo são apresentados neste capítulo conforme a seqüência sugerida pela ACV.

A primeira parte refere-se à identificação das fronteiras dos sistemas estudados. Em seguida são apresentados os aspectos ambientais identificados (estudo qualitativo) e a quantificação dos mesmos. A etapa de avaliação dos aspectos e impactos vem a seguir. Finalmente, a interpretação, discussão dos resultados e as considerações finais são apresentadas.

4.1 Identificação das fronteiras dos sistemas

Para a realização de um estudo, o mais completo possível, foram levados em consideração todos os processos envolvendo o ciclo de vida de embalagens utilizadas na indústria para envase de refrigerantes. O procedimento utilizado foi o mesmo para os três tipos de embalagens estudadas.

Por existir um grande número de variáveis envolvidas, como as matérias-primas e resíduos gerados nos diferentes processos, foram considerados neste trabalho apenas as mais significativas em termos de massa. O valor sugerido foi de 1,0 grama ou 0,0001 kg, que foi a unidade adotada nas planilhas de cálculo. Por essa razão todos os valores foram apresentados com quatro casas decimais.

Não foram considerados os filmes plásticos, engradados e outros materiais utilizados no transporte e venda, bem como a etapa de envase do refrigerante. O objetivo do estudo referiu-se às embalagens propriamente ditas e não ao processo de envase do produto (refrigerante) e os diferentes modos de distribuição e venda.

Uma das preocupações e dificuldades encontradas foi em estabelecer quais processos de todo o ciclo de vida da embalagem deveria ser considerado no estudo. O risco seria estudar um processo correspondente ao processo de produção do refrigerante e não de sua embalagem.

Uma outra consideração que deve ser feita é com relação às informações levantadas e dados coletados. Os processos produtivos diferem entre as empresas e indústrias do setor. Alguns dados e informações também podem variar de acordo com o sistema estabelecido e suas fronteiras.

Baseados nessa informação, o presente estudo referiu-se ao estudo de ACV das embalagens propostas de acordo com os sistemas e fronteiras pré-estabelecidos, conforme proposto no capítulo anterior, ou seja, envolvendo quatro fases principais: produção das embalagens (desde a extração das matérias-primas até a embalagem pré-pronta (como a pré-forma de PET)), a fase de envase, restrita aos processos de preparação da embalagem para receber o refrigerante, como lavagem, e geração de efluentes; a fase dos transportes entre os processos e a fase de destino final (relacionando aqui os processos de reciclagem das embalagens pós-consumo).

Os sistemas e definição das fronteiras estabelecidas para este estudo foram identificados e ilustrados na Figura **13**, Figura **14** e Figura **15** no capítulo anterior.

4.2 Dados coletados e Análise do inventário

A primeira parte desta fase foi identificar os principais aspectos ambientais relevantes ao estudo.

Para este estudo foram considerados seis principais grupos de aspectos ambientais: recursos naturais e matérias-primas secundárias, recursos energéticos, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados.

Os principais aspectos ambientais, bem como os processos relativos aos mesmos estão representados nos Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6, respectivamente ao ciclo das garrafas de vidro, latas de alumínio e garrafas de PET.

Quadro 4 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida das garrafas de VIDRO

PROCESSOS	ETAPAS DO CICLO DE VIDA				
	Fabricação do vidro	Produção das garrafas	Lavagem das garrafas	Produção das tampas	Disposição/ Reciclagem
Extração de recursos naturais e uso matérias primas secundárias, consumo de água.	Extração de areia, calcário, dolomita, feldspato, barrilha, uso de GLP, NaOH, NaCl, óleo, etapas de lavagem e resfriamento.	Fabricação de vidro fundido, uso de GLP, óleo, lavagem de equipamentos.	Consumo de óleo, processo de lavagem das garrafas.	Fabricação de chapa metálica, uso de PVC, cromo e óxido de cromo, tinta, verniz, lavagem do minério, lâminas e equipamento.	Geração de cacos de vidro, consumo de óleo, NaCl, etapas de lavagem do vidro.
Consumo de energia elétrica e térmica.	Misturador, transporte, tratores e escavadeiras.	Soprador, resfriador, transporte.	Lavador, esteiras, transporte.	Moedor, filtros, misturador, laminador, máquina de corte, transporte.	Prensa, esteira, transporte.
Emissão de efluentes líquidos.	Água de lavagem.	Água de lavagem, óleo.	Água de lavagem.	Água de lavagem.	Água de lavagem.
Emissões atmosféricas.	Gases e MP de combustão, HCl, N_2O, NH_3, VOC's.	Gases e MP de combustão.	Gases e MP de combustão.	Gases e MP, butanol, butilglicol, CF_4, C_2F_6, HF, VOC's.	Gases e MP de combustão, HCl, N_2O, NH_3, VOC's.
Geração de resíduos sólidos (mineral, industrial e inerte).	$CaCO_3$, lodo, perdas do processo, plástico e papelão.	Perdas do processo.		Cinzas, perdas do processo, escórias, plástico e papelão.	Lodo de lavagem, perdas do processo, plástico e papelão.

Quadro 5 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO

PROCESSOS	ETAPAS DO CICLO DE VIDA					
	Extração da bauxita e produção da alumina	Fundição	Laminação	Produção das Latas	Lavagem das Latas	Disposição/ Reciclagem
Extração de recursos naturais e uso matérias primas secundárias, consumo de água.	Bauxita, sal, NaOH, óleo, agente floculante; lavagem da bauxita.	Alumina, óleo, aço, $Al(OH)_3$, AlF_2, H_2SO_4, coque, lavagem equipamentos.	Lingotes, óleo, cloreto, lavagem das placas.	Lâminas, óleo, produtos químicos de lavagem, resina, tinta, verniz.	Latas, óleo, lavagem das latas.	Latas descartadas óleo
Consumo de energia elétrica e térmica.	Equipamentos de moagem, filtração e precipitadores, transporte, escavadeiras e caldeira	Eletrólise, picador e transporte	Equipamento de laminação e transporte	Máquina de corte e fixação da tampa, transporte	Lavador, transporte	Prensas, esteiras, transporte
Emissão de efluentes líquidos.	Água de lavagem	Água de lavagem das cubas	Água de lavagem das placas	Água de lavagem e solventes	Água de lavagem	Água de lavagem
Emissões atmosféricas.	Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's, vapores dos banhos, CO e CO_2 da eletrólise	Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's, solventes	Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's
Geração de resíduos sólidos (mineral, industrial e inerte).	Óleo misturado ao solo, lodo de lavagem da bauxita, plástico e papelão	Carbono dos eletrodos, limpeza das cubas, plástico e papelão	Óleo de corte, perdas do processo, resíduo de lavagem, plástico e papelão	Cinzas, óleo de corte, tinta, madeira		Plástico, metais

Quadro 6 – Processos e aspectos ambientais considerados no ciclo de vida de garrafas de PET

PROCESSOS	ETAPAS DO CICLO DE VIDA							
	Extração do Petróleo	Refino	Fabricação da resina	Produção da pré-forma	Fabricação da Garrafa	Produção dos rótulos	Produção das tampas	Reciclagem
Extração de recursos naturais e uso matérias primas secundárias, consumo de água.	Petróleo e óleo diesel, extração do petróleo	Petróleo e óleo diesel, caldeira e resfriamento	MEG, DMT e óleo diesel, resfriamento e lavagem	Resina de PET e óleo, resfriamento	Preforma e óleo, lavagem	PEBD e óleo, resfriamento e lavagem	PP, PVC e óleo, lavagem	Garrafas descartadas e óleo, moagem, lavagem e enxágüe
Consumo de energia elétrica e térmica.	Perfuração, injeção de água e transporte	Destilação, caldeira e transporte	Caldeira, equipamentos e transporte	Equipamentos caldeira e transporte	Equipamentos caldeira e transporte	Caldeira, equipamentos e transporte	Caldeira, equipamentos e transporte	Equipamentos e transporte
Emissão de efluentes líquidos.	Água de extração	Água de resfriamento e aquecimento	Água de lavagem e de reação	Água de lavagem e resfriamento	Água de lavagem	Água de lavagem e resfriamento	Água de lavagem	Água de lavagem
Emissões atmosféricas.	Gases de combustão, VOC's (processo e transporte)	Gases de combustão, VOC's (processo e transporte)	Gases e MP de combustão e de processos de polimerização	Gases de combustão	Gases de combustão	Gases de combustão e polimerização	Gases de combustão e polimerização	Gases e MP da combustão
Geração de resíduos sólidos (mineral, industrial e inerte).	Solo, óleo e solo, plástico e papelão	Resíduo de destilação, perda de produto	Cinzas, perda de produto, plástico e papelão	Cinzas, perda de produto, plástico e papelão	Cinzas, perda de produto, plástico e papelão	Cinzas, perda de produto, lama, plástico e papelão	Cinza, solo, perda de produto e lama	Cinza, perda de produto e pó, tampas, rótulos e material estranho

A segunda parte trata das informações obtidas e coletadas para a realização deste estudo. As informações e dados de um determinado processo de produção foram obtidas por meio de entrevistas com operadores e responsáveis de área. As demais informações, incluindo as que não constam dos formulários de coleta de dados, foram estimadas por meio de modelos apresentados em literatura especializada.

Um fato importante que deve ser considerado é que a natureza da escolha e suposições que são feitas em estudos de ACV (por exemplo, as fronteiras do sistema, seleção das fontes de dados e categorias de impacto) na maioria dos casos é subjetiva. Isso equivale a dizer que os modelos usados podem ser limitados a um espaço temporal pré-definido ou uma condição local.

Analisando os Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6, percebe-se que o consumo de recursos energéticos está principalmente associado ao transporte e à geração de vapor em caldeiras.

Com relação aos sistemas de transporte, a quantidade de emissões atmosféricas geradas pelo transporte ferroviário, em kg/km rodado, é aproximadamente três vezes superior ao transporte rodoviário (Tabela 5). Por outro lado, a capacidade de transporte no sistema ferroviário é doze vezes superior comparado ao sistema rodoviário (Quadro 2). Assim, utilizando uma mesma unidade funcional, o transporte ferroviário gera uma menor quantidade de emissões quando comparado ao sistema rodoviário, sendo muito mais vantajoso o uso deste sistema (ferroviário), do ponto de vista ambiental.

O elevado consumo de energia elétrica está relacionado fundamentalmente ao funcionamento dos equipamentos.

As etapas que envolvem os processos de lavagem são as principais responsáveis pelo elevado consumo de água e geração de efluentes dos processos, quando comparadas às demais etapas dos ciclos de vida das embalagens. Isso ocorre devido ao fato de que para realizar total limpeza da embalagem, todo seu conteúdo (volume) é preenchido com água e depois descartado. Todo esse volume de água é direcionado às estações de tratamento de águas residuárias.

A queima de combustíveis nos processos que deles se utilizam é a principal fonte de emissões atmosféricas e gera os poluentes CO_2, CO, NO_x, SO_2, VOC's, particulados, entre outros.

As perdas de produtos, embalagens secundárias, cinzas de queimas de combustíveis são os exemplos mais característicos dos resíduos sólidos gerados.

A última parte desta etapa consistiu na quantificação dos aspectos ambientais referentes aos processos do ciclo de vida das três embalagens estudadas.

O Quadro 7, Quadro 8 e Quadro 9 indicam os balanços de massa e de energia para os processos do ciclo de vida das embalagens estudadas.

Os valores apresentados nestes quadros são referentes à produção de 1000 kg de produto, conforme mostrado na última linha da planilha.

As colunas da esquerda nas planilhas dos balanços apresentam as variáveis obtidas através dos formulários apresentados no Anexo I. As informações que não constam dos formulários e que aparecem nas planilhas foram obtidas na literatura. Como exemplo pode-se citar a presença de amônia nos resíduos líquidos, elemento característico deste tipo de água residuária.

As colunas em destaque referem-se ao balanço normalizado para a unidade funcional adotada, obtida pela multiplicação dos resultados do balanço de massa pelos fatores de correção calculados para cada processo associado.

A observação acima é válida para as três embalagens estudadas.

Quadro 7 - Balanço material e de energia para o ciclo de vida das GARRAFAS DE VIDRO com taxa de reciclagem de 25% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante

GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000L DE REFRIGERANTE (kg)											
(os dados da coluna da esquerda estão de acordo com a base de cálculo estabelecida e a coluna em destaque são os dados normalizados na unidade funcional adotada)											
		FABRICAÇÃO VIDRO		PRODUÇÃO GARRAFA		LAVAGEM		TAMPA		RECICLAGEM	
RECURSOS NATURAIS											
	ÁGUA	101,0000	3,6057	89,4000	4,2554	430,0000	572,6310	47,8700	0,3925	294,8000	3,5081
	AREIA	712,0500	25,4202								
	BARRILHA	82,0000	2,9274								
	CALCÁRIO	70,7000	2,5240								
	MINÉRIO							1050,0000	8,6100		
	DOLOMITA	85,8500	3,0648								
	LENHA			10,4000	0,4950					27,7600	0,3303
	FELDSPATO	141,4000	5,0480								
	ENERGIA (MJ)	38000,0000	1356,6000	820,0000	39,0320	1524,0000	2029,5108	1220,0000	10,0040	17100,0000	203,4900
TOTAL		**1193,0000**	42,5901	**99,8000**	4,7505	**430,0000**	572,6310	**1097,8700**	9,0025	**322,5600**	3,8385
MATÉRIA-PRIMA SECUND.											
	PVC							131,0000	1,0742		
	VIDRO			1100,0000	52,3600						
	GARRAFA					1000,0000	1331,7000				
	GLP	2,3900	0,0853	5,2000	0,2475						
	METAIS	0,0030	0,0001								
	ÓLEO CRU	10,1000	0,3606							2,4900	0,0296
	ÓXIDO DE CROMO							12,5700	0,1031		
	VERNIZ/TINTA							20,3200	0,1666		
	ÓLEO DIESEL	23,6600	0,8447	37,7500	1,7969	9,4600	12,5979	222,8200	1,8271	10,4400	0,1242
	GARRAFA/CACOS									1052,0000	12,5188
	NaCl	45,7500	1,6333							9,6900	0,1153
	NaOH	219,2000	7,8254								
TOTAL		**301,1030**	10,7494	**1142,9500**	54,4044	**1009,4600**	1344,2979	**386,7100**	3,1710	**1074,6200**	12,7880
	TOTAL ENTRADAS	**1494,1030**	53,3395	**1242,7500**	59,1549	**1439,4600**	1916,9289	**1484,5800**	12,1736	**1397,1800**	16,6264

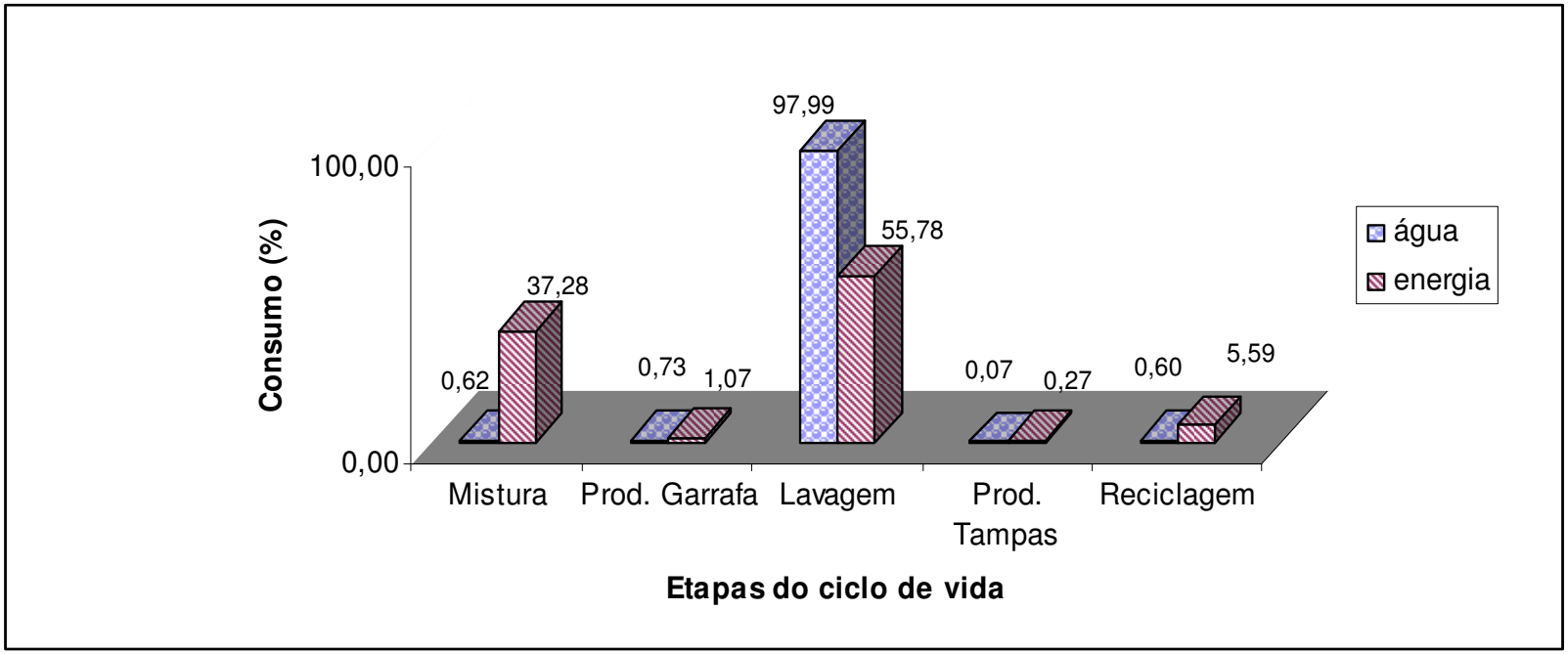
(continua)

(continuação)

		FABRICAÇÃO VIDRO		PRODUÇÃO GARRAFA		LAVAGEM		TAMPA		RECICLAGEM	
EMISSÕES											
Atmosféricas	**CO**	0,8980	0,0321	0,8690	0,0414	0,8980	1,1959	5,1500	0,0422	0,2860	0,0034
	CO_2	8,2700	0,2952	28,1000	1,3376	18,0200	23,9972	157,0000	1,2874	5,6600	0,0674
	HCl	0,0100	0,0004							0,0008	0,0000
	N_2O	0,0005	0,0000							0,0001	0,0000
	NH_3	0,0377	0,0013							0,0066	0,0001
	VOC	0,0704	0,0025					0,0600	0,0005	0,0342	0,0004
	NO_2			0,0765	0,0036					0,0180	0,0002
	NO_X	0,8953	0,0320	0,6776	0,0323	0,3023	0,4026	4,7700	0,0391	0,2230	0,0027
	MP	20,7500	0,7408	0,1176	0,0056	0,1470	0,1958	6,8459	0,0561	1,0700	0,0127
	SO_2	0,1300	0,0046	0,0803	0,0038	0,0506	0,0674	1,4971	0,0123	0,0146	0,0002
	HC	0,0411	0,0015	0,1390	0,0066	0,0421	0,0561	0,8570	0,0070	0,0267	0,0003
TOTAL		**31,1030**	1,1104	**30,0600**	1,4309	**19,4600**	25,9149	**176,1800**	1,4447	**7,3400**	0,0873
EFLUENTES											
Líquidos	**ÁGUAS RESIDUÁRIAS**	101,0000	3,6057	89,4000	4,2554	420,0000	559,3140	49,4000	0,4051	294,8000	3,5081
	NaOH	0,5500	0,0196								
	NH_3	10,8000	0,3856							4,6700	0,0556
TOTAL		**112,3500**	4,0109	**89,4000**	4,2554	**420,0000**	559,3140	**49,4000**	0,4051	**299,4700**	3,5637
RESÍDUOS											
Sólidos	**CINZAS**	49,6500	1,7725							0,4900	0,0058
	INDUSTRIAL	255,0000	9,1035	123,2900	5,8686			184,0000	1,5088	86,8100	1,0330
	MINERAL	10,2000	0,3641								
	INERTE	35,8000	1,2781					75,0000	0,6150	3,0700	0,0365
TOTAL		**350,6500**	12,5182	**123,2900**	5,8686	**0,0000**	0,0000	**259,0000**	2,1238	**90,3700**	1,0754
	TOTAL SAÍDAS	**494,1030**	17,6395	**242,7500**	11,5549	**439,4600**	585,2289	**484,5800**	3,9736	**397,1800**	4,7264
BALANÇO GLOBAL											
	ENTRADAS	1494,1030	53,3395	1242,7500	59,1549	1439,4600	1916,9289	1484,5800	12,1736	1397,1800	16,6264
	SAÍDAS	494,1030	17,6395	242,7500	11,5549	439,4600	585,2289	484,5800	3,9736	397,1800	4,7264
	TOTAL	1000,0000	35,7000	1000,0000	47,6000	1000,0000	1331,7000	1000,0000	8,2000	1000,0000	11,9000

Em relação aos recursos naturais, os resultados no Quadro 7 indicam que o maior consumo de água (97,9%) e de energia (55,8%) de todo o ciclo de vida do produto está associado à etapa de lavagem da embalagem, envolvendo os processos de preparação da embalagem para receber o refrigerante. A Figura 19 ilustra o consumo de água e energia no ciclo de vida das garrafas de vidro.

Figura 19 – Consumo de água e de energia no ciclo de vida das garrafas de VIDRO



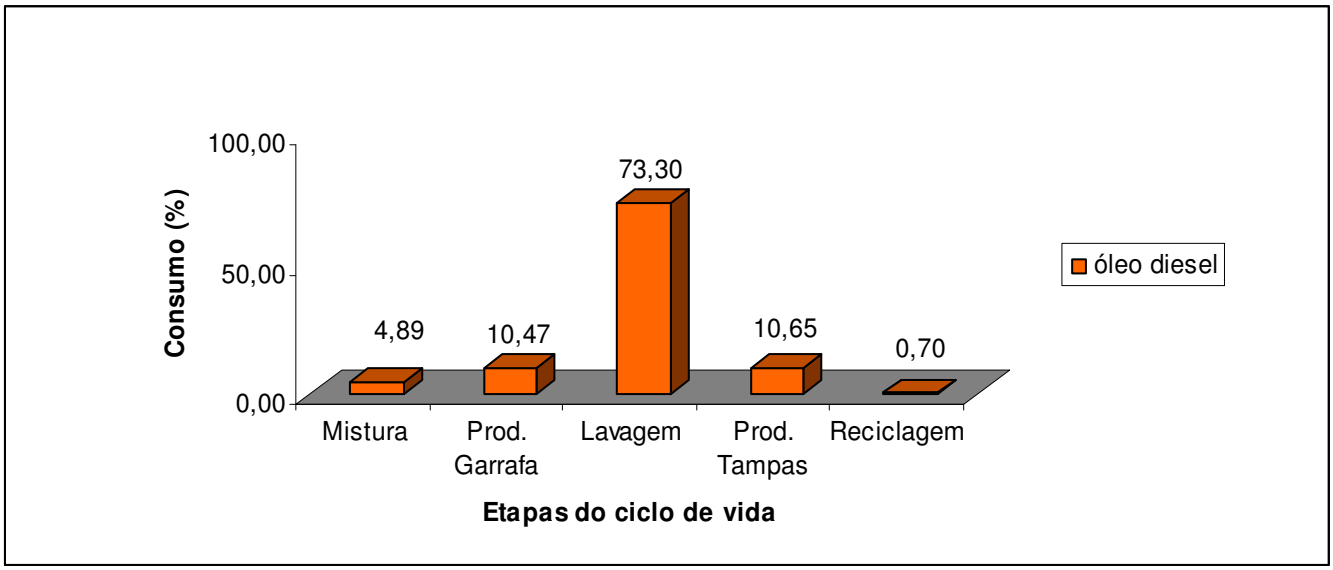
Os resultados indicam ainda que a grande parte dos recursos naturais são utilizados nos processos de fabricação do vidro. Com relação ao consumo de energia, utilizada para o transporte e o processamento dos materiais, os resultados indicam que são utilizados 2029,5 MJ (55,8%) na lavagem e preparação da embalagem para o envase; 1356,6 MJ (37,3%) na fabricação do vidro; 203,5 MJ (5,6%) na reciclagem; 39,03 MJ (1,1%) na produção das garrafas e 10,0 MJ (0,3%) na produção das tampas.

Os demais materiais mostrados no grupo recursos naturais referem-se àqueles utilizados na fabricação do vidro.

A partir dos resultados indicados no Quadro 7 pode-se observar que é consumido um total de 17,2 kg de óleo diesel em todos os processos de fabricação, utilização e destinação das garrafas de vidro. Deste total, 73,3% estão associados aos processos de lavagem e preparação das garrafas para envase. O restante está associado às etapas de produção das tampas (10,6%), produção das garrafas (10,5%), fabricação do vidro (4,9%) e reciclagem (0,7%).

O maior consumo de óleo diesel no processo de lavagem e preparação das garrafas para envase reside no fato de que as garrafas de vidro são produzidas no Estado de São Paulo e a lavagem e preparação para o envase do refrigerante ocorre no Estado do Paraná. Assim, deve-se levar em consideração o transporte dessas embalagens até a unidade fabril de refrigerantes, o qual é feito por caminhões movidos a óleo diesel. A Figura 20 ilustra o consumo de óleo diesel no ciclo de vida das garrafas de vidro.

Figura 20 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das Garrafas de VIDRO

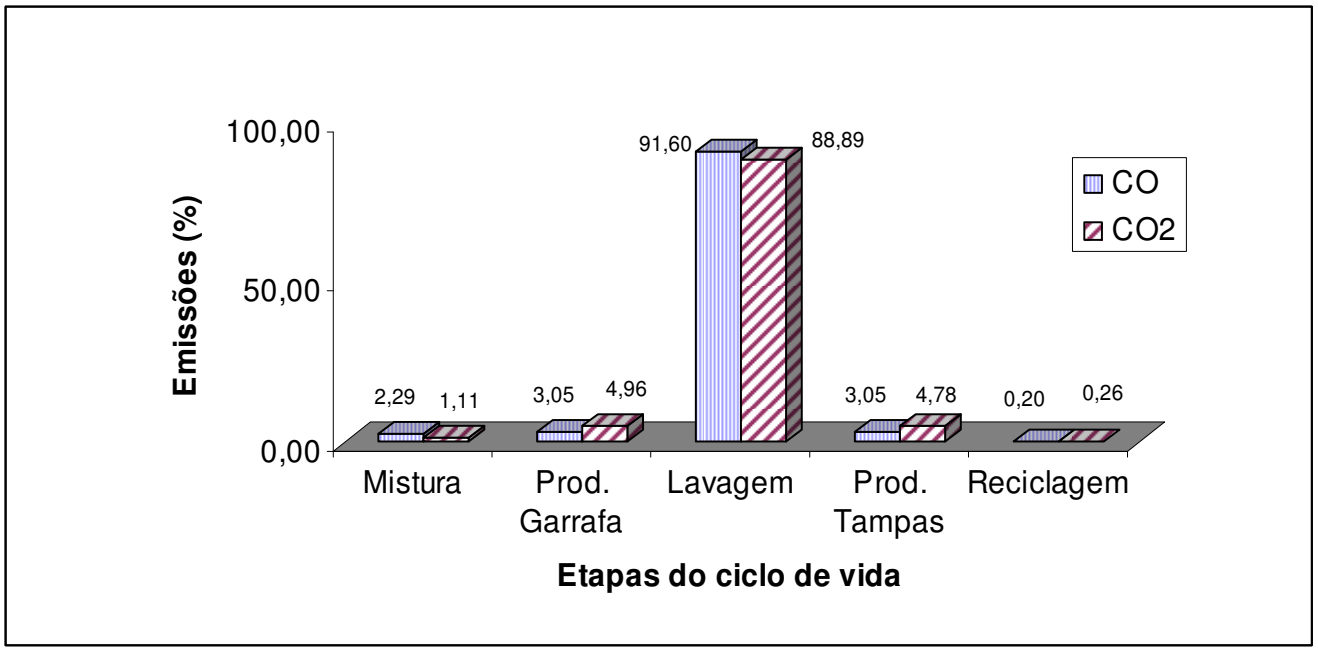


Com relação às emissões atmosféricas, essas são causadas principalmente pela queima de combustíveis, como o óleo diesel, utilizado nas etapas de transporte. Observando os resultados do Quadro 7, as quantidades de gases promotores de efeito estufa gerados no ciclo de vida da garrafa de vidro são maiores nos processos relacionados à etapa de lavagem e preparação da embalagem para envase do refrigerante. A maior emissão ocorre não nos processos de lavagem das embalagens propriamente ditos, mas no transporte da embalagem até a unidade fabril de refrigerantes. Em todo o ciclo de vida da garrafa de vidro são gerados 1,32 kg de CO. Desse total, 1,19 kg (91,5%) estão relacionados à etapa de lavagem; 0,042 kg (3,1%) são emitidos na fabricação das tampas; 0,041 kg (3,1%) na produção das garrafas; 0,03 kg (2,3%) na fabricação do vidro e apenas 0,003 kg (0,2%) na reciclagem.

Os resultados indicam ainda que são gerados 26,9 kg de CO_2 no ciclo de vida dessa embalagem de vidro. Na etapa de lavagem, são gerados 23,9 kg (88,9%) do total; 1,34 kg (4,9%) na produção das garrafas; 1,29 kg (4,8%) na produção das tampas; 0,29 kg (1,1%) na fabricação do vidro e 0,07 kg (0,2%) na

reciclagem. A mesma observação pode ser feita para as demais emissões, como SO_2, material particulado (MP), entre outros. A **Figura 21** ilustra as emissões de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de vidro.

Figura 21 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de VIDRO



Com relação às substâncias que causam problemas de acidificação (chuva ácida), como o SO_2 e NO_x, os resultados indicam que os processos de produção das tampas são os responsáveis pela maior parte da emissão dessas substâncias (84,5% do total para SO_2 e 69,5% para NO_x) para a base de cálculo de 1000 kg de produto produzido. Para a unidade funcional estabelecida para o estudo, a etapa de lavagem e preparação da embalagem é a que mais emite essas substâncias (76,3% do total para SO_2 e 79,1% para NO_x).

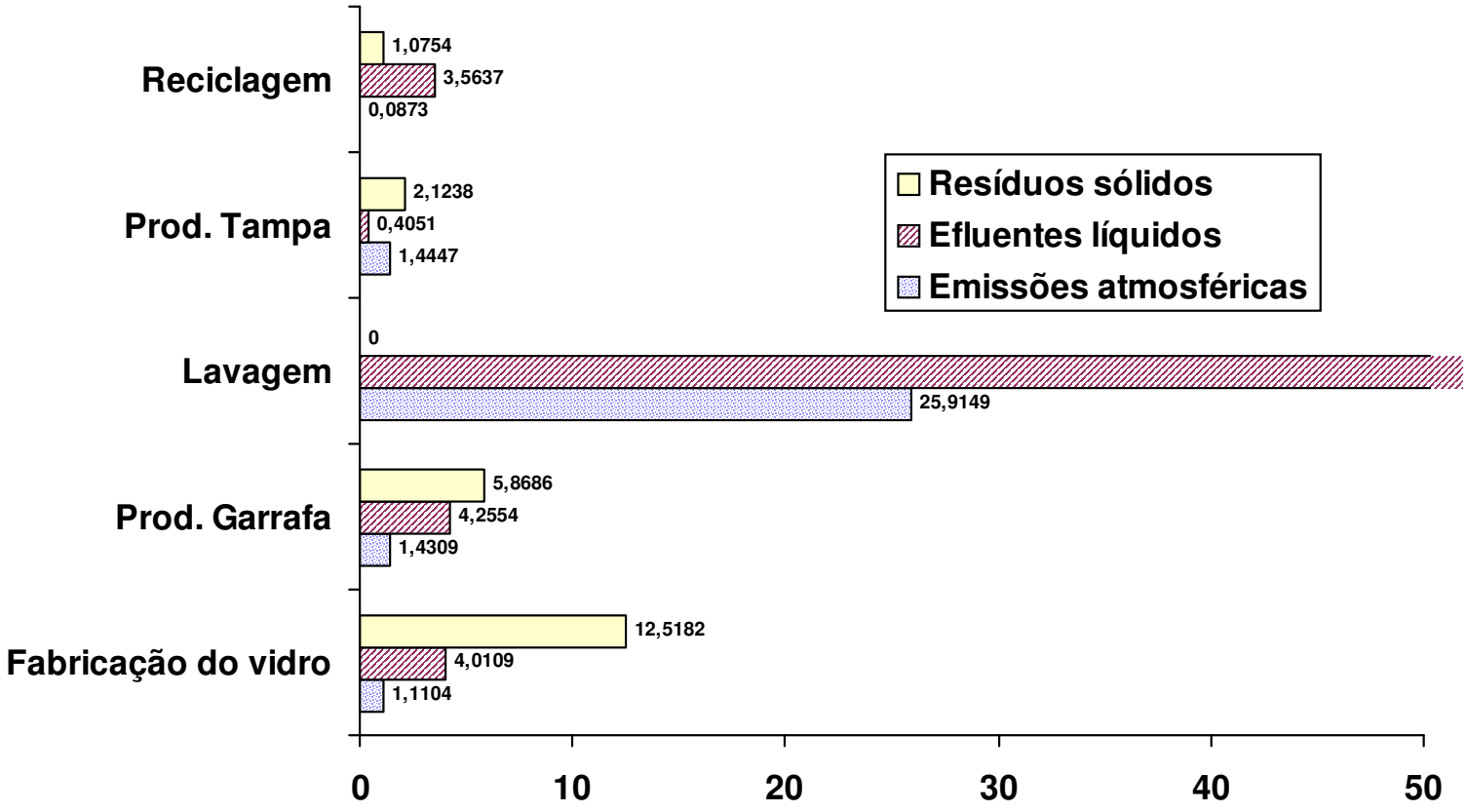
O maior consumo de água ocorre no processo de lavagem das garrafas de vidro. Assim, a geração de efluentes líquidos também é maior neste processo, somando 97,9% do total de água residuária gerada em todos os processos do ciclo de vida das garrafas. O Quadro 7 indica ainda que a quantidade de NH_3 , substância causadora do problema de eutrofização em corpos d'água, presente no efluente líquido gerado nos processos do ciclo de vida da garrafa está

concentrada na etapa de fabricação do vidro, com 87,4% do total. O restante é gerado na etapa de reciclagem.

A maior geração de resíduos sólidos ocorre durante os processos de fabricação do vidro e produção das garrafas, com 57,9% e 27,2%, respectivamente. Estes valores referem-se a perdas de produto durante seu processo de produção. A produção das tampas gera 9,8% do total de resíduos sólidos. A etapa de reciclagem gera 4,9% e na etapa de lavagem das garrafas não há geração de resíduos sólidos. A Figura 22 ilustra o total de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas gerados no ciclo de vida das garrafas de vidro.

Na seqüência, as informações no Quadro 8 apresentam os balanços de massa e energia para o ciclo de vida das latas de alumínio.

Figura 22 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Garrafas de Vidro (kg)



Quadro 8 - Balanço material e de energia para o ciclo de vida das LATAS DE ALUMÍNIO com taxa de reciclagem de 90% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante

LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 90% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000L DE REFRIGERANTE (os dados da coluna da esquerda estão de acordo com a base de cálculo estabelecida e a coluna em destaque são os dados normalizados na unidade funcional adotada)													
		PRODUÇÃO ALUMINA		ELETRÓLISE		LAMINAÇÃO		PRODUÇÃO LATAS		LAVAGEM		RECICLAGEM	
RECURSOS NATURAIS													
	AGUA	216,1700	1,6861	123,1400	0,5049	2,7400	0,1118			3000,0000	122,4000		
	VAPOR	127,0000	0,9906										
	BAUXITA	2500,0000	19,5000										
	CARBONO			268,5900	1,1012								
	CARVÃO			2,4000	0,0098								
	Mg			1,5000	0,0062								
	SAL	2,3900	0,0186										
	CRIOLITA			126,0000	0,5166								
	ENERGIA (MJ)	125700,0000	980,4600	147000,0000	602,7000	10500,0000	428,4000	6000,0000	244,8000	1248,0000	50,9184	13650,0000	500,9550
TOTAL		**2845,5600**	22,1954	**521,6300**	2,1387	**2,7400**	0,1118	**0,0000**		**3000,0000**	122,4000	**0,0000**	0,0000
MATÉRIA-PRIMA SECUND.													
	ALUMINA			1910,0000	7,8310								
	NaOH	140,0000	1,0920										
	LINGOTES					1100,0000	44,8800						
	LAMINAS							1152,1800	47,0089				
	LATAS									1032,0000	42,1056	1122,9500	41,2123
	OLEO DIESEL P/ PROCESSO	130,0000	1,0140	228,0000	0,9348	3,2200	0,1314	1,6700	0,0681				
	FLOCULANTE	1,0000	0,0078										
	AÇO			0,9840	0,0040								
	OLEO DIESEL	5,8251	0,0454	28,9047	0,1185	21,3351	0,8705	37,4000	1,5259	10,2951	0,4200	26,8400	0,9850
	$Al(OH)_3$			1,8880	0,0077								
	H_2SO_4			4,7440	0,0195								
	COQUE			132,0000	0,5412								
	PRODUTOS QUÍMICOS LAVAGEM							0,1480	0,0060				
	CLORETO					0,0040	0,0002						
	RESINA							10,0000	0,4080				
	TINTA							4,5000	0,1836				
	AlF_2			30,0000	0,1230								
	VERNIZ							5,5000	0,2244				
TOTAL		**276,8251**	2,1592	**2336,5207**	9,5797	**1124,5591**	45,8820	**1211,3980**	49,4250	**1042,2951**	42,5256	**1149,7900**	42,1973
	TOTAL ENTRADAS	**3122,3851**	24,3546	**2858,1507**	11,7184	**1127,2991**	45,9938	**1211,3980**	49,4250	**4042,2951**	164,9256	**1149,7900**	42,1973

(continua)

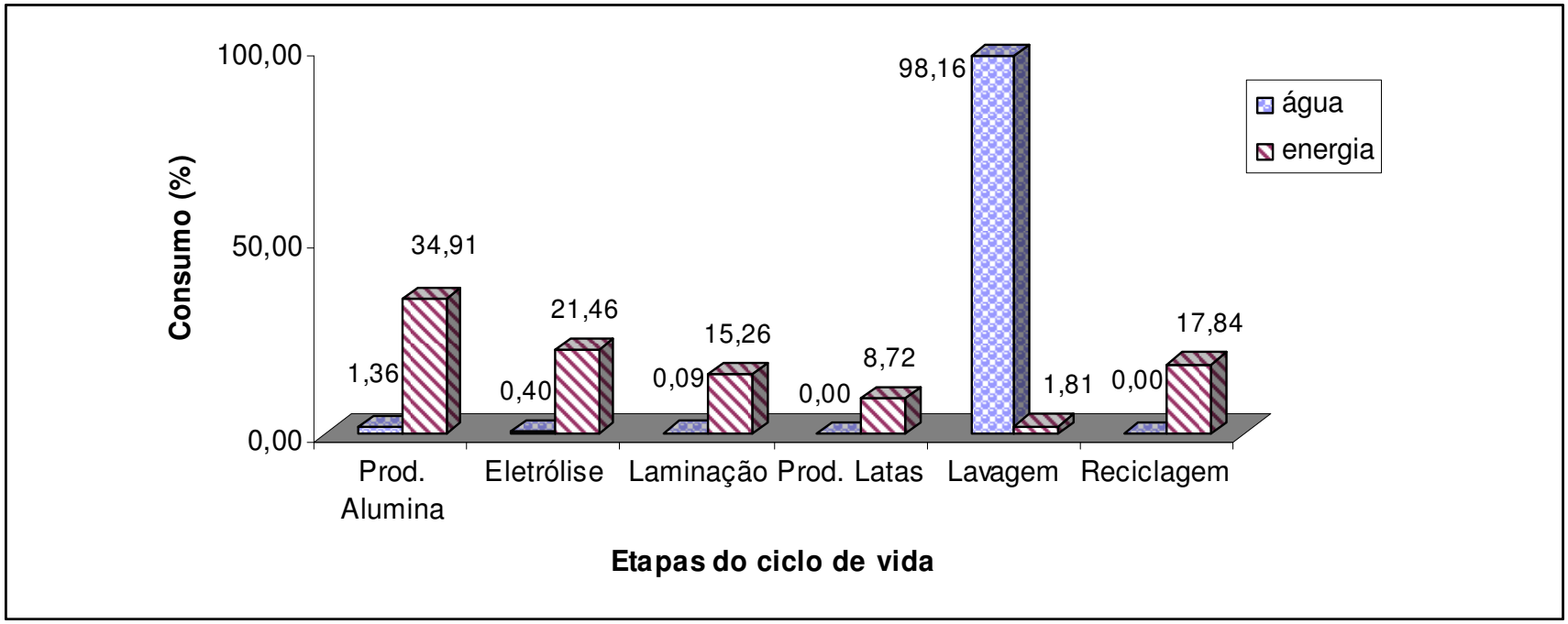
(continuação)

		PRODUÇÃO ALUMINA		ELETRÓLISE		LAMINAÇÃO		PRODUÇÃO LATAS		LAVAGEM		RECICLAGEM	
EMISSÕES													
Atmosf.	**BUTANOL**							0,0070	0,0003				
	BUTILGLICOL							0,0090	0,0004				
	CO	0,3500	0,0027	10,2314	0,0419	0,1830	0,0075	1,1600	0,0473	0,2530	0,0103	0,6380	0,0234
	CO_2	1,7400	0,0136	825,0000	3,3825	16,3000	0,6650	32,7000	1,3342	5,2000	0,2122	19,0000	0,6973
	C_2F_6			0,0070	0,0000								
	CF_4			0,0580	0,0002								
	HC	0,0100	0,0001	0,0249	0,0001	0,0810	0,0033	0,1620	0,0066	0,0259	0,0011	0,0946	0,0035
	HF			0,3650	0,0015			0,2870	0,0117				
	TINTA PINTURA							0,0370	0,0015				
	NO_X	0,0054	0,0000	0,0235	0,0001	0,4270	0,0174	0,5220	0,0213	0,1230	0,0050	0,4880	0,0179
	MP	16,1000	0,1256	0,0627	0,0003	0,2150	0,0088	0,4200	0,0171	0,0683	0,0028	0,2510	0,0092
	SO_2	0,0041	0,0000	0,0726	0,0003	0,0405	0,0017	0,0811	0,0033	0,0129	0,0005	0,0473	0,0017
	VOC	0,0276	0,0002	0,0033	0,0000	0,0074	0,0003	0,0040	0,0002			0,0200	0,0007
TOTAL		**18,2371**	0,1422	**835,8484**	3,4270	**17,2539**	0,7040	**35,3731**	1,4432	**5,6831**	0,2319	**20,5389**	0,7538
EFLUENTES													
Líquidos	**ÁGUAS RESIDUÁRIAS**	351,0000	2,7378	134,0000	0,5494	2,7000	0,1102			3000,0000	122,4000		
	NH_3	0,1480	0,0012	0,3023	0,0012			0,0949	0,0039				
TOTAL		**351,1480**	2,7390	**134,3023**	0,5506	**2,7000**	0,1102	**0,0949**	0,0039	**3000,0000**	122,4000	**0,0000**	0,0000
RESÍDUOS													
Sólidos	**CINZAS**			82,0000	0,3362							29,0500	1,0661
	INDUSTRIAL	1690,0000	13,1820	678,0000	2,7798	84,3452	3,4413	121,9300	4,9747	36,6120	1,4938	57,7011	2,1176
	MINERAL	12,0000	0,0936	128,0000	0,5248								
	INERTE	51,0000	0,3978			23,0000	0,9384	54,0000	2,2032			42,5000	1,5598
TOTAL		**1753,0000**	13,6734	**888,0000**	3,6408	**107,3452**	4,3797	**175,9300**	7,1779	**36,6120**	1,4938	**129,2511**	4,7435
	TOTAL SAÍDAS	**2122,3851**	16,5546	**1858,1507**	7,6184	**127,2991**	5,1938	**211,3980**	8,6250	**3042,2951**	124,1256	**149,7900**	5,4973
BALANÇO GLOBAL													
	ENTRADAS	3122,3851	24,3546	2858,1507	11,7184	1127,2991	45,9938	1211,3980	49,4250	4042,2951	164,9256	1149,7900	42,1973
	SAÍDAS	2122,3851	16,5546	1858,1507	7,6184	127,2991	5,1938	211,3980	8,6250	3042,2951	124,1256	149,7900	5,4973
	TOTAL	1000,0000	7,8000	1000,0000	4,1000	1000,0000	40,8000	1000,0000	40,8000	1000,0000	40,8000	1000,0000	36,7000

Em relação aos recursos naturais, os resultados no Quadro 8 indicam que o maior consumo de água (98,2%) em todo o ciclo de vida do produto está associado à etapa de lavagem da embalagem, envolvendo os processos de preparação da embalagem para receber o refrigerante. As etapas de produção e reciclagem das latas não consomem água.

Os resultados indicam ainda que a grande parte dos recursos naturais são utilizados nos processos de fabricação do alumínio. Com relação ao consumo de energia, utilizada para o transporte e o processamento dos materiais, os resultados indicam que são consumidos 2808,2 MJ. Deste total, 980,5 MJ (34,9%) são consumidos nos processos de produção da alumina; 602,7 MJ (21,5%) nos processos de eletrólise; 428,4 MJ (15,3%) nos processos de laminação; 244,8 MJ (8,7%) na produção das latas; 50,9 MJ (1,8%) nos processos de lavagem e preparação da embalagem para o envase e 500,9 (17,8%) na reciclagem das latas. A Figura 23 ilustra o consumo de água e energia no ciclo de vida das latas de alumínio.

Figura 23 – Consumo de água e energia no ciclo de vida das latas de ALUMÍNIO

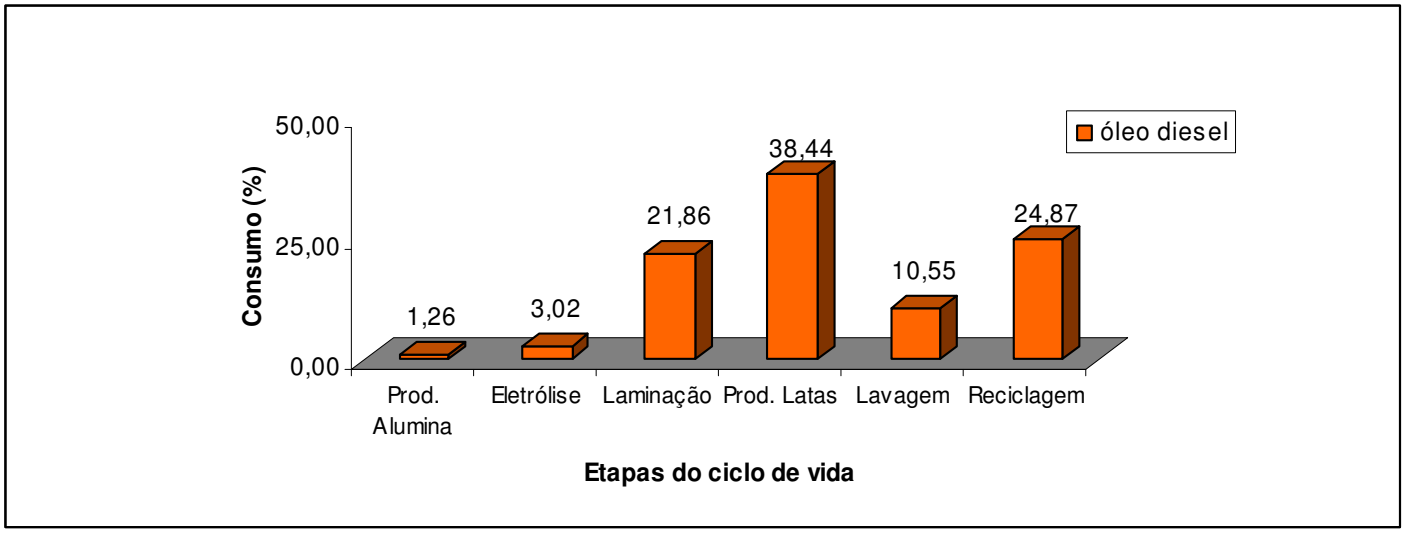


Os demais materiais mostrados no grupo recursos naturais referem-se àqueles utilizados na fabricação do alumínio, nos processos de produção da alumina e na eletrólise.

A partir dos resultados indicados no Quadro 8 pode-se observar que é consumido um total de 3,97 kg de óleo diesel em todos os processos de fabricação, utilização e destinação das latas de alumínio. Deste total, 38,4% estão associados aos processos de produção das latas. O restante está associado às etapas de reciclagem (24,8%), laminação (22,0%), lavagem e preparação para envase (10,6%), 3,0% na eletrólise e 1,3% na produção da alumina.

O maior consumo de óleo diesel no processo de produção das latas reside no fato de que as latas de alumínio são produzidas no Estado de São Paulo e a lavagem e preparação para o envase do refrigerante ocorre no Estado do Paraná. Assim, deve-se levar em consideração o transporte dessas embalagens até a unidade fabril de refrigerantes, o qual é feito por caminhões movidos a óleo diesel. A Figura 24 ilustra o consumo de óleo diesel no ciclo de vida das embalagens de alumínio.

Figura 24 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das latas de Alumínio



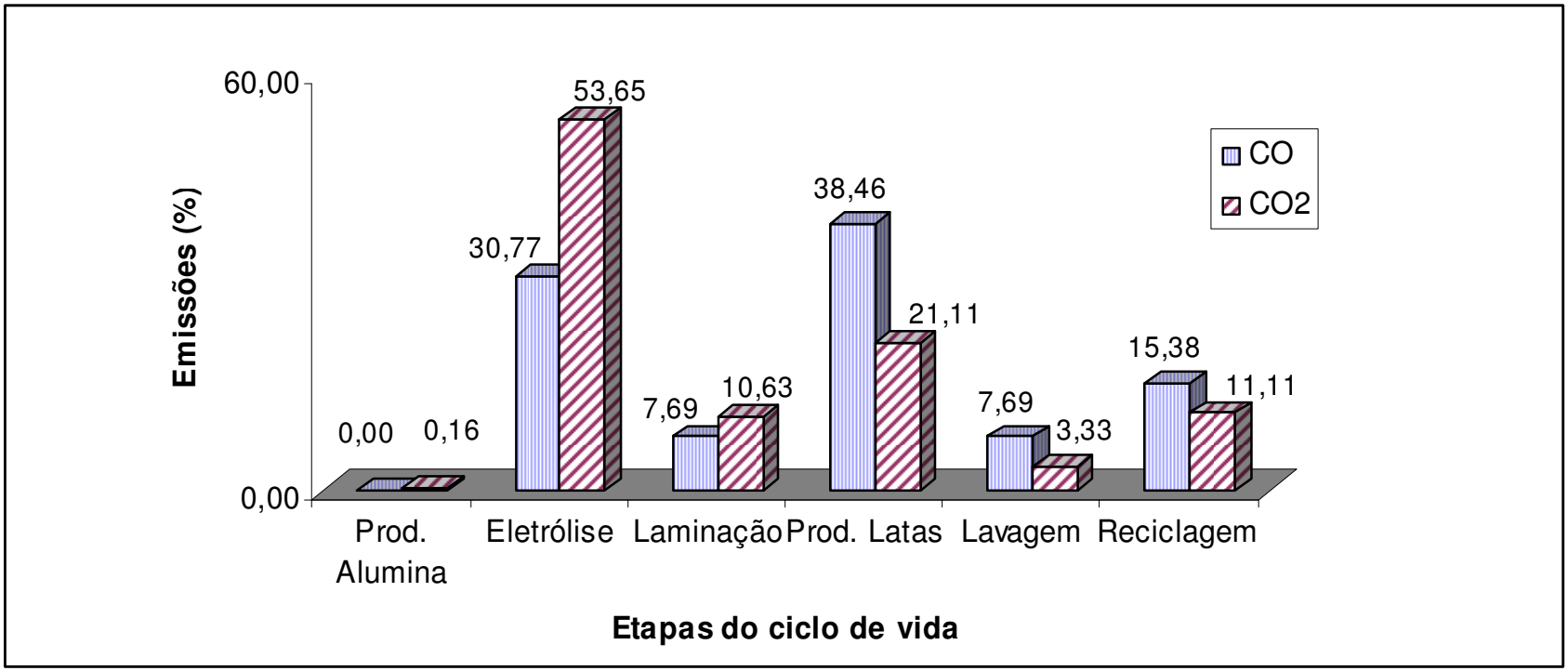
As emissões atmosféricas são causadas principalmente por queima de combustíveis, como o óleo diesel, utilizado nas etapas de transporte e, para o ciclo de vida das latas de alumínio, do óleo combustível utilizado nos equipamentos dos processos de produção do alumínio. Observando os resultados do Quadro 8, as quantidades de gases de efeito estufa gerados no ciclo de vida da lata de alumínio são maiores nos processos relacionados à eletrólise e fundição do alumínio, além da produção das latas.

Em todo o ciclo de vida da lata de alumínio são emitidos 0,13 kg de CO. Desse total, 0,05 kg (38,5%) estão relacionados à etapa de produção das latas; 0,04 kg (30,8%) são emitidos na eletrólise e fundição do alumínio; 0,02 kg (15,4%) na reciclagem das latas; 0,01 kg (7,7%) na etapa de lavagem; 0,008 kg (7,6%) na laminação e apenas 0,003 kg (2,0%) na produção da alumina.

Os resultados indicam ainda que são gerados 6,3 kg de CO_2 no ciclo de vida dessa embalagem de alumínio. Nos processos de eletrólise e fundição são gerados 3,38 kg (53,7%) do total; 1,33 kg (21,2%) na produção das latas; 0,69 kg (11,1%) na reciclagem; 0,66 kg (10,6%) na laminação; 0,21 kg (3,4%) na lavagem e preparação para envase e 0,014 kg (0,2%) na produção da alumina.

A mesma observação pode ser feita para as demais emissões, como SO_2, material particulado (MP), entre outros. A Figura 25 ilustra as emissões de CO e CO_2 no ciclo de vida das latas de alumínio.

Figura 25 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das Latas de Alumínio

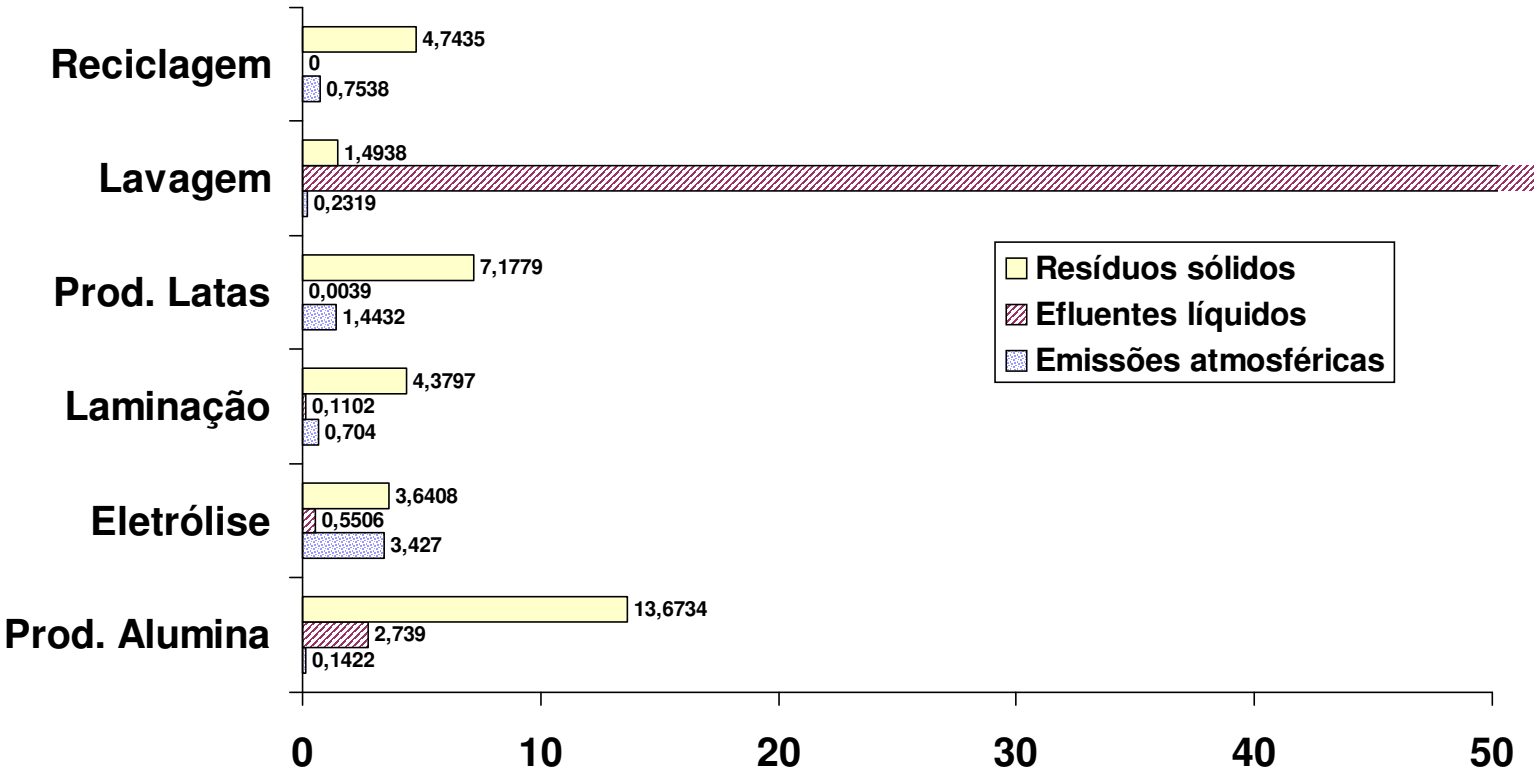


Com relação às substâncias causadoras de acidificação (chuva ácida), como o SO_2 e NO_x, os resultados indicam que nos processos de produção das latas ocorre a maior emissão dessas substâncias (43,8% do total para SO_2 e 34,5% para NO_x).

O maior consumo de água ocorre no processo de lavagem das latas de alumínio. Desta forma, a geração de efluentes líquidos também é maior neste processo, somando 97,3% do total de águas residuárias gerado entre todos os processos do ciclo de vida das latas.

A maior geração de resíduos sólidos ocorre durante os processos de produção da alumina, com 38,9% do total. Na produção das latas são gerados 7,18 kg (20,4%) de resíduos sólidos; 4,74 kg (13,5%) na reciclagem das latas; 4,38 kg (12,5%) na laminação; 3,64 kg (10,4%) na eletrólise e fundição do alumínio e 1,49 kg (4,3%) na lavagem e preparação da embalagem para envase. Estes valores referem-se principalmente a perdas de produto durante seu processo de produção. A **Figura 26** apresenta o total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das latas de alumínio. Na seqüência, as informações sobre as garrafas de PET, no Quadro 9.

Figura 26 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Latas de Alumínio (kg)



Quadro 9 – Balanço material e de energia para o ciclo de vida das GARRAFAS PET com taxa de reciclagem de 40% e capacidade de envase de 1000L de refrigerante

GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 40% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000L DE REFRIGERANTE (os dados da coluna da esquerda estão de acordo com a base de cálculo estabelecida e a coluna em destaque são os dados normalizados na unidade funcional adotada)																
	EXTRAÇÃO PETRÓLEO		REFINO		FABRIC. RESINA		FABRIC. PREFORMA		PROD. GARRAFA		RECICLAGEM		RÓTULO		TAMPA	
RECURSOS NATURAIS																
ÁGUA	2300,0000	56,9250	1050,0000	25,9875	221,6000	3,3240	79,2880	1,9822	1800,0000	45,0000	1500,0000	15,0000	280,0000	0,2800	320,0000	0,4576
PETRÓLEO	1388,9000	34,3753														
ENERGIA (MJ)	41000,0000	1014,7500	55000,0000	1361,2500	7562,0000	113,4300	588,0000	14,7000	6400,0000	160,0000	10180,0000	101,8000	481,7000	0,4817	1689,2000	2,4156
TOTAL	**3688,9000**	91,3003	**1050,0000**	25,9875	**221,6000**	3,3240	**79,2880**	1,9822	**1800,0000**	45,0000	**1500,0000**	15,0000	**280,0000**	0,2800	**320,0000**	0,4576
MATÉRIA-PRIMA SECUND.																
PETROLEO			1809,4200	44,7831												
DMT					891,2000	13,3680										
MEG					423,9100	6,3587										
METANOL			252,0000	6,2370												
OLEO DIESEL	276,8000	6,8508	242,0000	5,9895	104,9000	1,5735	40,0000	1,0000	9,3688	0,2342	9,6157	0,0962	39,1805	0,0392	75,1000	0,1074
FLOCOS RESINA							1040,0000	26,0000	1155,2700	28,8818			1024,1000	1,0241	1233,0400	1,7632
GARRAFA											1140,0000	11,4000				
TOTAL	**276,8000**	6,8508	**2303,4200**	57,0096	**1420,0100**	21,3002	**1080,0000**	27,0000	**1164,6388**	29,1160	**1149,6157**	11,4962	**1063,2805**	1,0633	**1308,1400**	1,8706
TOTAL ENTRADAS	**3965,7000**	98,1511	**3353,4200**	82,9971	**1641,6100**	24,6242	**1159,2880**	28,9822	**2964,6388**	74,1160	**2649,6157**	26,4962	**1343,2805**	1,3433	**1628,1400**	2,3282

(continua)

(continuação)

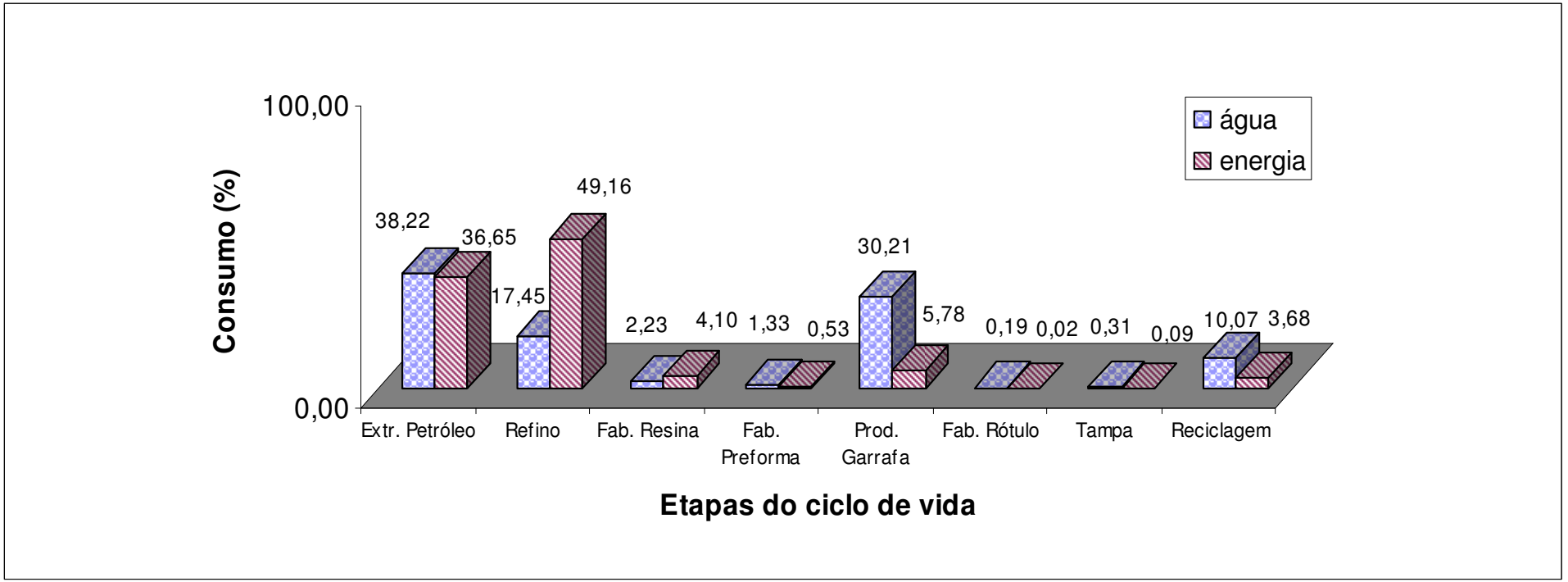
	EXTRAÇÃO PETRÓLEO		REFINO		FABRIC. RESINA		FABRIC. PREFORMA		PROD. GARRAFA		RECICLAGEM		RÓTULO		TAMPA	
EMISSÕES Atmosféricas																
MP	2,3900	0,0592	7,9700	0,1973	0,5500	0,0083	1,1200	0,0280	0,1730	0,0043	0,0670	0,0007	0,2380	0,0002	0,7080	0,0010
CO_2	9,9800	0,2470	28,7100	0,7106	12,2300	0,1835	68,9000	1,7225	80,6500	2,0163	4,8800	0,0488	18,3500	0,0184	17,9000	0,0256
CO	6,3000	0,1559	12,3000	0,3044	0,6393	0,0096	1,7000	0,0425	1,8200	0,0455	0,0927	0,0009	1,0180	0,0010	0,7590	0,0011
SO_2	5,4670	0,1353	14,6000	0,3614	0,2880	0,0043	0,2030	0,0051	0,3500	0,0088	0,0160	0,0002	0,0557	0,0001	0,1443	0,0002
NO_X	4,0700	0,1007	13,6800	0,3386	0,5800	0,0087	2,2500	0,0563	2,3500	0,0588	0,1350	0,0014	0,4970	0,0005	1,0100	0,0014
HCl					0,0020				0,0048	0,0001			0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
HC	14,9900	0,3710	28,7000	0,7103	0,3330	0,0050	0,4700	0,0118	0,5510	0,0138	0,0320	0,0003	0,0972	0,0001	0,2780	0,0004
VOC	2,6000	0,0644	44,1800	1,0935											70,7100	0,1011
TOTAL	**45,7970**	1,1335	**150,1400**	3,7160	**14,6223**	0,2193	**74,6430**	1,8661	**85,8988**	2,1475	**5,2227**	0,0522	**20,2560**	0,0203	**91,5094**	0,1309
EFLUENTES Líquidos																
ÁGUAS RESIDUÁRIAS	2318,8000	57,3903	1224,8000	30,3138	221,6000	3,3240	78,4000	1,9600	1800,0000	45,0000	1500,0000	15,0000	292,0000	0,2920	328,2000	0,4693
METANOL					252,0000	3,7800										
ÁGUA REAÇÃO					102,0000	1,5300										
NH_3	0,6230	0,0154	1,7950	0,0444	0,1377	0,0021	0,1250	0,0031					0,0045	0,0000	0,0006	0,0000
TOTAL	**2319,4230**	57,4057	**1226,5950**	30,3582	**575,7377**	8,6361	**78,5250**	1,9631	**1800,0000**	45,0000	**1500,0000**	15,0000	**292,0045**	0,2920	**328,2006**	0,4693
RESÍDUOS Sólidos																
CINZAS					3,6600	0,0549			0,9400	0,0235	0,9000	0,0090	1,3000	0,0013	15,8000	0,0226
INDUSTRIAL	100,8400	2,4958	450,5800	11,1519	22,9300	0,3440	1,3200	0,0330	46,7700	1,1693	14,1400	0,1414	11,2800	0,0113	135,8300	0,1942
MINERAL	448,4400	11,0989	492,1050	12,1796												
INERTE	51,2000	1,2672	34,0000	0,8415	24,6600	0,3699	4,8000	0,1200	31,0300	0,7758	129,3530	1,2935	18,4400	0,0184	56,8000	0,0812
TOTAL	**600,4800**	14,8619	**976,6850**	24,1730	**51,2500**	0,7688	**6,1200**	0,1530	**78,7400**	1,9685	**144,3930**	1,4439	**31,0200**	0,0310	**208,4300**	0,2981
TOTAL SAÍDAS	**2965,7000**	73,4011	**2353,4200**	58,2471	**641,6100**	9,6242	**159,2880**	3,9822	**1964,6388**	49,1160	**1649,6157**	16,4962	**343,2805**	0,3433	**628,1400**	0,8982
BALANÇO GLOBAL																
ENTRADAS	3965,7000	98,1511	3353,4200	82,9971	1641,6100	24,6242	1159,2880	28,9822	2964,6388	74,1160	2649,6157	26,4962	1343,2805	1,3433	1628,1400	2,3282
SAÍDAS	2965,7000	73,4011	2353,4200	58,2471	641,6100	9,6242	159,2880	3,9822	1964,6388	49,1160	1649,6157	16,4962	343,2805	0,3433	628,1400	0,8982
TOTAL	1000,0000	24,7500	1000,0000	24,7500	1000,0000	15,0000	1000,0000	25,0000	1000,0000	25,0000	1000,0000	10,0000	1000,0000	1,0000	1000,0000	1,4300

Em relação aos recursos naturais, os resultados no Quadro 9 indicam que o maior consumo de água (38,2%) de todo o ciclo de vida do produto está associado à etapa de extração do petróleo. O maior consumo de energia está na refinação do petróleo (49,2%).

A etapa de produção das garrafas consome 45,0 kg de água (30,2%); a refinação do petróleo 25,9 kg (17,4%); a reciclagem das garrafas 15,0 kg (10,1%). As demais etapas do ciclo de vida das garrafas de PET têm um consumo de água menos expressivo. A fabricação da resina consome 3,3 kg (2,2%); a fabricação da pré-forma 1,9 kg (1,3%); a produção da tampa 0,4 kg (0,3%) e a produção do rótulo 0,3 kg (0,2%) do total de água consumida para a unidade funcional adotada.

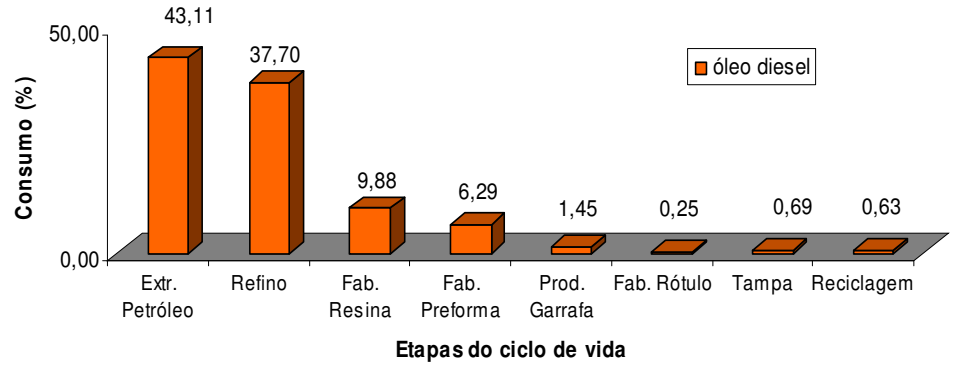
Com relação ao consumo de energia, utilizada para o transporte e o processamento dos materiais, os resultados indicam que são utilizados 1361,3 MJ (49,2%) na refinação do petróleo; 1014,8 MJ (36,6%) na extração do petróleo; 160,0 MJ (5,8%) na produção das garrafas; 113,4 MJ (4,1%) na fabricação da resina de PET; 101,8 MJ (3,7%) na reciclagem; 14,7 MJ (0,5%) na fabricação da pré-forma; 2,42 MJ (0,1%) na fabricação das tampas e apenas 0,48 MJ na fabricação dos rótulos. A Figura 27 ilustra o consumo de água e energia no ciclo de vida das embalagens de PET.

Figura 27 – Consumo de água e energia no ciclo de vida das garrafas de PET



A partir dos resultados indicados no Quadro 9 pode-se observar que é consumido um total de 15,9 kg de óleo diesel em todos os processos de fabricação, utilização e destinação das garrafas de PET. Deste total, 43,1% estão associados aos processos de extração do petróleo. O restante está associado às etapas de refino do petróleo (37,7%); fabricação da resina (9,9%); fabricação da pré-forma (6,3%); produção da garrafa (1,5%); produção da tampa (0,7%); reciclagem (0,6%) e produção do rótulo (0,2%). A Figura 28 ilustra o consumo de óleo diesel no ciclo de vida das garrafas de PET.

Figura 28 – Consumo de óleo diesel no ciclo de vida das garrafas de PET



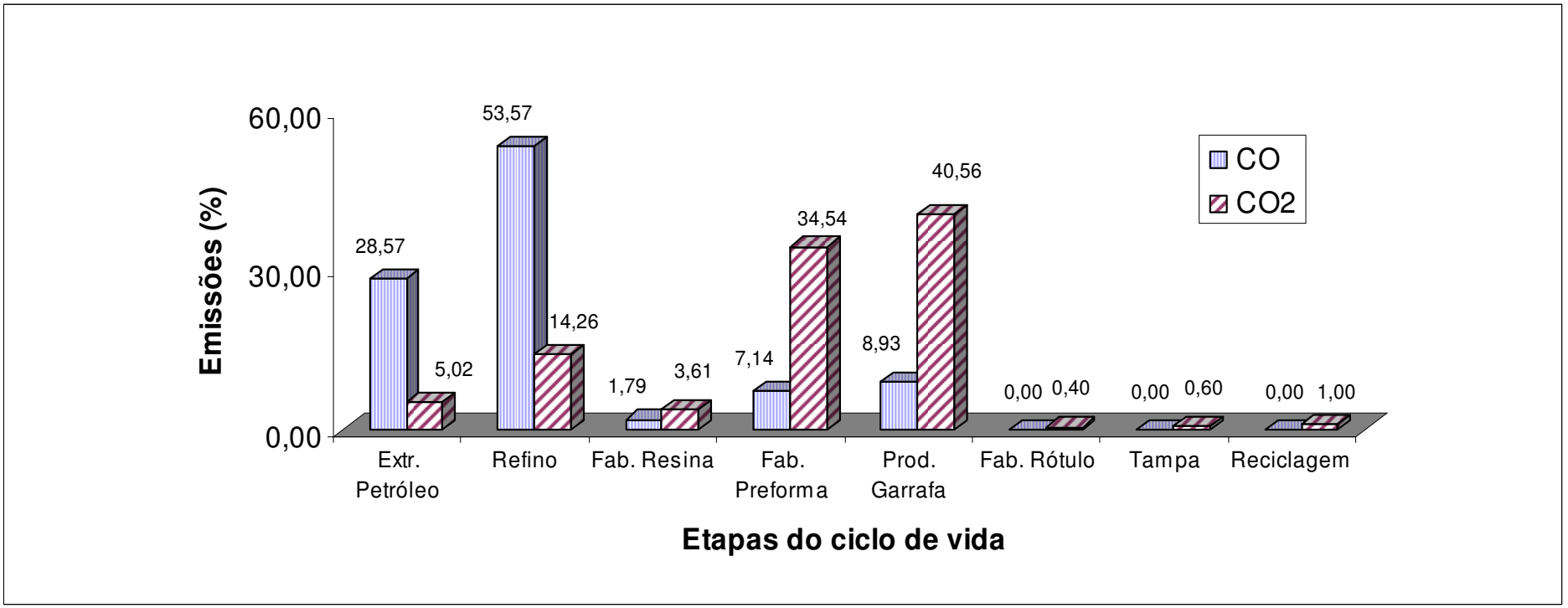
Com relação às emissões atmosféricas que são causadas principalmente por queima de combustíveis, como o óleo diesel, utilizado nas etapas de transporte, a etapa de produção das garrafas (sopro) já na indústria de refrigerantes é a que mais gera CO_2 (40,5% do total). Isso ocorre devido a distância entre os locais de extração de petróleo e processamento do mesmo até a obtenção da pré-forma estarem situados no Estado da Bahia e o envase do refrigerante no Estado do Paraná.

Observando os resultados do Quadro 9, com exceção do CO_2, as quantidades de gases e demais precursores do efeito estufa gerados no ciclo de vida da garrafa de PET são maiores nos processos relacionados à etapa de refino do petróleo. A maior emissão de CO, 0,30 kg (53,6%) ocorre nesta etapa. Da

mesma forma, a maior geração de HC, outro precursor do aquecimento global, ocorre nesta mesma etapa, com 0,71 kg (63,8% do total emitido).

Além de CO e HC, que são responsáveis pelo aquecimento global, também contribuem para o efeito fotoquímico os VOC's emitidos. Analisando os dados do Quadro 9, a etapa de refino do petróleo é onde mais ocorre a geração desses três elementos precursores dessa categoria de impacto, com 1,09 kg de VOC (86,9%) do total emitido, além do CO e HC, descritos no parágrafo anterior. A Figura 29 ilustra as emissões de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de PET.

Figura 29 – Emissão de CO e CO_2 no ciclo de vida das garrafas de PET

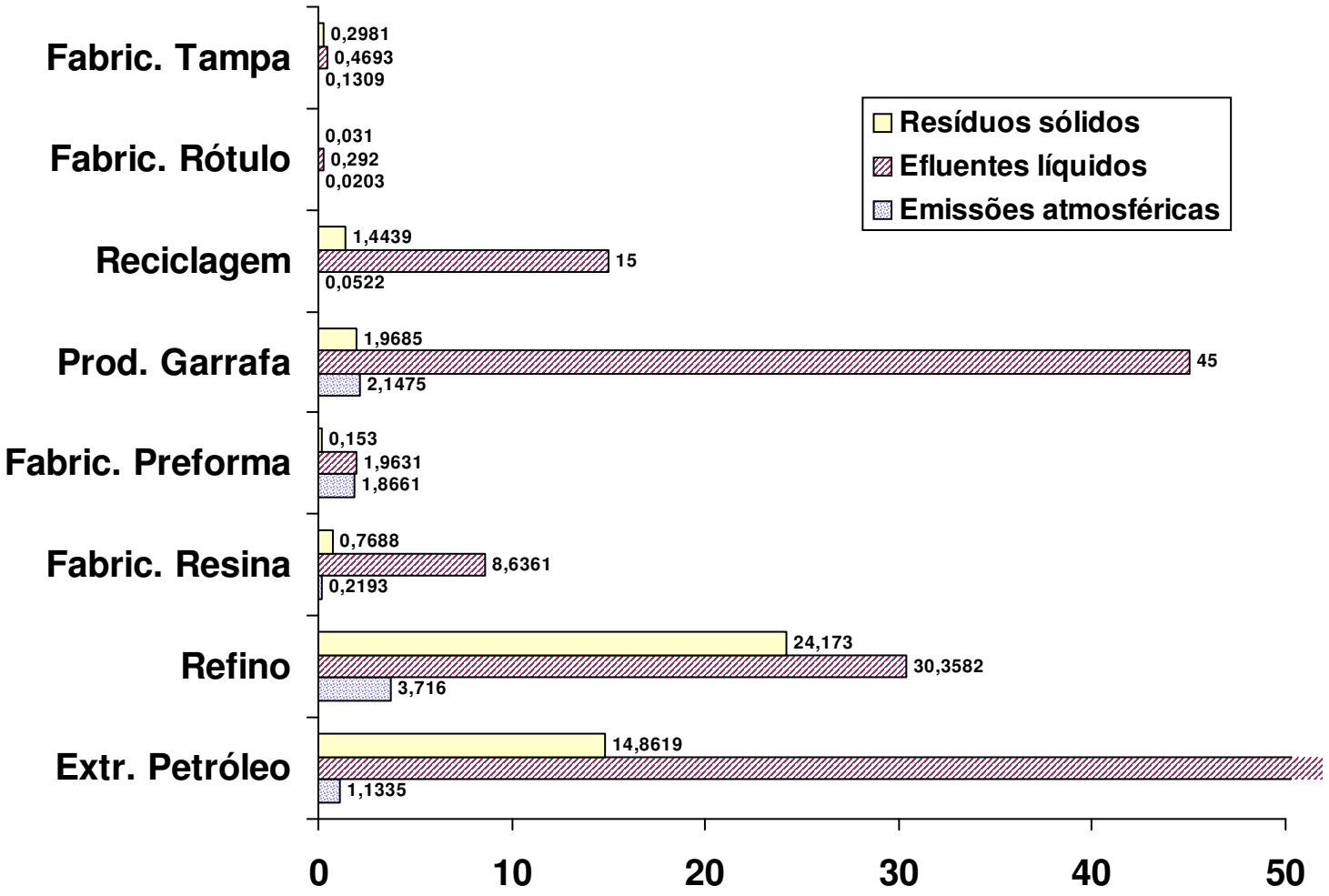


Com relação às substâncias que causam acidificação (chuva ácida), como o SO_2 e NO_x, por exemplo, os resultados indicam que o refino do petróleo é a etapa que mais gera essas substâncias, com 0,36 kg de SO_2 (70,1% do total emitido) e 0,34 kg de NO_x (59,8% do total emitido). Observando os dados do Quadro 9, a maior geração de HCl, também responsável pela acidificação, ocorre na etapa de produção da garrafa (99,8%), mas apenas 0,0001 kg da substância são emitidos.

O maior consumo de água ocorre no processo de extração do petróleo. Desta forma, a geração de efluentes líquidos também é maior neste processo, somando 37,3% do total de água residuária gerada em todos os processos do ciclo de vida das garrafas de PET. O Quadro 9 indica ainda que a quantidade de NH_3, substância causadora do problema de eutrofização em corpos d'água, presente no efluente líquido gerado nos processos do ciclo de vida da garrafa de PET está concentrada na etapa de refinação do petróleo, com 68,3% do total. O restante é gerado na etapa de extração do petróleo (23,7%), fabricação da pré-forma (4,8%) e fabricação da resina (3,2%).

A maior geração de resíduos sólidos ocorre durante o refino, com 24,2 kg (55,3% do total gerado) e extração do petróleo, com 14,9 kg (34,0% do total gerado). A produção das garrafas gera 1,97 kg (4,5%) do total de resíduos sólidos. A etapa de reciclagem gera 3,3%, os processos de fabricação da resina 1,8%, a produção das tampas 0,7%, a fabricação das pré-formas 0,4% e a produção dos rótulos geram apenas 0,1% do total de resíduos sólidos gerados em todo o ciclo de vida das garrafas de PET. Na Figura 30 está o total das saídas calculadas no balanço de massa e ciclo de vida das garrafas de PET.

Figura 30 - Total das saídas calculadas no balanço de massa do ciclo de vida das Garrafas de PET (kg)

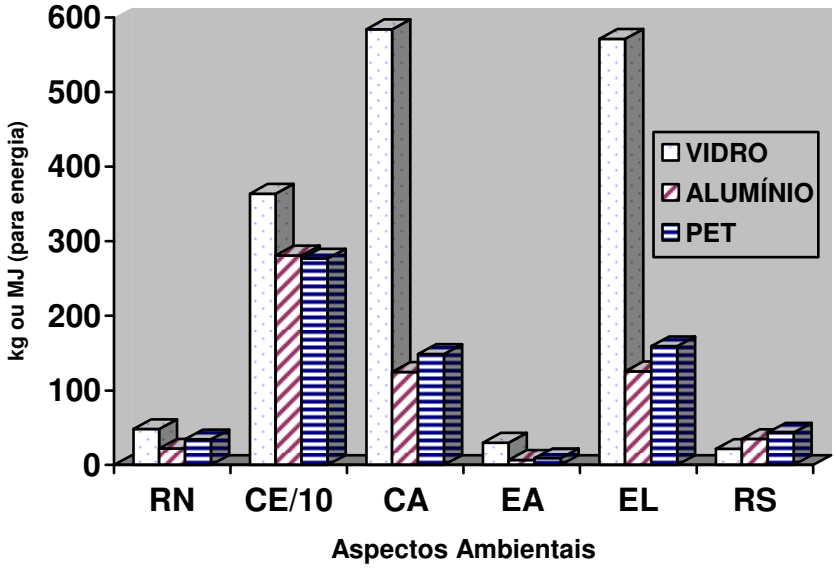


O resumo da quantificação dos aspectos ambientais dos ciclos de vida das embalagens estudadas é apresentado na Tabela 14 e na Figura 31, e está de acordo com os dados obtidos e apresentados nos Quadros 7, 8 e 9.

Tabela 14 – Quantificação resumida dos aspectos ambientais dos ciclos de vida das embalagens estudadas de acordo com a unidade funcional adotada.

Aspecto ambiental	GARRAFAS DE VIDRO (taxa de reciclagem de 25%)	LATAS DE ALUMÍNIO (taxa de reciclagem de 90%)	GARRAFAS DE PET (taxa de reciclagem de 40%)
Massa de material (kg)	1331,70	40,83	25,00
RN - Recursos naturais (kg)	48,42	22,14	34,38
CE - Consumo de energia (MJ)	3638,64	2808,23	2768,83
CA - Consumo de água (kg)	584,39	124,70	148,96
EA - Emissões atmosféricas (kg)	29,99	6,70	9,29
EL – Efluentes líquidos (kg)	571,55	125,80	159,12
RS - Resíduos Sólidos (kg)	21,59	35,11	43,70

Figura 31 - Resumo da quantificação dos aspectos ambientais dos ciclos de vida das embalagens estudadas de acordo com a unidade funcional adotada



Pode-se observar através da Figura 31 que o maior consumo de recursos naturais (**RN**) ocorre no ciclo de vida das garrafas de vidro, 2,18 e 1,40 vezes superior ao consumido no ciclo de vida das latas de alumínio e garrafas de PET, respectivamente.

O consumo de água (**CA**) no ciclo de vida das garrafas de vidro é 4,69 vezes superior ao consumido no ciclo de vida das latas de alumínio e 3,92 vezes superior ao ciclo de vida das garrafas de PET.

Com relação ao consumo de energia (**CE**), também no ciclo de vida das garrafas de vidro ocorre o maior consumo, sendo 1,29 e 1,31 vezes superior ao consumo de energia em todo o ciclo de vida das latas de alumínio e garrafas de PET, respectivamente.

No estudo de VALT (2004), o maior consumo de energia ocorreu no ciclo de vida da embalagem de alumínio, seguido pela embalagem de vidro. Naquele estudo a taxa de reciclagem da embalagem de alumínio foi de 80%. Neste estudo o valor utilizado foi de 90% (referente ao cenário atual). Também a taxa de reuso das garrafas de vidro que foi considerada de 20 vezes, nesse estudo foi de 28 vezes, conforme descrito no capítulo anterior. Os dois parâmetros foram responsáveis por fornecerem resultados distintos entre os dois estudos, já que o aumento da taxa de reciclagem implica em economia de energia (para a embalagem de alumino) e o aumento do ciclo de reuso acarreta um maior consumo de energia (embalagem de vidro).

A emissão de poluentes atmosféricos (**EA**) é 4,48 e 3,23 vezes superior no ciclo de vida das garrafas de vidro, comparados aos ciclos de vida das latas de alumínio e garrafas de PET, respectivamente.

O ciclo de vida das garrafas de vidro apresenta a maior geração de efluentes líquidos (**EL**), sendo 4,54 e 3,59 vezes superior aos ciclos de vida das latas de alumínio e garrafas de PET, respectivamente. A grande geração de águas residuárias se deve ao fato de que, na maioria dos processos de produção de refrigerantes, esse efluente é encaminhado às estações de tratamento para disposição em algum recurso hídrico. O tratamento desse efluente para

reutilização no processo é uma alternativa para a minimização do consumo de água limpa.

A geração de resíduos sólidos (**RS**), no ciclo de vida das garrafas de vidro, por outro lado, é a menor dentre os ciclos de vida das embalagens estudadas. A maior geração de resíduos sólidos ocorre no ciclo de vida das garrafas de PET, sendo 2,02 vezes superior à geração no ciclo de vida das garrafas de vidro e 1,24 vezes superior ao ciclo de vida das latas de alumínio.

Considerando a etapa de avaliação dos impactos (citado no item 2.2.1.3) e também os trabalhos de KNIGHT (1996), RYBERG et al. (1998), SILVA (2002) e BRENTRUP et al. (2004), algumas observações foram feitas.

De acordo com os estudos citados no parágrafo anterior e, baseando-se nos resultados obtidos neste estudo, em termos de quantidade emitida, o aquecimento global é a categoria que mais se destaca. Em segundo lugar, o efeito fotoquímico, causado pela reação entre os óxidos de nitrogênio (NO_x) e substâncias orgânicas voláteis sob ação de raios ultravioleta.

4.3 Resultados com o software UMBERTO

O primeiro passo para a modelagem dos fluxos da ACV das embalagens foi definir as variáveis envolvidas em todos os processos. A definição dessas variáveis foi realizada de acordo com os dados e demais informações obtidas nos estudos do ciclo de vida de cada embalagem.

Para cada etapa do ciclo de vida da embalagem e, segundo a base de cálculo utilizada nos balanços materiais e energéticos, o software foi alimentado com as informações obtidas no estudo de ACV de cada embalagem.

A segunda parte consistiu em montar o cenário do ciclo de vida de cada embalagem, com as entradas e saídas de cada uma das etapas definidas no estudo de ACV das embalagens.

Os cenários do ciclo de vida das embalagens de vidro, alumínio e PET e os resultados obtidos estão ilustrados no ANEXO II.

Em todos os ciclos de vida estudados, a maioria das etapas envolvendo os processos produtivos ocorre em locais diferentes. Desta forma, os deslocamentos de uma etapa a outra foram computados, de acordo com o tipo de transporte dos materiais envolvidos, as distâncias, combustível consumido e emissões produzidas pela queima do combustível.

As planilhas apresentadas neste capítulo (Quadros 7, 8 e 9) ilustram que, em todas as etapas, foram consideradas as variáveis envolvidas nos processos de cada uma das embalagens, tanto nas entradas quanto nas saídas, além dos 1000 kg do material principal obtido em cada etapa.

A utilização do software foi responsável por corroborar os resultados obtidos com a planilha eletrônica. Os valores de todas as variáveis envolvidas foram recalculados baseando-se na unidade funcional adotada. O software UMBERTO possui essa função de cálculo, fornecendo como resultado uma planilha de entradas e saídas do balanço material e energético para cada ciclo de vida das embalagens estudadas.

Os resultados desta etapa estão ilustrados nas Figura 35, Figura 36 e Figura 37, no ANEXO II.

Observando os resultados apresentados nos Quadros 7, 8 e 9 e nas Figura 35, Figura 36 e Figura 37, verifica-se que o software corrobora os cálculos efetuados por planilha eletrônica.

O UMBERTO permite ainda a elaboração de gráficos, para fins de comparação. No item 5.2 deste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados referentes aos aspectos ambientais definidos para este estudo.

Para a análise gráfica, o software primeiramente calculou os balanços de massa e energia para todas as etapas dos ciclos de vida das embalagens estudadas.

Em seguida, foi gerado um relatório (planilha) contendo todas as entradas e saídas dos ciclos de vida estudados.

A partir destas planilhas, foram selecionadas variáveis como água (consumo), energia (consumo), água residuária (geração), emissões atmosféricas,

resíduos sólidos (geração), para ilustrar graficamente o comparativo entre os ciclos de vida das embalagens.

Os resultados obtidos com o software, bem como a forma de apresentação dos mesmos foram utilizados para demonstrar uma forma mais bem elaborada para a apresentação de uma gama muito grande de variáveis e números. Todos os resultados obtidos como software estão ilustrados no ANEXO II.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que, de uma forma geral, na Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos, a determinação de quais são as matérias-primas utilizadas e as emissões geradas durante o ciclo de vida do produto estudado são o primeiro passo para evidenciar sua influência sobre o meio ambiente. O segundo é determinar quais são os impactos das emissões e do consumo das matérias primas sobre o meio ambiente.

De acordo com os sistemas estudados, os resultados mostraram que a garrafa de vidro é a embalagem que mais contribui negativamente para o meio ambiente. A lata de alumínio foi a que apresentou, dentro dos parâmetros analisados, a menor contribuição negativa ao meio ambiente. A garrafa de PET apresentou um ciclo de vida com uma menor contribuição negativa ao meio ambiente, quando comparada à embalagem de vidro, mas superior se comparada à embalagem de alumínio.

No ciclo de vida da garrafa de vidro ocorre o maior consumo de água e emissão de efluente líquido, devido os ciclos de reuso e à maior participação na etapa de reciclagem do ciclo de vida da embalagem. O volume de água utilizado nessa etapa é grande, consequentemente o descarte como água residuária também é. Os processos de limpeza e preparação das garrafas para o envase consomem muita água. Este foi considerado o ponto mais crítico do ciclo de vida deste tipo de embalagem.

Em relação ao consumo de recursos naturais e consumo de energia, a garrafa de vidro é a embalagem que apresenta o pior cenário entre os estudados. O mesmo foi observado para as emissões atmosféricas.

Entre os pontos principais a serem melhorados nas etapas de produção, estão o reaproveitamento da água de lavagem das garrafas e a diminuição de perdas de processo, onde em todos os cenários as quantidades de resíduos sólidos geradas foram consideráveis.

Para as garrafas de PET, a emissão de VOC's é grande nas etapas de extração e refino do petróleo, sendo necessária a instalação de sistemas de captação dessas emissões.

No ciclo de vida das latas de alumínio, a otimização deve ser focada na etapa de produção da alumina, no sentido de reduzir a quantidade de resíduo industrial gerado.

Mesmo evidenciando pontos críticos nos ciclos de vida das embalagens de alumínio e de PET, o ciclo de vida da garrafa de vidro é o que menos favorece o princípio da prevenção à poluição. As tecnologias e práticas utilizadas nos processos do ciclo de vida desse tipo de embalagem ainda estão aquém do necessário para a reversão do quadro concluído neste estudo.

Cabe salientar que os resultados aqui alcançados refletem a realidade das indústrias nacionais, de acordo com os referenciais aqui pré-estabelecidos.

Os resultados obtidos neste estudo referem-se exclusivamente aos cenários propostos, as variáveis e considerações pré-estabelecidas. Isto significa dizer que os resultados aqui obtidos podem se alterar em caso de mudanças nos cenários e variáveis envolvidas, além do próprio espaço temporal.

5.1 Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros

Ficou evidenciada a necessidade de realização do inventário de emissões atmosféricas nacional, de maneira a contribuir para o desenvolvimento de novos estudos de ACV de produtos. Algumas informações foram utilizadas neste estudo baseadas em situações diferentes das do cenário nacional.

Por fim, vale salientar que a Avaliação do Ciclo de Vida é um assunto que vem sendo amplamente discutido e estudado. A metodologia mostra sua importância no conhecimento dos processos, redução dos impactos ambientais e melhoria dos processos industriais, visando a proteção do meio ambiente, a melhoria da qualidade de vida da população e a prevenção à poluição.

As novas técnicas de industrialização desenvolvidas nos últimos anos, juntamente com o aumento populacional e consumo, têm provocado a elevação da demanda mundial de plásticos, vidros e alumínio com conseqüente aumento na quantidade de descarte pós-consumo, dificultando sua destinação final.

Neste contexto, a ACV dos produtos surge como uma opção real para a indústria e para a sociedade, com o intuito de conhecer melhor o produto e sua influência sobre o meio ambiente.

O caminho para o desenvolvimento sustentável passa pela utilização de mecanismos como a produção mais limpa, que está diretamente ligada à ACV. Ambos funcionam para auxiliar no cumprimento de metas muito mais amplas que somente o atendimento à legislação. Trata-se do compromisso com a prevenção da poluição, a minimização do consumo dos recursos e a geração de resíduos na certeza de que não acarrete danos ao meio ambiente. Na certeza de que a prática é interessante e à favor do meio ambiente, isso também acontecerá com a economia, de modo geral.

Como sugestões de continuidade deste estudo podem ser citadas a avaliação dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos, a análise do esgotamento dos recursos naturais e a aplicação de outras metodologias de valoração.

Uma outra sugestão envolve o uso de outras ferramentas (softwares) nos estudos de ACV de outros produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. [online]. Disponível em:<http://www.abal.org.br/conheca/index.cfm?frame=conheca> Acesso em: 16 jan.2005.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. **Reciclagem de Embalagens PET**. [online]. Disponível em:<http://www.abepet.com.br/oqepet.php> Acesso em: 18 mar. 2003.

ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas. **Os plásticos**. [online]. Disponível em <http://www.abiquim.org.br/plastivida/plasticos.htm>. Acesso em 20 mar. 2003.

ABIVIDRO – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. [online]. **Vidro – produção.** Disponível em <http://www.abividro.org.br> . Acesso em 11 nov. 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura – NBR ISO14040**. Rio de Janeiro – RJ. ABNT. 10 p., 2001.

ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. [online]. Disponível em <http://www.abralatas.com.br> . Acesso em 10 jul. 2005.

ALCOA – **O Alumínio: História do alumínio, Como é feito, Reciclagem** [online]. Disponível em <http://www.alcoa.com.br/o_aluminio/hist_aluminio.asp>. Acesso em 20 mai. 2005.

ALMEIDA, M.C. **Estudo do ciclo de vida do pneu automotivo e oportunidades para a disposição final de pneus inservíveis**. São Carlos-SP. 2002. 167 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. Petróleo e derivados. CEPETRO – Centro de estudos de petróleo. UNICAMP. Campinas-SP, 2006.

ANTON, A., MONTERO, J.I., CASTELLS, F. Life cycle assessment: a tool to evaluate and improve the environmental impact of Mediterranean greenhouses. **Acta Horticulturae**. International Society for Horticultural Science (ISHS). Leuven– Belgium. N. 614, Vol 1, p. 35-40, 2003.

ANTUNES, A. O futuro da indústria de transformados plásticos: embalagens plásticas para alimentos. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Instituto Euvaldo Lodi. Brasília: MDIC/STI : IEL/NC, 188 p. 2005.

ASSUNÇÃO, R.S. **Avaliação da emissão de compostos orgânicos voláteis em operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo**. Salvador, 2003. 138 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal da Bahia – UFBA.

BELO, J.M.R. **Developing Countries, Packaging and the Environment**. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PACKAGING, ECONOMIC DEVELOPMENT. Institute Of Packaging Professionals, Austria, p.133-139, 1993.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. 2ª edição. Florianópolis-SC. Editora da UFSC, 2001.

BONSERVIZZI, M. SIBINELLI, P.C.C. SOUSA, M.C.F. A Percepção do Consumidor quanto a Embalagens Recicláveis**. Revista de Administração**, Vol.28, N.3, p.33-49, 1993.

BRASKEM S.A - **Conheça a BRASKEM – Complexos Industriais**. Descritivo de processo. Camaçari – BA, 2005.

BRENTRUP, F., KUSTERS, J., KUHLMANN, H., LAMMEL, J.. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. **Elsevier Science B.V.**. Amsterdam – Netherlands. Vol. 20 (3), p. 247-264, 2004.

CBA – Companhia Brasileira de Alumínio – **Processo de fabricação do alumínio**. [online]. Disponível em <http://www.aluminiocba.com.br/pt/produtos.php> . Acesso em 21 nov. 2005.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem . **CEMPRE Informativo Técnico** - Número 79 - Janeiro / Fevereiro – 2005.

_____ . PET. **Ficha Técnica 9: PET**. [online]. Disponível em <http://www.cempre.org.br/pet.htm>. Acesso em 26 de jan. 2004.

_____ . VIDRO. CEMPRE - **Ficha Técnica 6**, 2 p., 1999.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104p.

COLTRO, L. **Embalagens plásticas flexíveis versus meio ambiente**. CETEA – ITAL. Campinas-SP, 2 p., 2000.

_____. A aplicação da Análise de Ciclo de Vida no Brasil. **Revista Meio ambiente Industrial**. São Paulo – SP. Edição: 42. N. 41, Ano: VII, p. 72-80, 2003.

CONSTANTINO, V.R.L.; ARAKI, K.; SILVA, D.O.; OLIVEIRA, W. **Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático.** Revista Química Nova, São Paulo-SP. V.25, n.3, p.490-498, 2002.

ECONOMIA & ENERGIA. **Parâmetros de Emissão de Gases de Efeito Estufa por veículos pesados no Brasil**. [online]. Disponível em: <http://www.ecen.com/matriz/eee25/ecen_25.htm> . Acesso em 16 ago. 2005.

ERIKSSON, E.; BUNGE, M.; LOUGRER,G. **Life cycle assessment of the road transport sector.** The Science of the Total Environment. Sweden, v.189-190, p.69-76, 1996.

FABI, A. R. **Comparação do consumo de energia e emissão de CO_2 entre garrafas de PET e de vidro utilizando análise ambiental do ciclo de vida**. Campinas, 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual de Campinas.

FERRÃO, P.C. **Introdução à Gestão Ambiental – a avaliação do ciclo de vida dos produtos**. IST Press. Lisboa – Portugal. 220 p. 1998.

GALILEU, Revista – **Reciclagem de alumínio**. Edição 164, fev/2005- São Paulo, editora Globo. Fevereiro 2005.

GARCIA, E.E.C. **Análise do Ciclo de Vida – ISO 14000**. ECO-RIO, p. 39-42, 1996.

_____ **Desenvolvimento de Embalagem e Meio Ambiente**. Brasil Pak Trends 2005: Embalagem, Distribuição e Consumo. CETEA-ITAL:Campinas-SP, p.81-99, 2000.

GEORGAKELLOS, D. A. **Packaging Waste Management: Life Cycle Analysis of various packaging materials in Greece and their consequences on the quality of the environment.** University of Piraeus. Greece, 1997.

HISCHIER, R., ALTHAUS, H.J., WERNER, F. **Developments in wood and packaging materials life cycle inventories in ecoinvent**. International Journal of Life Cycle Assessment. Ecomed Publishers. Landsberg - Germany. Vol. 10(1), p. 50-58, 2005.

HOSPIDO, A., MOREIRA, M.T., FEIJOO, G. **Environmental analysis of beer production**. International Journal of Agricultural Resources – Governance and Ecology. Inderscience Enterprises Ltd. Geneva – Switzerland. Vol. 4(2), p.152-162, 2005.

IFU - Institut für Umweltinformatik - Hamburg GmbH. Institute for Environmental Informatics. **Conheça UMBERTO**. [online]. Disponível em: <http://www.ifu.com/en>. Acesso em 08 nov. 2005.

JÖNSON, G. **LCA – A tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International. United Kingdom. 190 p. 1996.

KNIGHT, A.; WOLFE, J.; POON, J. **Life cycle assessment**. Toronto: ICF Kaiser Canadá, 35 p., 1996.

KORONEOS, C.; ROUMBAS, G.; GABARI, Z.; PAPAGIANNIDOU, E.; MOUSSIOPOULOS, N. **Life cycle assessment of beer production in Greece**. Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd. Oxford-UK, v.13, n.14, p. 433-439, 2005.

KRAMER, K.J.; MEEUSEN, M. **Sustainability in the agrofood sector**. Danish Institute of Agricultural Sciences. Tjele – Denmark. N. 61, p. 182-189, 2004.

LEPPÄNEN, A. **LCA – Beverage packaging systems in Finland.** IAPRI – Symposium 1994. IAPRI – International Association os Packaging Research Institutes. Finland, 4 p., 1994.

LIMA, A.M.F. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno tereftalato na região metropolitana de Salvador como subsídio para análise do ciclo de vida**. UFBA – Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA, 2001.

LOX, F. **Waste management – Life Cycle Analysis of Packaging**. Final Report contract number B4-3040/014093. Consortium Vrije Universiteit Brussel, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, Belgian Packaging Institute. Belgium, 1994.

MARGNI, M.; ROSSIER, D.; CRETTAZ, P.; JOLLIET, O. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment. N.1904 - p.1-14. Suíça, 2001.

MARTINO, D.; SELKE, S.; JOSHI, S. **Comparative LCA of three drink delivery systems**. Materials Research Society Symposium Proceedings. Boston – USA. v. 895, p. 135-144, 2006.

MÁRTIRES, R.A.C. **Alumínio: balanço mineral brasileiro 2001. Relatório Técnico.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Brasília-DF, 31 p., 2002.

MATTSSON, B.; CEDERBERG, C.; BLIX. L. Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. Journal os Cleaner Production. N.8 – Suécia, p.283-292, 2000.

MINERAL DATA PUBLISHING. Aluminum. Doclady Academy Naum. N.243. p.191-194. Moscou-Rússia. 2005.

MOURA, F., GÓIS, V., TORRES, P., MARTINHO, S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o setor de transportes em Portugal**. Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade de Nova Lisboa. Caparica-Portugal. 14 p., 1999.

MOURAD, A.N., GARCIA, E.E.C., VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e aplicações**. CETEA/ITAL : Campinas-SP, 92 p., 2002.

_____. A aplicação da Análise de Ciclo de Vida no Brasil, **Revista Meio Ambiente Industrial**, Vol. 7, N. 41, p. 72-80, 2003.

NAKANO, V.H. **Avaliação do ciclo de vida da geração do bagaço de cana-de-açúcar**. Curitiba-PR, 2006. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NEMECEK, T., ERZINGER, S. **Modelling representative life cycle inventories for Swiss arable crops**. Ecomed Publishers. Landsberg – Germany. Vol. 10(1), p.68-76, 2005.

OFF THE SHELF. **Newsletter sobre Design de Marcas e Embalagens**. Global Design Network, São Paulo-SP, p. 1-4, 1996.

PEREIRA, R.C.C.; MACHADO, A.H.; SILVA, G.G. **(Re) Conhecendo o PET**. Revista Química Nova na Escola. Química e Sociedade. Ed. 15/maio/2002. p. 3-5.

PEREZ, J. A. C. **Análise de Ciclo de Vida do Produto**. Palestra da Câmara Brasil-Alemanha de Indústria e Comércio. São Paulo-SP. Agosto de 2005.

PIRES, A.S. A reciclagem de plástico e o meio ambiente. Estudos técnicos. Plastivida – Insituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. São Paulo-SP, 2006.

PRATES, G.A. **Ecodesign utilizando QFD, Métodos Taguchi e DFE.** Florianópolis, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

PRE CONSULTANTS BV. **What is LCA**. [online]. Disponível em: <http://www.pre.nl/life_cycle_assesment>. Acesso em 27 nov. 2004.

PRODUCT life cycle management provides food for thought. **Food Technology International** – journal article. p. 108-109, 2004.

PROJETO RECICLAGEM. **As diversas etapas da reciclagem do vidro**. Artigo. Brasil. 5 p. 1999.

_____. **A LATASA vai dobrar a produção de latas com material reciclado**. Artigo. Brasil. 1 p. 2000.

RABL, A. Environmental benefits of natural gas for buses. Transportation Research Part D. Paris – França. N. 7 – p. 391-405, 2002.

RECICLAGEM - **Solução para o lixo**. Folha do Meio Ambiente. Cultura Viva Editora Ltda. Brasília-DF. 1 p., 1999.

RECICLAGEM DO PET. **Engarrafador Moderno**. Editora Aden. São Paulo-SP. 2 p., 1996.

RYBERG, A.; EKVALL, T.; FREES, N.; NIELSEN, P.H.; PERSON, L.; WEIDEMA, B.P.; WESNAES, M.S.; WIDHEDEN, J. **Life cycle assessment on packaging systems for beer and soft drinks**. Relatório Técnico. Agência de Proteção Ambiental da Dinamarca (projeto 399). 382 p., 1998.

ROUSE, C. G.. **Reciclagem de vidro, "uma questão de custo e benefício"**. Projeto Reciclagem. Artigo. Brasil. 2 p. 1999.

SAINT GOBAIN. **O processo de produção do vidro** [online]. Disponível em: <http://www.saint-gobain-vidros.com.br/vidro/producao.htm>. Acesso em 20 mai. 2006.

SANTOS, A. R. Vidro - Ficha Técnica. Programa de Iniciação Científica. Departamento de Construção Civil. Escola Politécnica da USP. São Paulo-SP. 4 p. 2003.

SELK, S.E.M. **Packaging and the environment alternatives, trends and solutions.** Ed. Lancaster, Technomic Pub.Co., USA. 264 p. 1994.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment. SETAC Press. Pensacola-FL. 188 p., 1993.

SHREVE, R.N.; BRINK JR., J.A.; **Indústria de Processos Químicos.** 4ª Edição. Editora Guanabara. Rio de Janeiro-RJ. 717 p. 1997.

SIDRAK, Y.L. **Dynamic Simulation Approach to Digester Ratio Control in Alumina Production.** Ind. Eng. Chemical Research. Arábia Saudita. N.37 (4), p. 1404-1409, 1998.

SILVA, P.G.S. **Inovação ambiental na gestão de embalagens de bebidas em Portugal**. Lisboa, 2002. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

SOUZA, F.M. **Análise Econômica da Implantação de um Sistema de Transporte Combinado Rodo-Ferroviário no Corredor Bauru - São Paulo**. Departamento de Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia de Bauru-UNESP. Bauru-SP. Anais do XII Simpósio de Engenharia de Produção. 12 p., 2005.

TETRA PAK LTDA. **A Embalagem e o Meio Ambiente**. Manual Tetra Pak. 32 p. 1998.

TIBOR, T.; FELDMAN, I. **ISO 14000: a guide to the new environmental management standards**. Chicago: Irwin Professional Publishing, p.131-150, 1990.

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

VALT, R.B.G. **Análise do ciclo de vida de embalagens pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. Curitiba, 2004. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná.

VIDALES, G.M.D. **El envase em el tiempo: história del envase**. Ed. Trillas, México. 448 p. 1999.

VIGON, B. W.; TOLLE, D. A. CORNARY, B. W. LATHAN,H. C.;C. HARRISON, L.; BOUGUSKI, T. L.; HUNT, R. G.; SELLERS, J. D. **Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles**. Environmental Protection Agency - Risky Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati, U.S, 1993.

VILHENA, A.; D'ALMEIDA, M.L.O. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. CEMPRE/IPT. São Paulo-SP. 392 p. 2002.

XAVIER J. H. V.; PIRES, A.C. Uso potencial da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para a caracterização de impactos ambientais na agricultura. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 21, n. 2, p.311-341, maio/ago. 2004.

ZABANIOTOU, A.; KASSIDI, E. **Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper**. Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Journal of Cleaner Production. Greece, n. XX, p. 1-11, 2003.

ANEXO I

Formulários de coleta de dados

LOCAL: Empresa no estado de SP.				
PROCESSO/ATIVIDADE: Extração de areia				
PRODUTO: areia		QUANTIDADE: 280 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Diesel	2000 L		Resíduo mineral	300 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo):				
Tipo de transporte utilizado: ferroviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado de SP.</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: extração de dolomita</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: dolomita</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 215 t.</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>1500 L</td><td>Resíduo mineral</td><td>200 kg</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo):</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: ferroviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 400 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado de SP.</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: extração de calcário</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: calcário</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 200 t.</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>1400 L</td><td>Resíduo mineral</td><td>250 kg</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo):</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: ferroviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 400 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado de SP.</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: extração de feldspato</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: feldspato</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 130 t.</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>950 L</td><td>Resíduo mineral</td><td>120 kg</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo):</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: ferroviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 400 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

LOCAL: Empresa no estado de SP.				
PROCESSO/ATIVIDADE: fabricação do vidro				
PRODUTO: vidro		QUANTIDADE: 40 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	4000 L.		Cinzas	2 t.
Óleo (combustível)	40 L		Perdas no processo	5 t.
NaCl	2000 L		Efluentes	4000 L
NaOH	9000 L		Resíduos sólidos (embalagens)	1,4 t.
Areia	28 t.			
Barrilha	6 t.			
Dolomita	3,5 t.			
Calcário	2,8 t.			
Feldspato	5,5 t.			
GLP	100 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 1400000 MJ				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado de SP.				
PROCESSO/ATIVIDADE: fabricação de garrafas de vidro				
PRODUTO: garrafas de vidro		QUANTIDADE: 1500 garrafas		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Diesel (óleo)	120 L		Perdas no processo	160 kg
Água	400 L		Efluentes	400 L
Vidro	4500 kg			
GLP	21 kg			
Lenha	40 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 3300 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 600 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado do PR</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: Preparação das garrafas para envase (lavagem)</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: garrafas de vidro para envase de refrigerante</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 10000 garrafas</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Óleo (combustível)</td><td>40 kg</td><td>Efluentes</td><td>1600 L</td></tr>
<tr><td>Água</td><td>1600 L</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 6000 MJ</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

LOCAL: Empresa no estado do PA				
PROCESSO/ATIVIDADE: Fabricação de tampas				
PRODUTO: tampas para garrafas de vidro		QUANTIDADE: 1000000 de tampas	DATA: 2004/2005	
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	100 L		Perdas no processo	370 kg
Chapa metal	2100 kg		Efluentes	100 L
Óleo (combustível)	110 kg		Resíduos sólidos	1,5 kg
PVC	260 kg			
Cromo	17 kg			
Óxido de cromo	8,5 kg			
Tinta e verniz	41 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 2400 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 3500 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado de SP.				
PROCESSO/ATIVIDADE: reciclagem de garrafas de vidro				
PRODUTO: garrafas e cacos		QUANTIDADE: 5 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Óleo (combustível)	15 L		Cinzas	2,5 kg
Água	1500 L		Efluentes	1500 L
Cacos (vidro)	5300 kg		Resíduos sólidos	15 kg
Lenha	140 kg			
NaOH	49 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 87000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado de MG</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: extração da bauxita</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: bauxita</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 50 t.</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>350 L</td><td>Resíduo mineral</td><td>160 kg</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo):</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: rodoviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 20 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

LOCAL: Empresa no estado de MG.				
PROCESSO/ATIVIDADE: produção de alumina				
PRODUTO: alumina		QUANTIDADE: 150 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Óleo (combustível)	23000 L		Resíduo mineral	550 kg
Água	32000 L		Efluentes	51500 L
Bauxita	375 t.		Resíduo sólido	153,5 t.
Vapor	19 t.			
Soda	21 t.			
Sal	360 kg			
Floculante	150 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 1900000 MJ				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado de MG				
PROCESSO/ATIVIDADE: eletrólise / fundição				
PRODUTO: lingotes de alumínio		QUANTIDADE: 260 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Alumina	497 t.		Cinzas	21300 kg
Água	33 m^3		Efluentes	33 m^3
Diesel (óleo)	8850 L		Perdas no processo	176 t.
Óleo (combustível)	70000 L		Resíduo mineral	33300 kg
Carbono eletrodo	70 t.			
Carvão cuba	625 kg			
Aço	256 kg			
AlF_2	7800 kg			
$Al(OH)_3$	490 kg			
H_2SO_4	1230 kg			
Coque	60 t.			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 38000000 MJ				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado de MG				
PROCESSO/ATIVIDADE: laminação				
PRODUTO: chapas de alumínio		QUANTIDADE: 50 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	140 L		Efluentes	140 L
Óleo (combustível)	190 L		Perdas no processo	4,2 t.
Lingotes de alumínio	55 t.		Resíduos sólidos	1,2 t.
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 525000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 350 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado de SP				
PROCESSO/ATIVIDADE: produção de latas de alumínio				
PRODUTO: latas de alumínio		QUANTIDADE: 300000 latas		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Chapas de alumínio	5,2 t.		Perdas no processo	550 kg
Óleo (combustível)	9 L		Resíduos sólidos	245 kg
Diesel (óleo)	200 L			
Tinta	20 kg			
Resina	25 kg			
Produtos de limpeza	1 kg			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 27000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado do PR</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: lavagem das latas (preparação para envase)</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: latas de alumínio</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 25000 latas</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="5"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Latas de alumínio</td><td>390 kg</td><td>Efluentes</td><td>1200 L</td></tr>
<tr><td>Água</td><td>1200 L</td><td>Perdas no processo</td><td>97 kg</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>2,5 L</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 3600 MJ</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: rodoviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 100 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

LOCAL: Empresa no estado de SP				
PROCESSO/ATIVIDADE: reciclagem de latas de alumínio				
PRODUTO: lingotes de alumínio		QUANTIDADE: 50 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Latas descartadas / usadas	56 t.		Cinzas	1500 kg
Diesel (óleo)	1500 L		Resíduos sólidos	2200 kg
			Refugo do processo	2900 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 68500 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: extração de petróleo				
PRODUTO: petróleo		QUANTIDADE: 37000 barris		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Diesel (óleo)	1950 L		Efluentes	12407000 m^3
Água	12300000 m^3		Perdas no processo	540 t.
			Resíduos de embalagens	274 t.
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 219000000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: oleoduto				
Distância até a próxima etapa do processo: 40 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: Refino do petróleo				
PRODUTO: nafta		QUANTIDADE: 500 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Petróleo	6500 t.		Perdas no processo	1 t.
Água	730 m^3		Resíduos de destilação	1,5 t.
Óleo	200000 L		Efluentes	1100 m^3
			Plásticos	95 t.
			Outros produtos	3000 t.
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 38300000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: oleoduto				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: Refino do petróleo – obtenção de etileno e p-xileno				
PRODUTO: etileno e p-xileno		QUANTIDADE: 3,5 t. de etileno e 3,2 t. de p-xileno		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	13800 m^3		Efluentes	13900 m^3
Óleo	375 L		Perdas no processo	1600 t.
Nafta	17800 t.		Outros produtos	9400 t.
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 723000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: oleoduto				
Distância até a próxima etapa do processo: 1 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos. - Capacidade de produção de etileno: 1200000 t/ano - Capacidade de produção de p-xileno: 230000 t/ano				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: Produção do DMT				
PRODUTO: DMT		QUANTIDADE: 7300 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	1700 m^3		Efluentes	1400 m^3
Óleo	460 L		Perdas no processo	160 t.
p-xileno	3200 t.			
Metanol	2200 t.			
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 89000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: oleoduto				
Distância até a próxima etapa do processo: 1 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos. - Capacidade de produção: acima de 80000 t/ano				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: produção de MEG				
PRODUTO: MEG		QUANTIDADE: 3300 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	960 m^3		Efluentes	960 m^3
Etileno	3500 kg		Perdas no processo	167 kg
			Resíduos sólidos	18 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 50000 MJ				
Tipo de transporte utilizado: oleoduto				
Distância até a próxima etapa do processo: 5 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: fabricação da resina de PET				
PRODUTO: resina PET		QUANTIDADE: 15 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	4500 L		Efluentes	4500 L
Diesel (óleo)	1850 L		Água de reação	1500 kg
DMT	14200 kg		Perdas no processo	344 kg
MEG	6800 kg		Metanol	3800 kg
			Resíduos sólidos (embalagens)	175 kg
			Cinzas	56 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 122000 MJ				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: fabricação da preforma				
PRODUTO: preforma de PET		QUANTIDADE: 5 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	395 L		Efluentes	395 L
Diesel (óleo)	24 L		Perdas no processo	65 kg
Resina de PET	5200 kg		Resíduos sólidos (embalagens)	24 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 2950 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 1800 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

<table>
<tr><td colspan="5">LOCAL: Empresa no estado de SP</td></tr>
<tr><td colspan="5">PROCESSO/ATIVIDADE: produção de rótulos</td></tr>
<tr><td colspan="2">PRODUTO: rótulos para garrafas de PET</td><td colspan="2">QUANTIDADE: 4000000 de rótulos de PEBD</td><td>DATA: 2004/2005</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE MASSA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ENTRADAS
(matérias-primas, recursos naturais)</td><td rowspan="6"></td><td colspan="2">SAÍDAS
(emissões, efluentes, resíduos sólidos)</td></tr>
<tr><td>Material</td><td>Quantidade</td><td>Material</td><td>Quantidade</td></tr>
<tr><td>Água</td><td>2250 L</td><td>Efluentes</td><td>2300 L</td></tr>
<tr><td>Diesel (óleo)</td><td>360 L</td><td>Perdas no processo</td><td>90 kg</td></tr>
<tr><td>Flocos de resina de PEBD</td><td>8200 kg</td><td>Cinzas</td><td>10,5 kg</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Resíduos sólidos (embalagens)</td><td>147 kg</td></tr>
<tr><td colspan="5">BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 3850 MJ</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de transporte utilizado: rodoviário</td></tr>
<tr><td colspan="5">Distância até a próxima etapa do processo: 400 km</td></tr>
<tr><td colspan="5">Comentários:
- Os valores fornecidos são aproximados.
- Itens em branco não foram fornecidos.</td></tr>
</table>

LOCAL: Empresa no estado de SP				
PROCESSO/ATIVIDADE: produção de tampas				
PRODUTO: tampas para garrafas de PET		QUANTIDADE: 3000000 de tampas de PP		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	2300 L		Efluentes	2300 L
Diesel (óleo)	580 L		Perdas no processo	980 kg
Flocos de resina de PEBD	8850 kg		Resíduos sólidos (embalagens)	410 kg
			Cinzas	114 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 12200 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado do PR				
PROCESSO/ATIVIDADE: fabricação das garrafas / preparação para envase				
PRODUTO: garrafas de PET		QUANTIDADE: 1750 kg		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	3200 L		Efluentes	3200 L
Diesel (óleo)	20 L		Perdas no processo	25 kg
Preformas de PET	2030 kg		Cinzas	1,6 kg
			Resíduo inerte	54 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 11200 MJ				
Tipo de transporte utilizado: rodoviário				
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

LOCAL: Empresa no estado da BA				
PROCESSO/ATIVIDADE: reciclagem de garrafas de PET				
PRODUTO: flocos de resina de PET		QUANTIDADE: 5 t.		DATA: 2004/2005
BALANÇO DE MASSA				
ENTRADAS (matérias-primas, recursos naturais)			SAÍDAS (emissões, efluentes, resíduos sólidos)	
Material	Quantidade		Material	Quantidade
Água	7500 L		Perdas no processo	71 kg
Diesel (óleo)	56,5 L		Efluentes	7500 L
Garrafas de PET	2700 kg		Resíduos sólidos	650 kg
BALANÇO DE ENERGIA (consumo): 51000 MJ				
Tipo de transporte utilizado:				
Distância até a próxima etapa do processo:				
Comentários: - Os valores fornecidos são aproximados. - Itens em branco não foram fornecidos.				

ANEXO II

Resultados com o software UMBERTO

Figura 32 – Etapas do ciclo de vida das garrafas de vidro

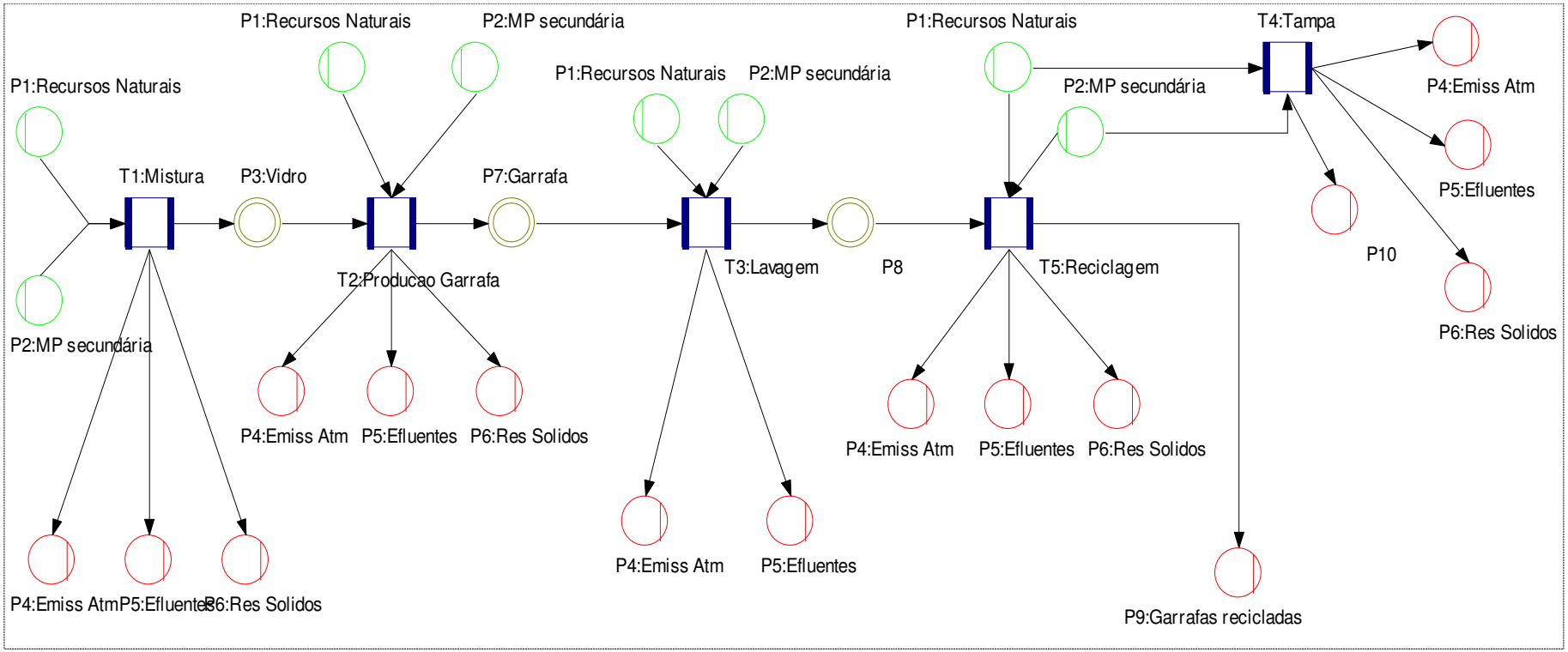


Figura 33 – Etapas do ciclo de vida das latas de alumínio

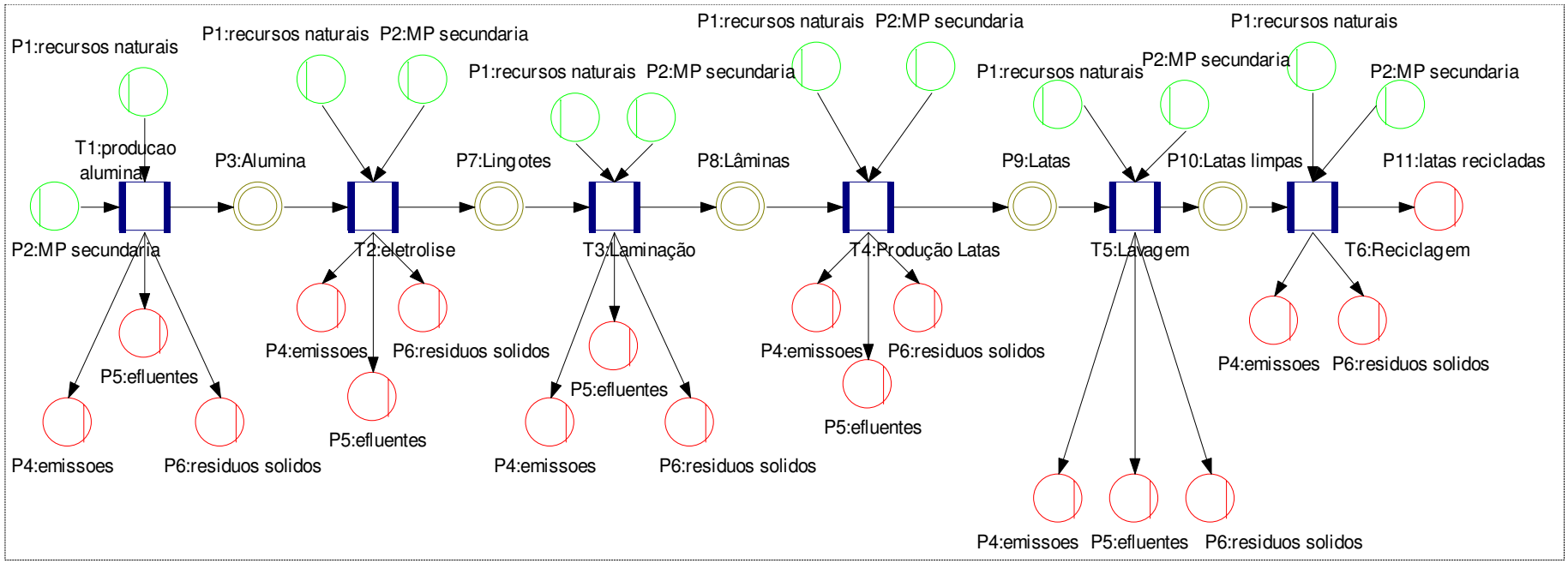


Figura 34 – Etapas do ciclo de vida das garrafas de PET

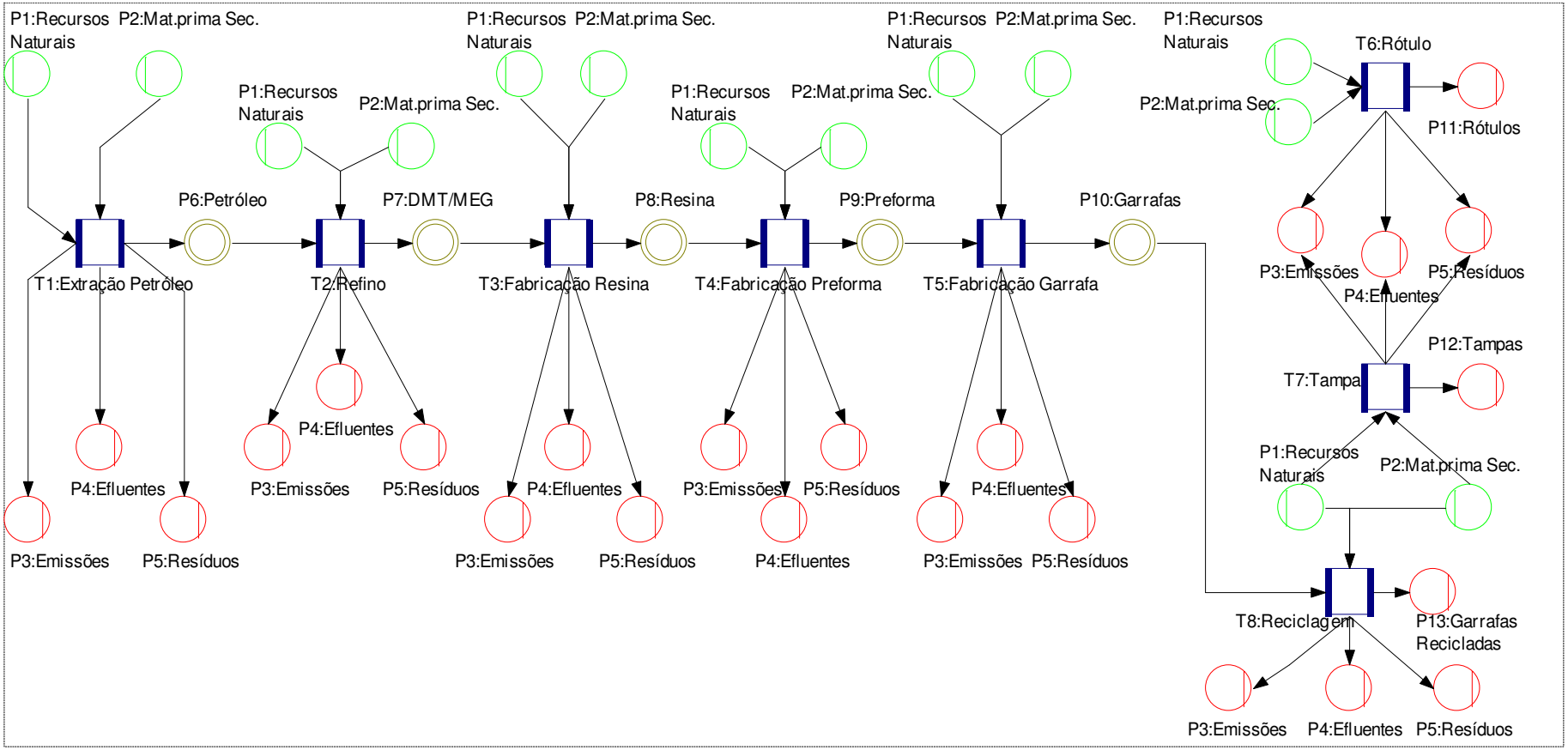


Figura 35 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das garrafas de vidro

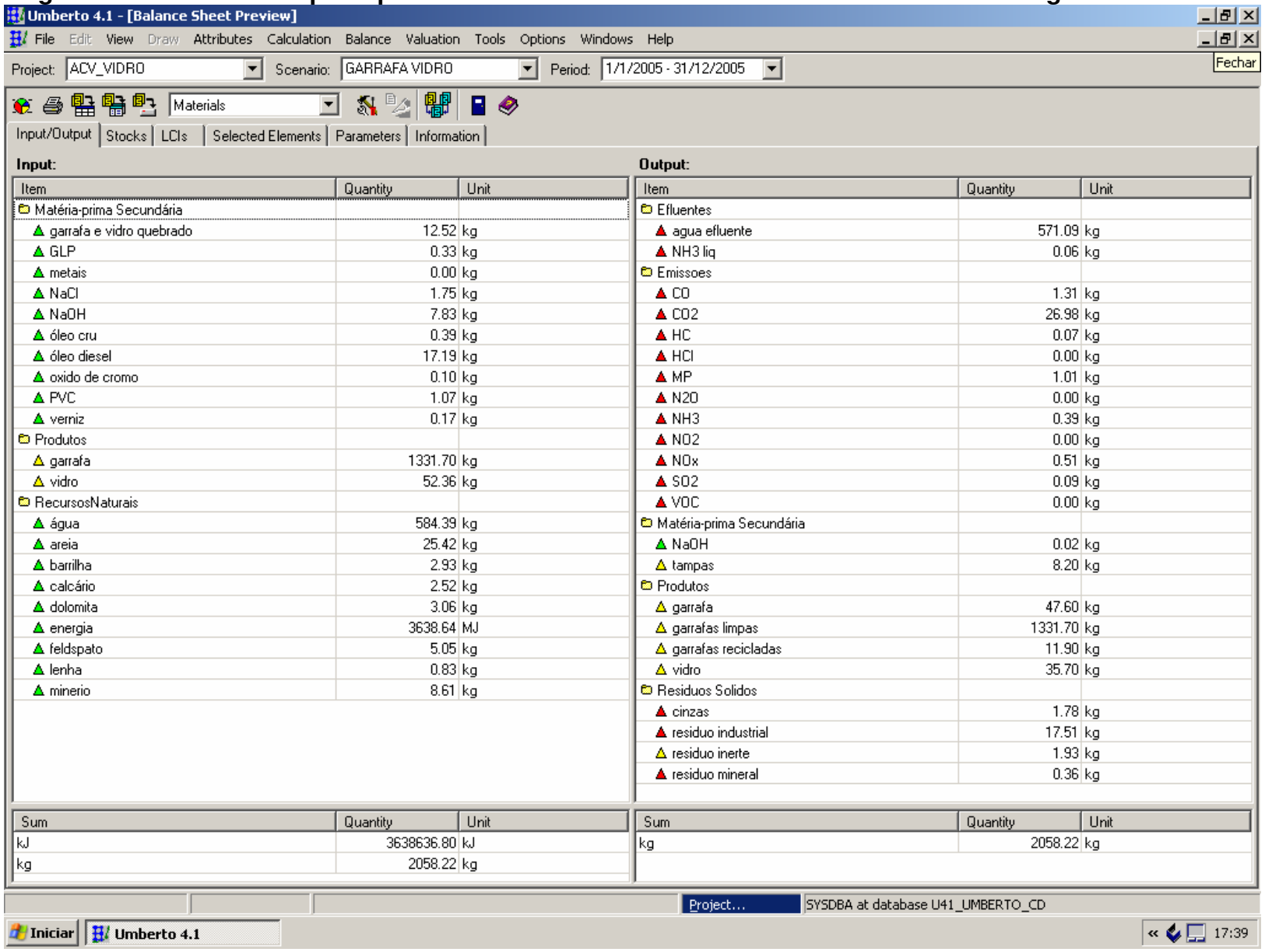


Figura 36 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das latas de alumínio

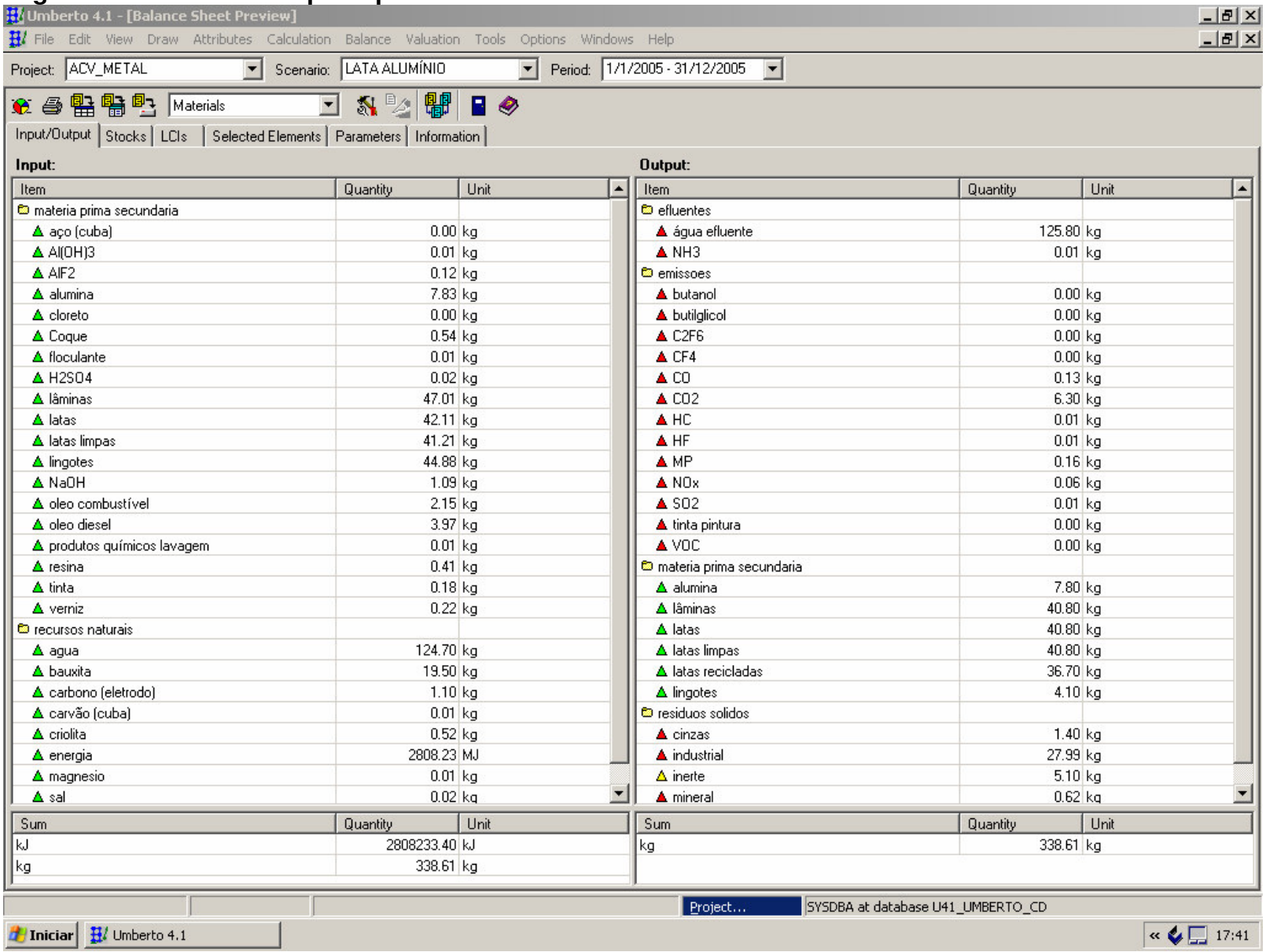


Figura 37 – Resumo das principais entradas e saídas de materiais do ciclo de vida das garrafas de PET

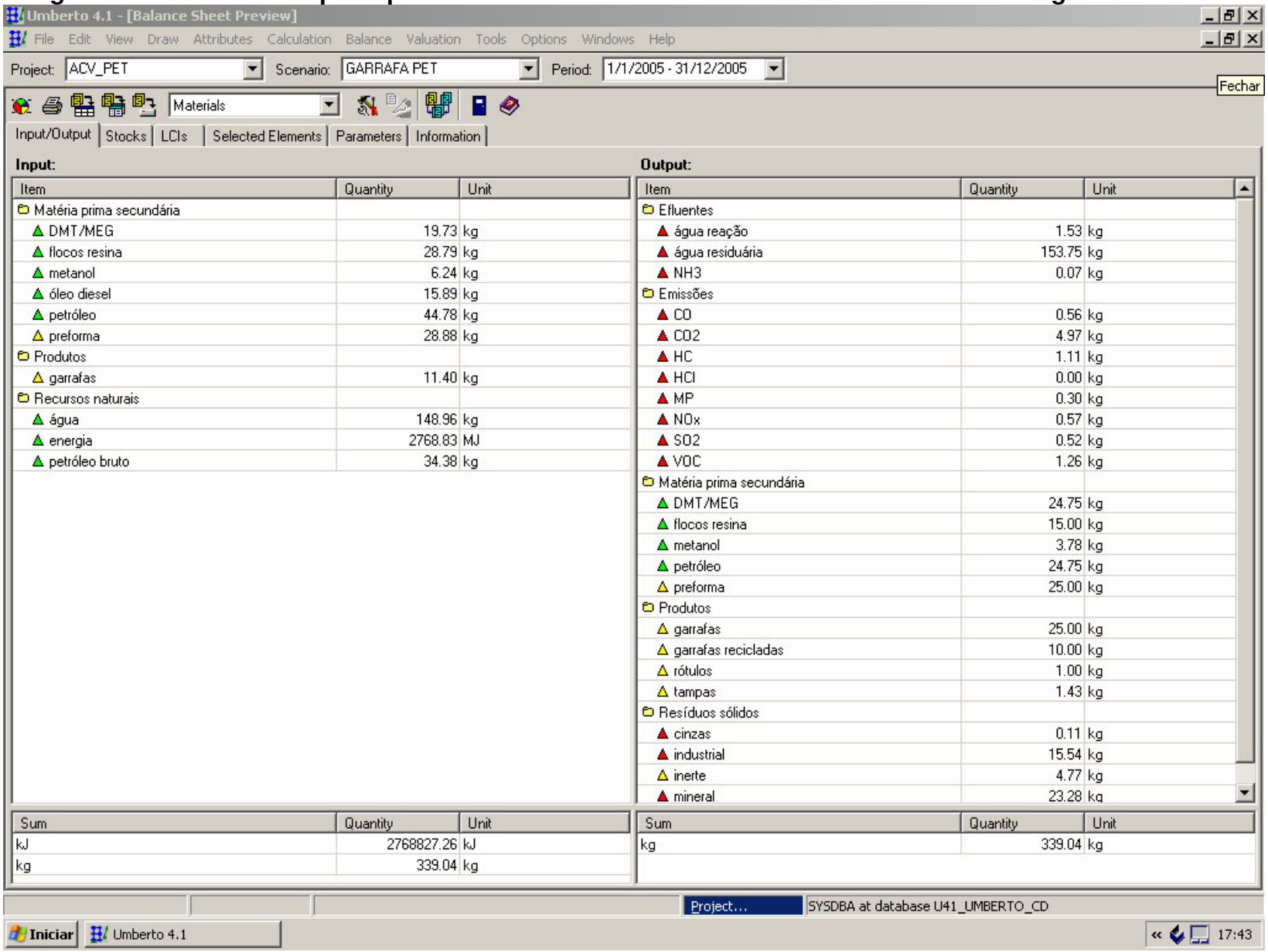


Figura 38 – Consumo de energia nos ciclos de vida das embalagens

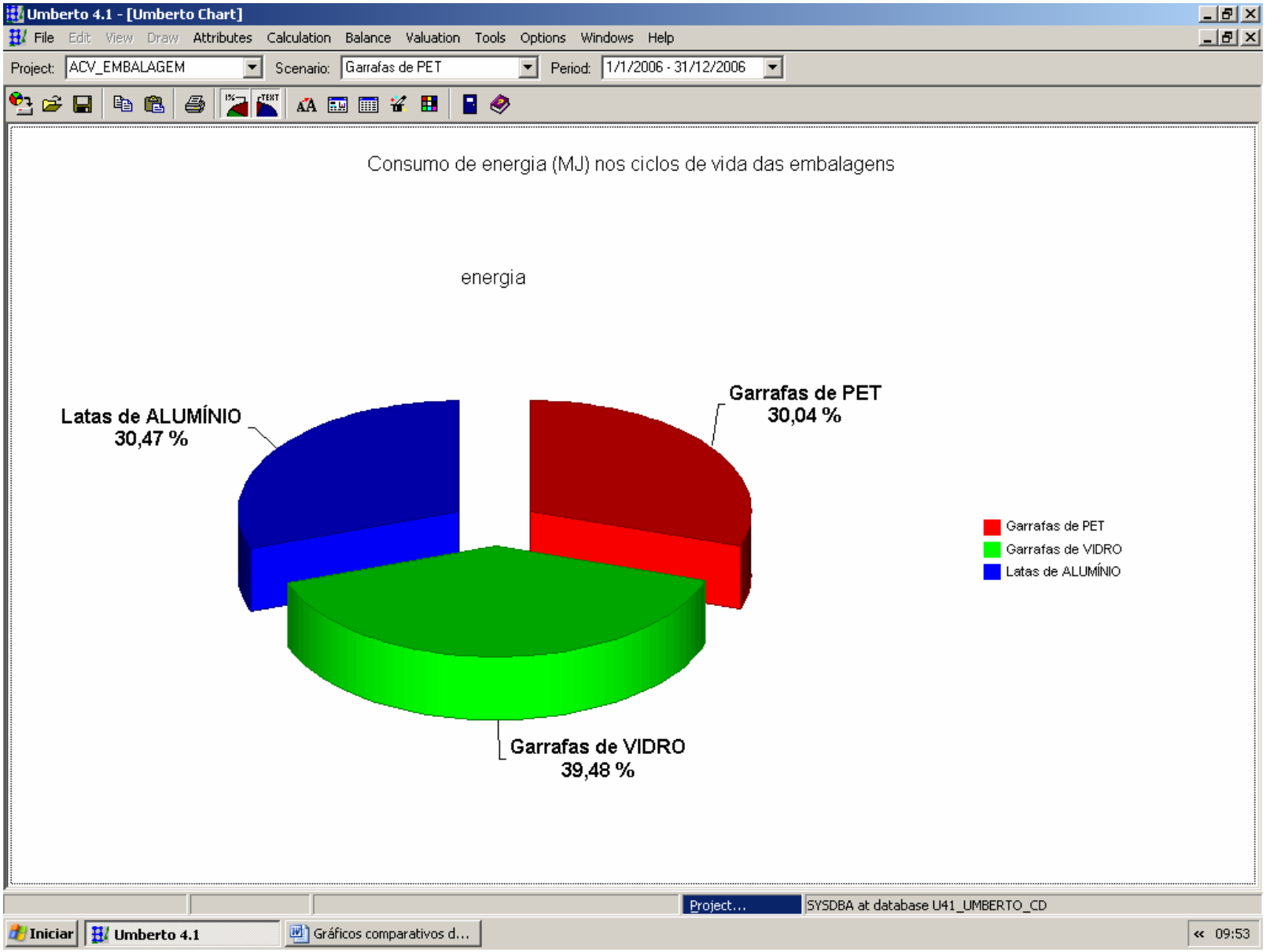


Figura 39 – Consumo de água nos ciclos de vida das embalagens (kg)

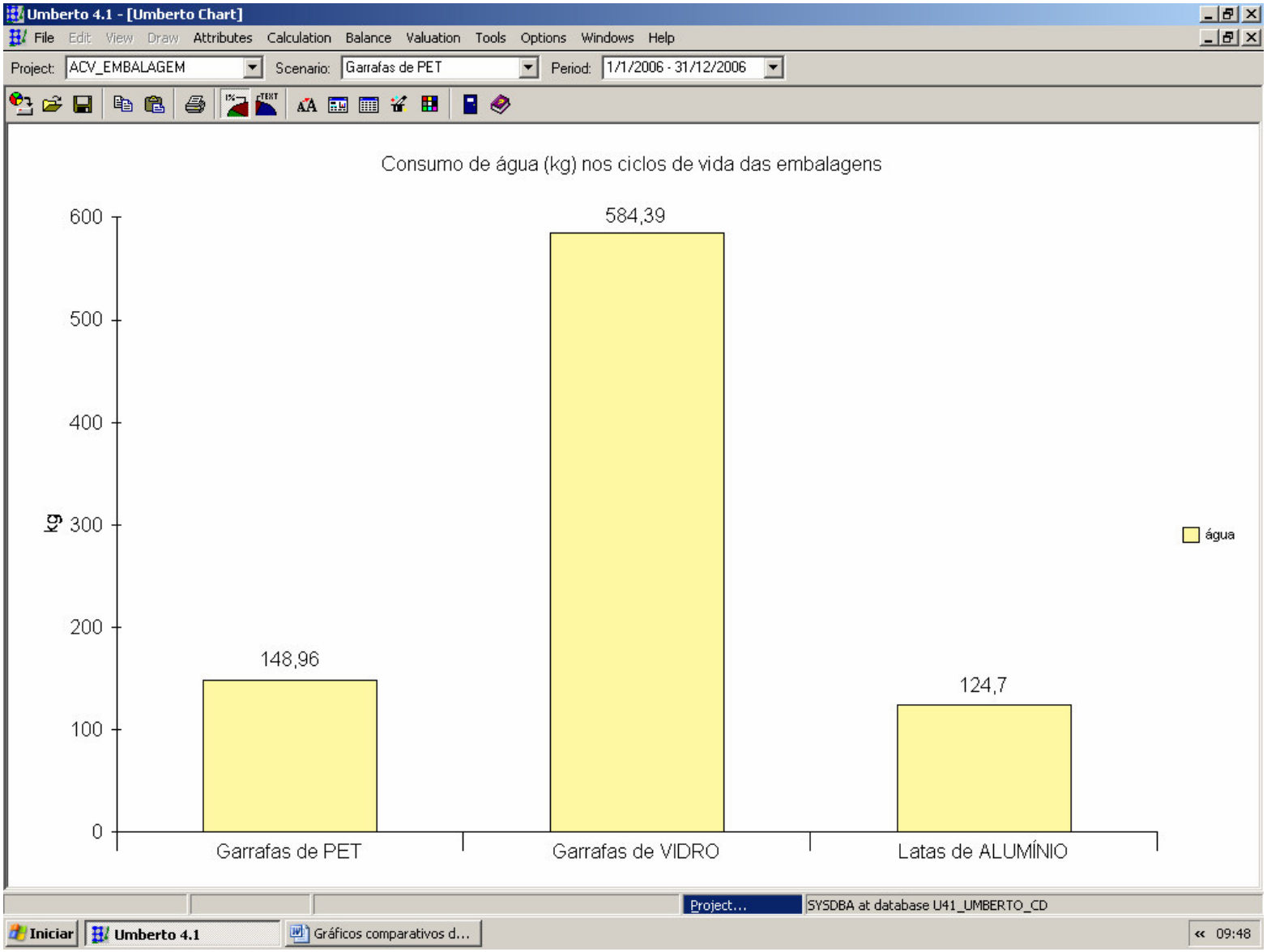


Figura 40 – Geração de efluentes líquidos nos ciclos de vida das embalagens (kg)

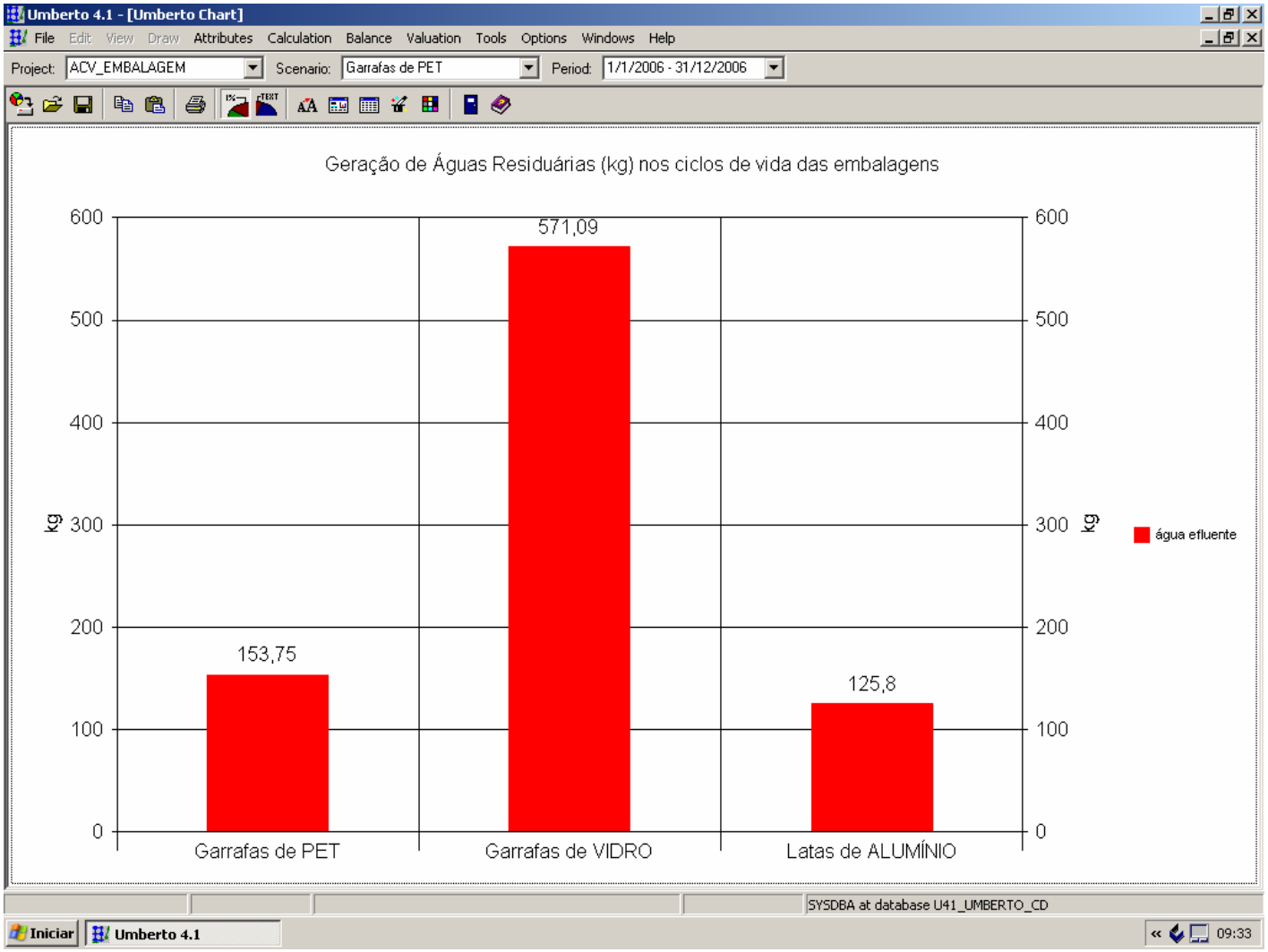


Figura 41 – Emissões atmosféricas geradas nos ciclos de vida das embalagens

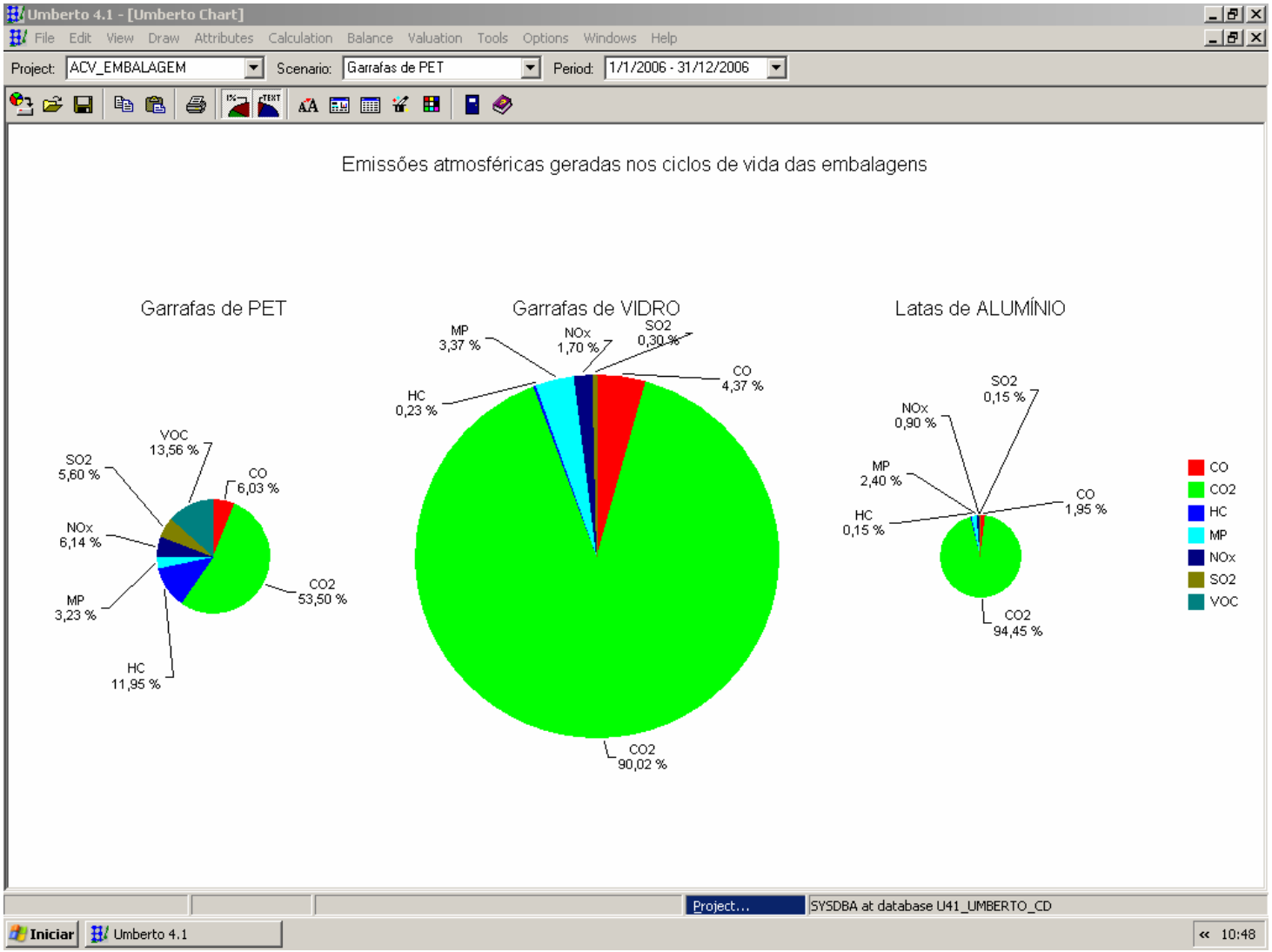
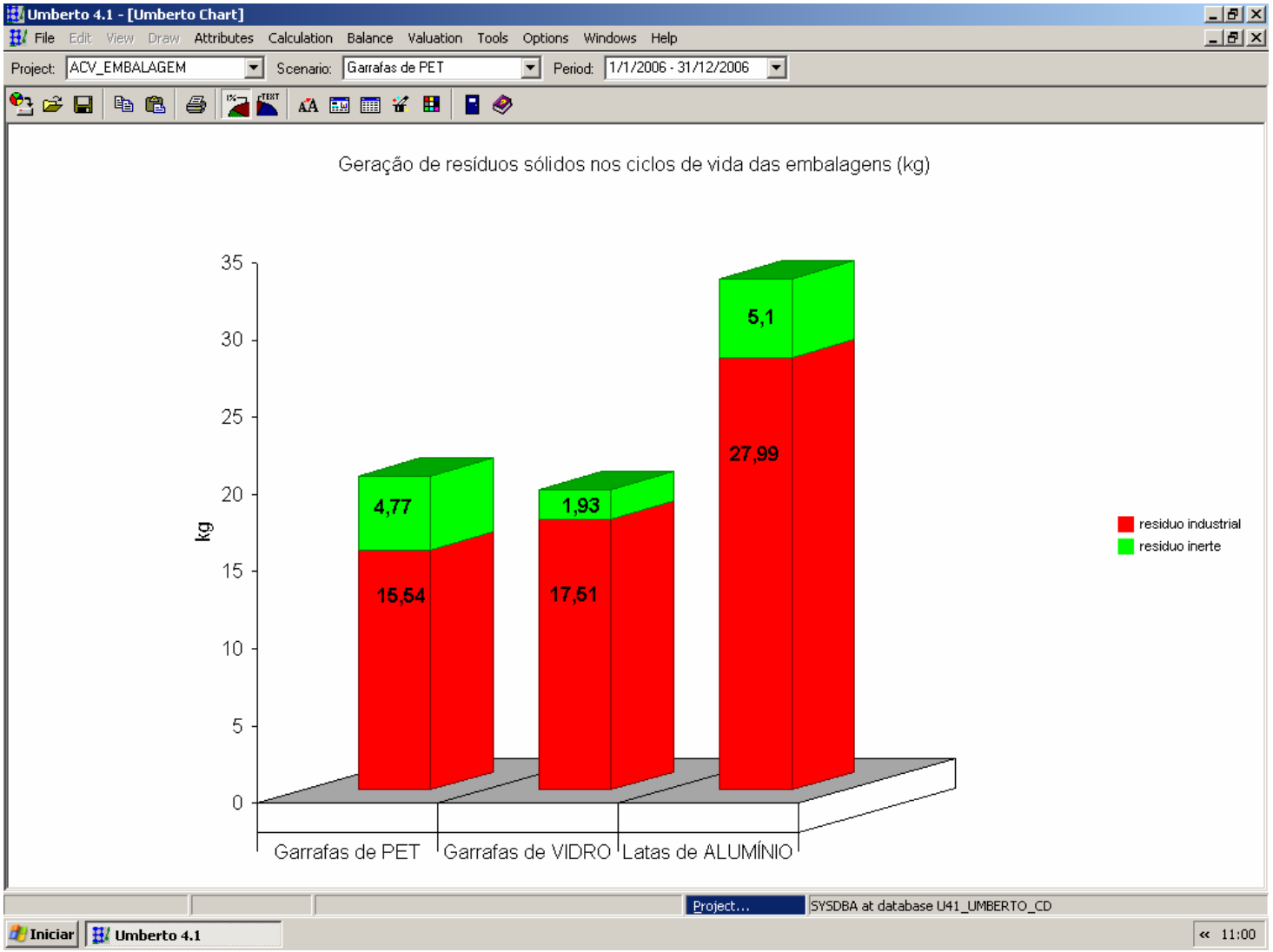


Figura 42 – Resíduos sólidos gerados nos ciclos de vida das embalagens



Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

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