

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Comparação do Consumo de Energia e Emissão  
de CO<sub>2</sub> entre Garrafas de PET e de Vidro,  
Utilizando Análise Ambiental de Ciclo de Vida**

Autora: **Andréa Rodrigues Fabi**

Orientador: **Waldir Antonio Bizzo**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F112c Fabi, Andréa Rodrigues  
Comparação do consumo de energia e emissão de  
CO<sub>2</sub> entre garrafas de PET e de vidro, utilizando análise  
ambiental de ciclo de vida / Andréa Rodrigues Fabi. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Waldir Antonio Bizzo  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Plásticos na embalagem. 2. Reciclagem industria.  
3. Garrafas. I. Bizzo, Waldir Antonio. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: Comparison between glass bottles and PET bottles for energy  
utilization and carbon dioxide emission, using environmental life  
cycle assessment.

Palavras-chave em Inglês: Package plastic, Industrial recycle e Bottles

Área de concentração: Planejamento Energético

Titulação: Mestre em engenharia Mecânica

Banca examinadora: Arnaldo César da Silva Walter e Maria Zanin

Data da defesa: 17/11/2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Comparação do Consumo de Energia e Emissão  
de CO<sub>2</sub> entre Garrafas de PET e de Vidro,  
Utilizando Análise Ambiental de Ciclo de Vida**

Autora: **Andréa Rodrigues Fabi**

Orientador: **Waldir Antonio Bizzo**

Curso: Planejamento Energético

Dissertação de Mestrado apresentada a comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Campinas, 2004

SP – Brasil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Comparação do Consumo de Energia e Emissão  
de CO<sub>2</sub> entre Garrafas de PET e de Vidro,  
Utilizando Análise Ambiental de Ciclo de Vida**

Autora: **Andréa Rodrigues Fabi**

Orientador: **Waldir Antonio Bizzo**

---

Prof. Dr. Waldir Antonio Bizzo, Presidente

FEM,UNICAMP

---

Prof. Dr. Arnaldo Cezar da Silva Walter

FEM,UNICAMP

---

Prof. Dra. Maria Zanin

DEMa,UFSscar

Campinas, 22 de Novembro de 2004

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus filhos Flávio e Priscila

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado em todas as horas.

Ao professor Waldir Bizzo, não só pela orientação deste trabalho, mas também pela amizade, pelos princípios e pela confiança.

A todos os professores da Energia e da Engenharia Térmica e de Flúidos pela formação recebida.

Ao professor Arnaldo César pela participação na banca examinadora e pelas sugestões conferidas em meu exame de qualificação.

À professora Maria Zanin , que me honrou pela participação na banca examinadora.

Ao Sr. Waldir Fadel da Indústria Porto Ferreira, pela recepção e pelas informações cedidas.

À Forquímica, à Transportadora Americana e à Distribuidora de Bebidas Jaguariúna, pelos dados relativos ao transporte de cargas no Brasil.

À Engratech , pelos dados e pela atenção dispensada em nossas visitas.

Ao meu amigo José Jerônimo Teixeira, pela amizade, jovialidade e pelos dados obtidos no Departamento de Limpeza Urbana do município de Campinas.

À ABIVIDRO, pela colaboração e pelas informações prestadas.

Aos funcionários da Biblioteca da área de Engenharia (BAE) pela atenção dispensada sempre.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Térmica e de Flúidos (DETF) onde desenvolvi todo o trabalho.

## **Agradecimentos Especiais**

Aos meus filhos Priscila e Flávio, pela paciência nas inúmeras horas de ausência.

Aos meus pais Fábio e Vera, pelo carinho, colaboração, dedicação e exemplo de força de vida.

À minha avó Emérita, pelo incentivo e pelo apoio em todos os momentos.

Ao meu querido amigo José Agostinho de Figueiredo Silva Filho, pelas inúmeras e intermináveis horas de dedicação, carinho, apoio e amizade.

Aos meus irmãos Fábio e Cláudio e à minha cunhada Mara. Obrigado por toda a ajuda que recebi durante esses anos. É um grande privilégio contar com o apoio incondicional de todos vocês.

Às minhas sobrinhas Rafaela e Elis, que trazem grandes alegrias para minha vida.

A todos meus tios, tias, primos e primas, pela família maravilhosa que vivemos.

A minha amiga Iraci pelo companheirismo, cumplicidade e apoio em todos estes anos.

Ao meu amigo “ Carioca”, pela colaboração, às horas dedicadas ao estudo e experiência.

Ao meu amigo Adriano, por toda cooperação como “engenheiro mecânico”.

Aos amigos do DETF, Iraci, Renata, Flávio, Júlio, Vinícius, Adriano, Jerônimo, Guilherme, Paulo e Marcos, pelos bons momentos que passamos juntos.

Ao meu amigo Aldionso pelo socorro de última hora.

Aos meus diretores Rosali e Alberto, à minha companheira de coordenação Silmara e à professora Carmen pela disposição e colaboração para que meus horários de trabalho fossem compatíveis com o Curso de Mestrado.

## **Resumo**

Fabi, Andréa Rodrigues, Comparação do consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> entre garrafas de PET e de vidro, utilizando análise ambiental de ciclo de vida, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 122 p. Tese de Mestrado.

Atualmente o mercado de embalagens apresenta grande evolução, isto ocorre porque a escolha das embalagens, que são utilizadas em diversos produtos, considera também a busca por tecnologias mais limpas, e não só os custos e a preferência do consumidor. Para gerenciar a escolha de embalagens que afetem menos o meio ambiente é utilizada a Avaliação de Ciclo de Vida. Esta ferramenta permite medir os impactos gerados e também a utilização de recursos naturais, desde a extração de matéria-prima até a disposição final. Neste estudo foi feita a comparação entre garrafas de vidro retornáveis e garrafas de PET não retornáveis, em relação ao consumo de energia e emissão de dióxido de carbono. No ciclo de vida das garrafas foram consideradas as etapas de fabricação, distribuição e reutilização. O resultado obtido mostra que as garrafas de vidro são melhores em relação ao consumo de energia e emissão de dióxido de carbono para pequenas distâncias percorridas, mesmo que estas tenham que retornar à indústria para serem lavadas. Entretanto, dados como distancia percorrida para distribuição do produto e o número de vezes que a garrafa de vidro pode ser reutilizada, pode alterar os resultados na comparação final.

Palavras Chave : Embalagem,Avaliação de Ciclo de Vida,garrafa

## **Abstract**

Fabi, Andréa Rodrigues, Comparison between glass bottles and PET bottles for energy utilisation and carbon dioxide emission, using environmental life cycle assessment , Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 122 p. Tese de Mestrado.

Nowadays the packing market presents great evolution, this happens because the packing choice, which are used in several products, that also consider the search for cleaner technologies, and not only the costs and the consumer's preference. To manage packing choice, which get to affect less the environment, is used LIFE CYCLE ANALYSIS, this method gets to measure the produced impacts and also the use of natural resources, from raw material extraction to final disposition. This study did the comparison between glass bottles reusable and bottles made of PET not reusable, this comparison was did for energy used and carbon dioxide emission. In the life cycle of the bottles were considered some stages such as, production, distribution and reuse. The result obtained shows glass bottles are better, if we think over energy used and carbon dioxide emission, this for small journey even that the glass bottles have to return to industry to de washed. However, data as journey for distribution of products and how many times glass bottles can be reused, they could change results in final comparison.

Key words: Package, Life Cycle Analysis, bottles, Reusable .

# Índice

<b>Capítulo 1</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução	1
<b>2 Capítulo 2</b>	<b>3</b>
2.1 Revisão da Literatura	3
2.1.1 Geração de Resíduos Sólidos	3
2.1.2 Reciclagem de Plásticos	10
2.1.3 Reciclagem de Vidro	13
2.1.4 Histórico e Utilização de Embalagens	18
2.2 Vidro	23
2.2.1 Produção de Garrafas de Vidro	29
2.2.2 Composição e Mistura	30
2.2.3 Fusão	31
2.2.4 Distribuição ou Alimentação	32
2.2.5 Conformação	33
2.2.6 Recozimento	33
2.2.7 Tratamentos	33
2.2.8 Controles	33
2.2.9 Decoração	34
2.3 PET (Politereftalato de Etileno)	34
2.3.1 Fabricação de Garrafas de PET	41
2.3.2 Secagem	42
2.3.3 Injeção	42
2.3.4 Sopro e Estiramento	42
2.4 Análise de Ciclo de Vida	43

2.5	Consumo de Energia e Emissões _____	48
2.6	Emissão de Dióxido de Carbono e Efeito Estufa _____	49
2.7	Consumo e Emissão nos Principais Processos _____	51
<b>3</b>	<b>Capítulo 3</b> _____	<b>54</b>
3.1	Metodologia _____	54
3.1.1	Definição dos Objetivos _____	54
3.1.2	Empresas Consultadas _____	59
<b>4</b>	<b>Capítulo 4</b> _____	<b>60</b>
4.1	Inventário e Coleta de Dados _____	60
4.1.1	Ciclo de Vida de Garrafas de Vidro Retornáveis _____	60
4.1.2	Produção da Garrafa _____	61
4.1.3	Reutilização da Garrafa _____	65
4.1.4	Ciclo de Vida do PET _____	68
4.1.5	Produção da Resina _____	69
4.1.6	Injeção e Sopro _____	69
4.1.7	Transporte _____	72
4.1.8	Disposição Final _____	76
<b>5</b>	<b>Capítulo 5</b> _____	<b>79</b>
5.1	Análise dos Resultados _____	79
5.1.1	Inventário do Ciclo de Vida da Garrafa de Vidro _____	79
5.1.2	Inventário do Ciclo de Vida do PET _____	81
5.1.3	Comparação PET x Vidro _____	83
<b>6</b>	<b>Capítulo 6</b> _____	<b>95</b>
6.1	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros _____	95
6.1.1	Conclusão _____	95
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros _____	98
<b>7</b>	<b>Referências Bibliográficas</b> _____	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>Apêndices</b> _____	<b>104</b>



## Lista de Figuras

<i>Figura 1 – Disposição Final do Resíduo Urbano - Fonte: CEMPRE/IPT, 2000</i>	3
<i>Figura 2 - Ciclos de Reciclagem</i>	9
<i>Figura 3 - Mercado de garrafas de cerveja retornáveis no Brasil. Fonte: SINDCERV, 2001</i>	26
<i>Figura 4– Fluxograma da Produção de Garrafas de Vidro</i>	30
<i>Figura 5 – Forno de Fusão</i>	32
<i>Figura 6 – Fórmula Química do PET</i>	39
<i>Figura 7 – Fluxograma do Processo de Produção de garrafa de PET</i>	39
<i>Figura 8 – Ciclo de Vida do PET</i>	41
<i>Figura 9 – Escopo Geral de uma Análise de Inventário</i>	46
<i>Figura 10- Escopo do Inventário na produção de garrafas de PET</i>	57
<i>Figura 11 Escopo do Inventário da produção de garrafas de vidro</i>	58
<i>Figura 12 – Estágios Analisados no ciclo de vida do vidro</i>	60
<i>Figura 13 – Fluxograma do processo de lavagem e enchimento de garrafas</i>	65
<i>Figura 14 - Estágios Analisados no ciclo de garrafas de PET</i>	68
<i>Figura 15 – Planta do Processo de Injeção e Sopro do PET</i>	71
<i>Figura 16 - Composição do consumo de energia no ciclo de vida de garrafas de vidro</i>	80
<i>Figura 17- Consumo de Energia no ciclo de vida do PET</i>	82
<i>Figura 18 - Comparação do consumo de energia no transporte para distribuição do PET e vidro(ida e volta), para 1.000 litros de bebida</i>	83
<i>Figura 19 - Comparação do consumo de energia no transporte para distribuição e coleta para disposição final do PET e vidro (ida e volta) para 1.000 litros de bebida</i>	85
<i>Figura 20 - Participação das diversas etapas na emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida das garrafas de vidro</i>	88
<i>Figura 21 - Participação das diversas etapas na emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida das garrafas de PET</i>	88
<i>Figura 22 - Relação do consumo de energia das garrafas de vidro e a reutilização</i>	89
<i>Figura 23 – Comparação do Consumo de Energia no Ciclo de Vida das Garrafas de PET e de Vidro em relação à reutilização (400 km), para 1.000 litros de bebida:</i>	91
<i>Figura 24 - Variação do consumo de energia em garrafas de vidro com a distância percorrida e as reutilizações da</i>	

<i>garrafa de vidro:</i>	92
<i>Figura 25 - Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 800 km.(ida e volta).</i>	92
<i>Figura 26- Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 1600 km (ida e volta).</i>	93
<i>Figura 27- Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 2200 km(ida e volta):</i>	93
<i>Figura 28– Variação do consumo de energia e distância percorrida ao se utilizar a garrafa de vidro por 28 vezes (ida e volta)</i>	94

## Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Variação na Composição dos Resíduos Sólidos em São Paulo (% em peso):</i>	4
<i>Tabela 2 - Porcentagem de Domicílios sem Coleta no Brasil:</i>	6
<i>Tabela 3 - Consumo per capita de plástico em alguns países:</i>	10
<i>Tabela 4 - Reciclagem de PET no Brasil:</i>	12
<i>Tabela 5- Índice de Reciclagem de Vidro no Brasil:</i>	14
<i>Tabela 6 - Empresas produtoras de garrafas de vidro no Brasil:</i>	16
<i>Tabela 7 - Evolução do Mercado de Embalagens no Brasil (1000 Toneladas):</i>	20
<i>Tabela 8 - Comparativo de Produção de Embalagens na América Latina - kg/per capita/ano (1996):</i>	21
<i>Tabela 9 – Levantamento das Principais Embalagens Utilizadas em Bebidas Carbonatadas e Cervejas no Mercado Brasileiro em 2003:</i>	22
<i>Tabela 10 – Principais Componentes do Vidro:</i>	24
<i>Tabela 11 - Produção Brasileira de embalagens de Vidro:</i>	25
<i>Tabela 12- Consumo per capita de cerveja na América Latina (litros/habitante):</i>	27
<i>Tabela 13 - Participação do Custo da Cerveja no Brasil:</i>	28
<i>Tabela 14 - Produção Brasileira de Vidro (1000 t):</i>	29
<i>Tabela 15- Evolução da Demanda de Bebidas Carbonatadas:</i>	40
<i>Tabela 16 - Dados coletados na literatura da Produção de Garrafas de Vidro(1000 litros):</i>	51
<i>Tabela 17 – Dados coletados na literatura da Produção de Garrafas de PET (1000 litros):</i>	52
<i>Tabela 18 – Características dos vasilhames:</i>	54
<i>Tabela 19 –Base de Cálculo de Conversão para os Combustíveis Utilizados:</i>	55
<i>Tabela 20– Principais combustíveis utilizados na indústria vidreira analisada:</i>	61
<i>Tabela 21 – Consumo de energia elétrica na produção do vidro:</i>	62
<i>Tabela 22 - Consumo de GLP na Produção de garrafas de vidro:</i>	63
<i>Tabela 23 - Cálculo do Consumo de Óleo 3A na fabricação de Garrafas de Vidro:</i>	64
<i>Tabela 24 -Total do Consumo Energético e Emissões na Produção de Garrafas de Vidro (1000 litros):</i>	65
<i>Tabela 25 – Consumo de energia na lavadora:</i>	67
<i>Tabela 26 - Consumo Energético para Lavagem de 1.000 litros de Garrafas de Vidro:</i>	68

<i>Tabela 27 - Consumo de Energia para produção da resina para 1.000 litros de bebida:</i>	69
<i>Tabela 28- Consumo energético no processo de injeção e sopro de garrafas de PET:</i>	72
<i>Tabela 29– Consumo de combustível na distribuição:</i>	73
<i>Tabela 30 – Capacidade do Caminhão:</i>	73
<i>Tabela 31 – Relação do consumo e emissão no transporte de 1.000 litros por km rodado:</i>	74
<i>Tabela 32 - Consumo e emissão em relação à distância percorrida para o transporte de 1.000 litros de bebida:</i>	75
<i>Tabela 33 - Cálculo do Consumo e Emissão na Coleta para a Disposição Final:</i>	77
<i>Tabela 34 – Consumo e Emissão na coleta para a disposição final de 1.000 l de bebida:</i>	77
<i>Tabela 35 - Inventário do consumo de energia no ciclo de vida das garrafas de vidro, para 1.000 litros de bebida, com 28 reutilizações:</i>	80
<i>Tabela 36 - Cálculo da Emissão de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida do Vidro :</i>	81
<i>Tabela 37- Cálculo do Consumo de Energia na Produção do PET:</i>	82
<i>Tabela 38 - Emissão de Dióxido de Carbono na Produção de Garrafas de PET:</i>	82
<i>Tabela 39- Comparação do consumo PET x Vidro em relação à distância na etapa de distribuição:</i>	84
<i>Tabela 40- Comparação do consumo de energia nas embalagens de 600 ml para 1000 litros de bebida:</i>	86
<i>Tabela 41 - Distribuição da Energia Utilizada:</i>	87
<i>Tabela 42 - Comparação da Emissão de CO<sub>2</sub> em embalagens de PET e de Vidro, para 1.000 litros de bebida:</i>	87
<i>Tabela 43– Consumo de energia do vidro em relação ao número de reutilizações da garrafa (1.000 litros de bebida):</i>	90

## **Nomenclatura**

ABIPET – Associação Brasileira das Indústrias PET

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

AACV – Avaliação Ambiental de Ciclo de Vida

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CETEA – Centro de Tecnologia de Estudos de Embalagens de Alimentos

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel of Change Climate*

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO – *International Standart Organization*

## **Abreviaturas**

$^{\circ}\text{C}$  – Graus Celsius

$\text{CO}_2$  – Dióxido de Carbono

DMT – Dimetiltereftalato

EUA – Estados Unidos da América

g- gramas

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

h – hora

kJ- Kilojoule

km – Quilômetro

kW – Kilowatt

kWh – Kilowatt hora

l – litro

$\text{m}^3$  – metro cúbico

MJ – Megajoule

MJel – Megajoule elétrico

MJprim– Megajoule Primário

ml – Mililitros

n<sup>o</sup> – número

ONU – Organização das Nações Unidas

PCI – Poder Calorífico Inferior

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PEN – Polinaftalato de Etileno

PET – Politereftalato de Etileno

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVC – Policloreto de Vinila

SINDICERV – Sindicato das Indústrias de Cerveja

t – Tonelada

TPA – Ácido Tereftálico

# Capítulo 1

## 1.1 Introdução

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos e o tratamento adequado desses resíduos é uma questão que vem sendo amplamente discutida atualmente. No setor de embalagens, iniciativas que promovam tecnologias mais limpas, acompanhadas da redução de resíduos e emissões podem ser implantadas. Para isso, o critério na escolha das embalagens utilizadas nos produtos deve considerar o peso, o volume, a geração de resíduos, a energia consumida na manufatura e na distribuição, as emissões e os poluentes gerados.

A conservação de energia é um dos objetivos a serem perseguidos em todos os setores. A indústria de embalagens apresenta aumento crescente na utilização de materiais que consomem uma substancial quantidade de energia na fabricação e na distribuição do produto, como é o caso do vidro e do PET.

O consumo de combustíveis fósseis e a poluição gerada pela emissão de gases na atmosfera são preocupantes, já que poderão influenciar mudanças climáticas significativas. A quantificação dessas emissões em cada fase do ciclo de vida de um produto pode ajudar tanto as indústrias como as políticas a serem adotadas pelos governos na redução de emissões e na minimização dos impactos gerados. O estudo mais completo da utilização de recursos e os impactos gerados por um produto ou em um sistema de embalagens, é a Avaliação Ambiental de Ciclo de Vida, que identifica os efeitos ambientais globais e locais e as possíveis melhorias nesses efeitos, desde a extração da matéria prima até a disposição final. Essa ferramenta começou

a ser utilizada em meados de 1970 e a técnica para sua utilização vem evoluindo nos últimos anos

Assistimos hoje uma tendência de transformação nas embalagens utilizadas em bebidas, onde embalagens retornáveis estão sendo substituídas por embalagens descartáveis mais práticas para o consumidor. No Brasil, atualmente, 71% dos envases de cerveja utilizados estão acondicionados em garrafas vidro retornável, sendo que esse número já alcançou 98% em 1990.

As garrafas de vidro estão sendo substituídas principalmente por garrafas plásticas, sobretudo de PET - Politereftalato de Etileno. A indústria plástica teve um grande crescimento nas últimas décadas, mas criou sérios problemas ambientais, principalmente, quanto ao aumento de plásticos nos resíduos sólidos urbanos. Esses resíduos desafiam os métodos convencionais de disposição, entre eles a incineração e a biodegradabilidade em aterros.

Nesse trabalho foram estudadas as duas embalagens de bebida mais utilizadas no Brasil, as garrafas de vidro retornáveis e as garrafas de PET não retornáveis, contabilizando o consumo energético e a emissão de dióxido de carbono. As etapas utilizadas para esse estudo foram: a industrialização do produto, a distribuição para o consumo e pós-consumo e a reutilização.

Os dados para o inventário foram coletados em indústrias fabricantes de embalagens de vidro e de plástico, indústrias de bebidas e de distribuidoras, além de transportadoras situadas no Estado de São Paulo. Para a disposição final os dados coletados se referem ao Departamento de Limpeza Urbana, no município de Campinas, no mesmo Estado.

Como existe a tendência de mudanças no mercado desses produtos, principalmente devido ao fato das garrafas de vidro retornáveis, estarem sendo substituídas por materiais descartáveis, sobretudo de PET, procurou-se obter, a partir dos resultados deste estudo, um direcionamento para escolha de processos e produtos ambientalmente preferíveis em relação ao consumo de energia e à emissão de gás carbônico. A quantificação da emissão de gás carbônico nos mais diversos setores da economia mundial é fundamental nas discussões acerca das resoluções do protocolo de Quioto.

## Capítulo 2

### 2.1 Revisão da Literatura

#### 2.1.1 Geração de Resíduos Sólidos

Estamos vivenciando um momento de transformação na sociedade atual que, cada vez mais, se preocupa com a qualidade de vida e com os problemas ambientais. Hoje, apesar do consumo de embalagens descartáveis mais práticas ter alcançado a preferência do consumidor, existe a preocupação com a destinação final dessas embalagens visto o aumento de seu volume no lixo urbano.

O Brasil produz cerca de 125.287 toneladas de lixo urbano diariamente. Destes, cerca de 30,5 % ficam em lixões, 22,3% em aterros controlados, 47,1% em aterros sanitários, conforme

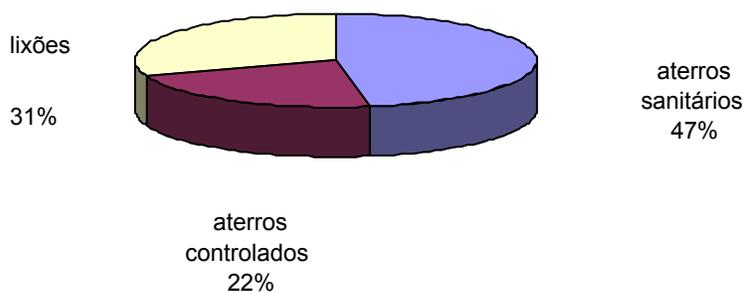


Figura 1 – Disposição Final do Resíduo Urbano - Fonte:PNSB, IBGE, 2000

Os sistemas de limpeza urbana, de competência municipal, devem afastar o lixo das populações e dar um destino ambiental e sanitariamente adequado.

No entanto essa tarefa não é fácil, sendo dificultada por problemas, tais como (Vilhena, 1999):

- Falta de capacitação técnica e profissional – do gari ao engenheiro chefe
- Descontinuidade política e administrativa
- Falta de controle ambiental
- Inexistência de uma política brasileira de limpeza pública
- Limitação financeira

Com a tendência de maior geração de lixo, apesar de ter havido redução na taxa de crescimento populacional, tornam-se necessárias ações no tratamento adequado do lixo que leve em consideração a redução dos resíduos gerados, assim como a reciclagem desses resíduos. Ao longo dos anos pudemos avaliar as variações na composição do lixo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Variação na Composição dos Resíduos Sólidos em São Paulo (% em peso):

Material	1972	1989	1990	1993	1998
Papel/Papelão	25,9	17,0	29,6	14,4	18,8
Trapo/Couro	4,3	-	3,0	4,5	3,0
Plástico	4,3	7,5	9,0	12,0	4,2
Vidro	2,1	1,5	4,2	1,1	1,5
Metais	4,2	3,25	5,3	3,2	3,0
Matéria Orgânica	47,6	55,0	47,4	64,4	69,5

Fonte: Manual IPT, 2000.

A preocupação com o impacto ambiental causado pelas embalagens descartadas já se consolidou em todo o mundo, mesmo no Brasil. A ONU recomenda que a concepção de embalagens se oriente pela diminuição na geração de resíduos sólidos buscando a redução, a reutilização, a reciclagem, a incineração e a compostagem como formas de resolver os problemas ambientais gerados (Kreith, 1994).

Reutilização significa qualquer operação pela qual uma embalagem é reenvasada ou usada para o mesmo propósito para a qual foi concebida. A reciclagem seria a utilização pós-consumo da embalagem como matéria prima para a fabricação do mesmo produto ou na industrialização de outros artefatos. A incineração busca a recuperação da energia das embalagens descartadas.

Uma das práticas adotadas para destinação ideal das embalagens é a reciclagem, onde elas podem ser desviadas dos aterros para a manufatura de bens. A reciclagem traz benefícios, como:

- Diminuição da quantidade lixo, aumentando a vida útil dos aterros
- Preservação de recursos naturais
- Economia de energia no processo produtivo
- Diminuição da poluição do ar, da água e do solo
- Geração de empregos através das recicladoras

Algumas barreiras impedem a efetiva adoção da reciclagem como instrumento de minimização de resíduos nos aterros. Um estudo realizado pelo "Secondary Resources Development Council", no Canadá, agrupou essas barreiras em cinco categorias (Selke, 1994):

- Barreiras econômicas e financeiras
- Barreiras relacionadas ao público em geral, que deve se responsabilizar pela separação do lixo em seu domicílio
- Barreiras relacionadas com a existência de sistemas impróprios de manejo de resíduos sólidos
- Barreiras de mercado
- Outras barreiras

Enquanto os países desenvolvidos dispõem de sistema de coleta e tratamento, no Brasil ainda temos grande parte do lixo domiciliar sendo tratado de forma inadequada, ou ainda sem coleta, o que é mais grave. Em 1997, a média da coleta de lixo no Brasil, considerando-se apenas os domicílios urbanos, era de aproximadamente 70%, existindo grandes diferenças regionais como mostra a Tabela 2 (Vilhena, 2000):

Tabela 2 - Porcentagem de Domicílios sem Coleta no Brasil:

<b>ESTADO</b>	<b>%</b>	<b>ESTADO</b>	<b>%</b>	<b>ESTADO</b>	<b>%</b>
Maranhão	67,5	Pará	38,4	Goiás	23,1
Piauí	63,1	Sergipe	38,2	Mato Grosso	19,1
Bahia	51,2	Amazonas	30,7	Paraná	11,2
Alagoas	50,5	Amapá	28,2	Santa Catarina	10,6
Ceará	47,8	R.G. do Norte	27,1	Rio de Janeiro	10,0
Acre	47,6	Rondônia	26,1	R.G. do Sul	9,2
Paraíba	47,4	Espírito Santo	24,4	Mato G. do Sul	9,2
Tocantins	46,1	Roraima	24,3	São Paulo	3,2

Fonte: Vilhena, 2000.

Seguindo a tendência mundial, o Brasil está começando a desenvolver projetos na área de reciclagem, apesar de estarmos bem longe de países desenvolvidos. Isso se deve principalmente ao descaso que por muitos anos foi dado em relação à coleta e destinação final do lixo urbano no país.

Um estudo realizado pela Environmental Protection Agency – EPA americana propõe as seguintes práticas na prevenção da geração de resíduos no setor de embalagens (Jenkins, 1991):

- Redução na quantidade de matéria prima utilizada por unidade de produto. Um exemplo disto são as tecnologias usadas na indústria de garrafas que vem conseguindo reduzir o peso da garrafas. Segundo Franklin and Associates, de 1972 a 1987 a indústria vidreira norte americana reduziu o peso das garrafas retornáveis em 44% (Jenkins, 1991). No Brasil, em 2000, as garrafas descartáveis passaram de 200 gramas para 190 gramas (ABIVIDRO, 2000)
- Aumento da média do tempo de vida de bens duráveis e semiduráveis, reduzindo-se as trocas
- Substituição de garrafas "one -way", usadas uma única vez, por garrafas reutilizáveis
- Redução no consumo de bens persuadindo as pessoas a moderarem suas necessidades e desejos, o que leva a radicais mudanças no estilo de vida.

Mudanças proporcionadas pela tecnologia na redução de resíduos estão relacionadas com a diminuição do peso das embalagens. Como consequência, além da diminuição na utilização de matéria prima, reduziu-se o consumo de combustível no transporte.

Por outro lado apesar dos esforços tecnológicos, o comportamento mais prático e dinâmico da sociedade provocou aumento na quantidade e na variedade de embalagens, principalmente em alimentos, como é o caso do aumento crescimento de consumo da garrafas descartáveis.

Uma tendência na indústria de embalagem é o desenvolvimento de *design* de novos produtos baseado nos possíveis impactos causados. Um estudo realizado na Noruega no setor de embalagens demonstrou que de 275 embalagens estudadas no período de 1992 a 1996, 215 embalagens sofreram mudanças que envolveram pequenas modificações tais como: uso de materiais mais leves, remoção de material supérfluo e aumento do volume do produto. Em 40 casos as mudanças foram mais significativas, envolvendo o uso de materiais reciclados e

substituição da matéria prima utilizada. Em 20 casos as mudanças foram grandes, como a introdução de produtos com embalagens reutilizáveis, determinando novas estruturas na indústria e novas atividades para a limpeza e coleta (Hekkert et al, 2000).

Uma indústria de embalagens realmente preocupada com a redução de resíduos sólidos deve levar em consideração os seguintes pontos (Selke, 1994)

- Eliminação dos constituintes tóxicos, como metais pesados usados em aditivos, corantes e tintas
- Uso de embalagens reutilizáveis, sempre que possível na sua aplicação original e com o máximo de reutilizações que for possível
- Evitar embalagens com multi-materiais e sempre que possível usar um único material, facilitando o processo de reciclagem
- Se forem utilizados diferentes materiais, eles devem ser compatíveis ou de fácil separação. No caso de latas de alumínio, a tinta e o resíduo orgânico presente na tinta queimam durante o reprocessamento sem afetar as propriedades do alumínio
- Usar material reciclado sempre que possível

Opções e políticas voltadas à redução de resíduos incluem o uso de regulamentações, incentivos fiscais e esforços voluntários. As maiores mudanças favoráveis produzidas no setor de embalagens para redução de resíduos atenderam a redução de custos ao invés de focalizar a redução de resíduos (Selke, 1994).

Reciclagem é o termo usado para o reprocessamento do material descartado para a fabricação do mesmo produto ou em outros produtos. Os ciclos de vida de uma embalagem podem ser definidos distintamente da seguinte maneira (Curran, 1996). Quando o produto é reutilizado para a fabricação de outro produto temos um ciclo aberto. O material é desviado do aterro por algumas vezes para servir de matéria prima para outro produto e, após algumas utilizações, não poderá mais ser reutilizado e seguirá para a destinação final, como no caso do PET reutilizado para fabricação de carpete. O esquema pode ser observado na

Figura 2. Quando o produto é reutilizado para a fabricação do produto original, sem perda na qualidade do novo produto, temos um ciclo fechado, como é o caso das garrafas de vidro retornável. Grandes diferenças no consumo de materiais e energia nos processos de manufatura, extração e emissão podem ser vistas nos processos de ciclo aberto e ciclo fechado, já que uma vez que o produto pode ser reutilizado muitas vezes, o impacto inicial da matéria virgem acaba se tornando insignificante.

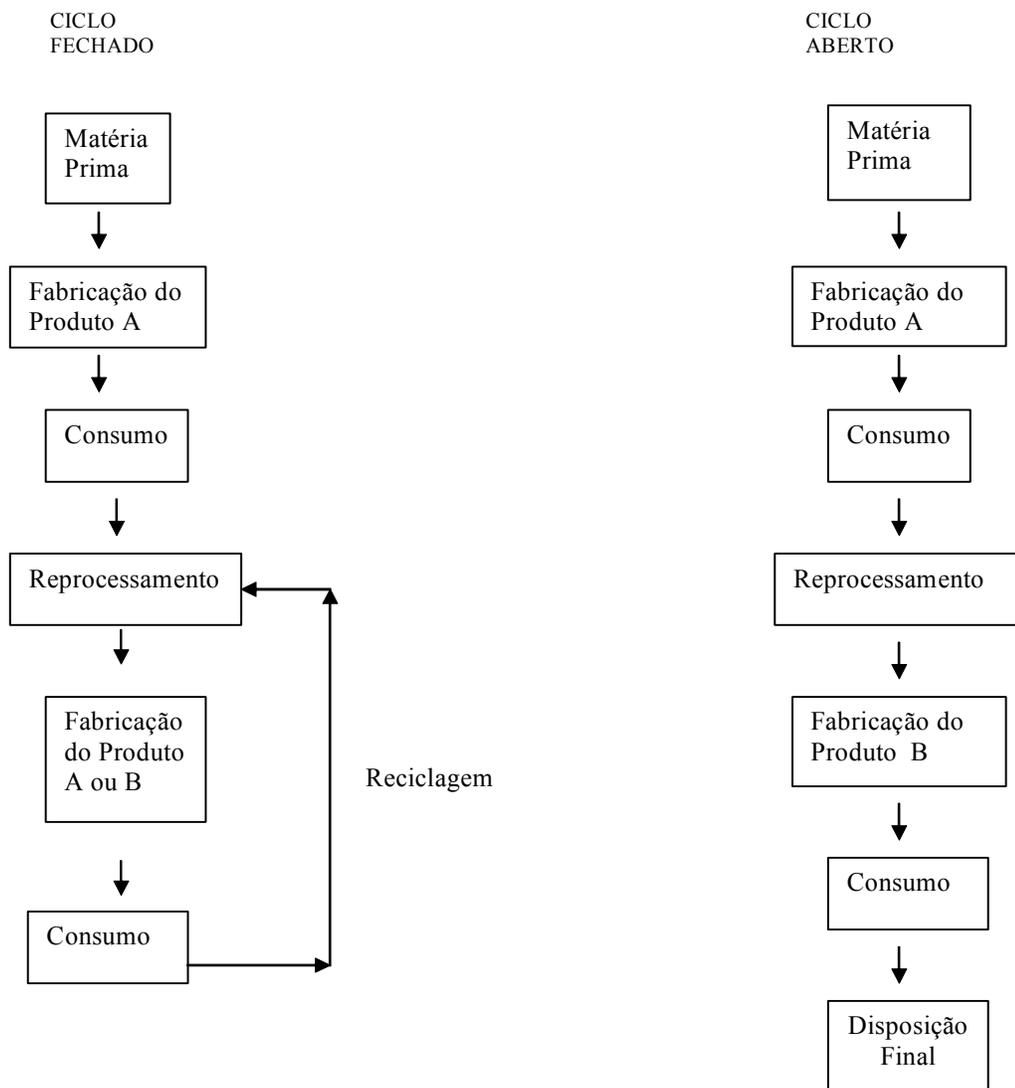


Figura 2 - Ciclos de Reciclagem

O processo de reciclagem não é a solução para todos os problemas de geração e disposição final de resíduos sólidos. Mas, bons programas de reciclagem podem desviar dos aterros uma boa parte de resíduos, aumentando assim, a vida útil dos mesmos (Boustead, 1998).

### 2.1.2 Reciclagem de Plásticos

A abundância de materiais plásticos no mundo criou sérios problemas nos métodos convencionais de disposição final. Em aterros, os plásticos apresentam grande resistência a biodegradação. Por outro lado, no processo de incineração, são responsáveis pela emissão de gases tóxicos (Song e Hyun, 1999).

O Brasil ainda gera pouco resíduo plástico em relação a outros países, como mostra a Tabela 3 Com a estabilização da economia e o crescimento econômico, o consumo tende a aumentar. Desta forma, desde já se devem tomar medidas preventivas para evitar o agravamento do problema (Vilhena, 2000).

Tabela 3 - Consumo *per capita* de plástico em alguns países:

<b>Localidade</b>	<b>Lixo Plástico Anual <i>per capita</i></b>
EUA	69,7 kg
Japão	54 kg
Europa	38,1 kg
Brasil	9,78 kg

Fonte: Vilhena, 2002

A reciclagem e a reutilização de materiais plásticos é uma condição essencial para o gerenciamento do lixo, pois, apesar de representar em massa cerca de 4 a 7% , significam em volume cerca de 20% de todo o lixo urbano, no Brasil (IPT, 2000). Seu desvio do aterro contribuirá significativamente para o melhor aproveitamento dos recursos. Embora haja algumas

limitações e restrições para a utilização do plástico oriundo do lixo urbano, se este for adequadamente tratado, pode ser reutilizado como matéria prima de muitos produtos.

Todo material plástico pode ser reciclado por meios mecânicos, químicos ou térmicos, ou para a geração de energia.

Novas tecnologias de reciclagem de PET, através da despolimerização, estão surgindo, utilizando-se processos químicos como a glicólise, a pirólise e a metanólise. Essas técnicas podem trazer um significativo avanço tecnológico, complementando a existência de técnicas mecânicas de reciclagem. Plantas comerciais para a fabricação de monômeros de poliéster e nylon podem ser desenvolvidas e sua adoção em larga escala depende da viabilidade econômica (Subramaniam, 2000).

Um dos problemas encontrados na reutilização de plásticos é a coleta, pois o rendimento do caminhão coletor é baixo, devido ao volume, e encarece a operação. O processo de reciclagem pode ser facilitado com a coleta seletiva e com programas de entrega voluntária de recipientes.

Dentre os problemas mais comuns para a implantação da coleta seletiva e separação adequada dos materiais plásticos se encontram:

- O custo da coleta seletiva é maior que o da coleta convencional
- A dificuldade de se conscientizar os cidadãos sobre a necessidade e os benefícios gerados pela coleta seletiva
- A escassez de indústrias interessadas em comprar o material separado
- As grandes distâncias entre os municípios e o mercado comprador
- A difícil tarefa de manter um fornecimento contínuo de matéria prima de boa qualidade aos compradores

Segundo a ABIPET a reciclagem no Brasil foi penalizada pela tributação excessiva, anos atrás. Além de pagar novamente o imposto, uma vez que a garrafa já foi tributada ao sair da

fábrica, o valor do IPI era maior: 12% para o material reciclado contra 10% do material virgem; isso fez com que a remuneração pela sucata de PET fosse menor.

A partir de 2002 as indústrias que utilizam plástico reciclado como matéria prima em seus produtos possuem um crédito de 15% no IPI, eliminando-se assim, a desvantagem do uso de recicláveis e estimulando a coleta de garrafas plásticas.

De acordo com a ABIPET, aproximadamente 22% da resina PET no Brasil foi reciclada em 2000, totalizando 67 mil toneladas. Na Tabela 4 é apresentado o crescimento da fração reciclada ao longo dos últimos anos:

O PET possui algumas vantagens sobre outros plásticos no processo de reciclagem. O fator preponderante para a conveniência no uso é o grande volume descartado, o que remove uma das mais difíceis barreiras da reciclagem, pois o estoque é contínuo e consistente.

Tabela 4 - Reciclagem de PET no Brasil:

<b>Ano</b>	<b>Consumo (t/ano)</b>	<b>Reciclagem (t/ano)</b>	<b>Reciclagem (%)</b>
1997	211.000	30.000	14,21
1998	260.000	40.000	17,9
1999	286.000	50.000	20,42
2000	315.000	67.000	26,27
2001	n/d	n/d	32,9
2002	n/d	n/d	35

Fonte: ABIPET, 2003.

O maior mercado de PET pós-consumo no Brasil é a produção de fibras para a fabricação de cordas, fios de costura e cerdas de vassouras e escovas. Outra parte é destinada à moldagem de

auto peças, manequins plásticos, garrafas de detergente, mantas não tecidas, carpetes e enchimento de traveseiros (Vilhena, 2002).

Novas formas de utilização de PET reciclado em garrafas surgiram recentemente, como a garrafa fabricada em multicamadas. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabeleceu o regulamento para a utilização de garrafas que utilizem PET reciclado, a partir de 1999. De acordo com ela as embalagens de PET multicamadas devem ser constituídas de uma camada interna de PET virgem, que será a única a ter contato direto com o produto embalado, e por uma ou mais camadas sucessivas de PET reciclado, virgem e até outro material plástico.

### **2.1.3 Reciclagem de Vidro**

Quanto ao vidro sabe-se que ele pode ser 100% reciclável, não havendo restrições para seu uso. Para cada tonelada de caco de vidro limpo, uma tonelada de vidro novo é feita e 1,2 toneladas de matéria prima deixa de ser gasta (Pollock, 1987). A inclusão de caco de vidro no processo de fabricação de vidro reduz sensivelmente os custos de produção. Hoje o uso de certa quantidade de caco como matéria prima no processo produtivo é fundamental. Os cacos utilizados provêm da própria linha de produção, originado de defeitos, quebra, etc e, da compra de material descartado (Hanlon, 1984).

O caco facilita a fusão dos outros materiais durante o processo de fusão nos fornos, e conseqüentemente, propicia menor consumo de combustível. Assim, o forno pode trabalhar com menores temperaturas, havendo redução na utilização de energia.

Em termos de óleo combustível e eletricidade, apenas na fabricação, para cada 10% de vidro reciclado na mistura economiza-se 2,5% da energia necessária para a fusão em fornos industriais (Vilhena, 2000) ou, ainda, cada 1% de aumento de caco estima-se a economia de 0,25% de energia usada (Glass Packaging Institute, 2002).

A quantidade de cacos utilizada pela indústria varia, estando sujeita às características da planta do processo e, também da disponibilidade de suprimento de cacos (Mathial e Dellano,

1994). De acordo com dados levantados na indústria VIDROPORTO, situada em Porto Ferreira, São Paulo, constatamos que a proporção de caco na mistura pode chegar a 60%.

Outras vantagens na utilização de cacos são a maior durabilidade do forno, menor consumo de água e diminuição nas emissões de óxidos de nitrogênio e particulados, totalizando uma redução de 20% na poluição do ar (Walsh e O'Leary,1988; Mathias e Dellano,1994).

Tabela 5- Índice de Reciclagem de Vidro no Brasil:

Ano	Reciclado
1991	15%
1992	18%
1993	25%
1994	33%
1995	35%
1996	37%
1997	39%
1998	40%
1999	40%
2000	41%
2001	42%
2002	44%
2003	45%

Fonte: ABIVIDRO, 2001.

O Brasil produziu cerca de dois milhões de toneladas de vidro em 2000. Destes, 910 mil toneladas se devem ao segmento de embalagens de vidro (ABIVIDRO, 2001). Na Tabela 5 podemos ver o aumento dos índices de reciclagem do vidro.

Os avanços tecnológicos, aliados a experiências bem sucedidas e, logicamente, a diminuição dos custos, fez com que a indústria perdesse a relutância que havia quanto ao uso desse material, principalmente devido ao problema dos contaminantes, e aceitasse sua utilização.

A reciclagem do 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, transparente, verde e âmbar. Pode ser feita manualmente ou em máquinas e o trabalho é facilitado quando a garrafa ainda se encontra inteira.

No processo produtivo, a cor do caco utilizado pode alterar a coloração padrão da garrafa. São aceitos diferentes teores de coloração de cacos na composição da matéria prima, para que não haja alteração na coloração original da garrafa (Cook, 1978):

- Vidro transparente: até 1% do verde e 5% do âmbar
- Vidro âmbar: até 10% do verde e 10% do transparente
- Vidro verde: até 15% do transparente e 35% do âmbar

Outra etapa é a remoção dos contaminantes, principalmente tampas, rótulos e rolhas que, respectivamente, causam defeitos nas garrafas e mudanças na coloração, além de danos ao forno, causando grandes prejuízos. A máxima porcentagem aceita, em peso dos contaminantes, é: 0,01% de metais não magnéticos, 0,01% de metais magnéticos, 0,05% de orgânicos como plásticos, rolhas e papel e 0,05% de inorgânicos como porcelanas e cerâmicos (Cook.,1978).

Além da reciclagem primária para a fabricação da própria garrafa, existe também a reciclagem secundária do vidro. Podem ser utilizados na fabricação de fibras de vidro, agregados para construção (concreto) e usado na massa asfáltica. Nesse caso, as cores podem estar misturadas além de ser possível maior teor de contaminantes (Mathias, 1994).

Um levantamento do mercado brasileiro de vidro realizado pela ABIVIDRO mostra que a maioria das indústrias vidreiras se concentra na região sudeste. Assim, essa região teria grande potencial de reutilização de cacos, como mostrado na Tabela 6. Estudos realizados em 1991 mostraram que a reciclagem só é viável nessa região, pois distâncias maiores que 400 km encarecem o caco devido ao custo do transporte (Rouse, 1991).

Tabela 6 - Empresas produtoras de garrafas de vidro no Brasil:

<b>Estado</b>	<b>nº de Empresas</b>	<b>% no país</b>
Bahia	1	3,13
Ceará	1	3,13
Minas Gerais	1	3,13
Pernambuco	2	6,25
Rio de Janeiro	7	21,88
São Paulo	18	56,25
Rio Grande do Sul	2	6,25

Fonte: ABIVIDRO, 2001.

Considerações importantes a respeito da reciclagem e reuso de garrafas de vidro quanto à conservação de energia, devem ser feitas levando em consideração a distância a ser percorrida pelas garrafas vazias e cacos.

Problemas associados ao suprimento de caco poderiam ser aliviados com o aumento de programas de coleta seletiva e reciclagem nos municípios, além de legislações próprias e programas de depósito de vasilhames (Mathias e Dell’Ano, 1994). Embora já existam inúmeros programas de reciclagem de vidro em desenvolvimento em todo o Brasil, mesmo o consumidor consciente enfrenta dificuldades na hora de encaminhar suas embalagens (ABIVIDRO, 2000). A indústria vem desenvolvendo novas tecnologias em relação ao uso dos cacos, como a separação mecânica de cores, o uso de revestimento de plástico (filme) nas garrafas e o uso de vidro com mistura das três cores (Mathias e Dell’Anno 1994).

Há cerca de 30 anos atrás, leite, refrigerantes e cervejas eram comercializados apenas em garrafas retornáveis. Com o domínio das vendas a varejo por grandes redes de supermercados, ao invés de pequenos mercados nos próprios bairros, os produtos começaram a ser comercializados

em grande escala e em maiores volumes, o que favoreceu a venda de produtos em embalagens não retornáveis, como o PET.

Tanto as garrafas de vidro como de PET retornáveis podem ser reutilizadas, fechando o ciclo do produto. A reutilização da embalagem para transformação em novo produto seria mais corretamente denominada como remanufatura. O processo de reciclagem ocorre em pequena escala com o PET, já que existem restrições quanto ao contato com alimentos, o que não ocorre com o vidro .

O reuso do PET tornou-se possível com a utilização de novos tipos de PET, que suportam maiores temperaturas, possibilitando o processo de lavagem.

O sucesso do reuso de garrafas depende muito da boa vontade do consumidor em trazer de volta a embalagem. A padronização da forma e tamanho das garrafas retornáveis é um aspecto importante, pois, se veio da indústria A ou B, todos podem reutilizá-las (Hekkert et al, 2000).

No caso das cervejas, no Brasil, o debate em torno da reutilização de garrafas visa principalmente as garrafas de 600 ml, que são utilizadas em média quatro vezes ao ano e duram mais de sete anos, sendo reutilizadas por pelo menos 28 vezes (SINDCERV, 2001).

Existem projetos no Congresso Nacional visando regulamentar a reutilização de garrafas no Brasil. Um deles segue a mesma legislação de Portugal e estabelece que 80% das cervejas comercializadas em embalagens de vidro devem ser retornáveis.

A seguir listamos as razões do SINDCERV no apoio às iniciativas do legislativo que determinem limites quantitativos para a utilização de embalagens descartáveis em cervejas no Brasil:

- O incentivo às embalagens retornáveis é a forma mais eficaz para o controle da geração lixo-embalagem, que é uma parcela importante do lixo urbano
- A embalagem retornável reduz o preço final ao consumidor em até 25%

- A reciclagem é uma solução apenas parcial para a redução dos efeitos negativos da proliferação de embalagens descartáveis
- O controle quantitativo do mercado é o meio mais eficiente, e de menor custo para a sociedade, para incentivar a oferta de embalagens retornáveis para os consumidores
- A redução contínua da demanda por embalagens retornáveis é decorrente de uma clara preferência das principais redes de supermercados por embalagens descartáveis, com o objetivo de reduzir seus custos operacionais

Apesar das políticas que encorajam as estratégias de reuso e de reciclagem voltadas à redução da demanda de matéria virgem e diminuição da quantidade de lixo nos aterros, estudos completos dessas estratégias, como a Análise de Ciclo de Vida, devem ser conduzidos. Em algumas situações, a reciclagem e o reuso podem estar associados a outros tipos de impactos ao meio ambiente que podem ser menos óbvios, mas não menos importantes (Ross e Evans, 2001).

#### **2.1.4 Histórico e Utilização de Embalagens**

Desde os primórdios do comércio, a embalagem tem sido indispensável no transporte e acondicionamento de muitos tipos de produtos. Na Antigüidade já eram usadas peles de animais, cestos de fibras vegetais, vasos de barro, ânforas de argila e bolsas de couro, entre outros (Vidales, 1999).

Todavia, foi só com a Revolução Industrial que surgiu a necessidade de embalar um grande número de bens manufaturados e que necessitavam ser transportados a longas distâncias.

As embalagens têm sido cada vez mais importantes para as empresas fabricantes de bens de consumo, tendo um papel importante na diminuição das perdas de matéria prima propiciando um acondicionamento mais seguro, prático e eficiente. Países subdesenvolvidos com sistemas rudimentares de embalagem perdem até cerca de 70% do alimento produzido, enquanto que nos países desenvolvidos essa média cai para 15% (Jenkins, 1991).

A indústria moderna de embalagem se desenvolveu principalmente devido a novas tecnologias de preservação de alimentos, que incluem, entre outras, a pasteurização, a refrigeração, o congelamento e o uso de antioxidantes e conservantes. Além dessa interação, alimentos embalados podem ser transportados a longas distâncias e armazenados para o consumo por extensos períodos.

A função da embalagem na sociedade atual deve abranger quatro principais áreas: proteção, comunicação, conveniência e praticidade (Selke, 1994).

Quanto à proteção, a embalagem deve impedir o contato do produto com o meio externo, evitando a contaminação, a oxidação, a umidade e outros danos físicos, químicos e biológicos, como ataque de fungos, bactérias e leveduras, assim como de insetos e roedores (Jenkins, 1990). Contrariamente, em outros casos, a embalagem tem a função de proteger o meio externo, ou seja, a integridade e a saúde das pessoas que manipulam o produto, por serem tóxicos ou corrosivos como produtos de limpeza, produtos químicos e agrotóxicos (Selke, 1994). As propriedades funcionais de cada embalagem são altamente específicas para o produto a ser embalado e, pequenas variações no produto podem criar grandes diferenças na necessidade da embalagem em protegê-lo.

Além dos aspectos econômicos, uma função importante da embalagem é a comunicação com o consumidor, explanando ao consumidor as propriedades do produto, a capacidade, instruções de uso e informações nutricionais, entre outras.

A conveniência é um aspecto muito importante nos dias atuais, pois facilita a vida do consumidor, que gasta cada vez menos tempo na preparação dos alimentos. Os produtos alimentares devem ser convertidos com o mínimo dispêndio de esforço e tempo e requerem menos habilidades para sua preparação. Um exemplo são os alimentos que só precisam ser abertos e aquecidos no microondas (Kelsey, 1990).

Tabela 7 - Evolução do Mercado de Embalagens no Brasil (1000 Toneladas):

Material	1997	1998	1999	2000
PEBD	239	238	240	238
PEAD	183	192	204	223
PS	27	29	31	31
PVC	42	36	32	31
PP	201	215	222	228
PET	251	290	307	334
PC	4	3	5	5
Kraft	239	253	269	260
Papelão	1.589	1.616	1.676	1.758
Flexíveis	299	343	344	367
Alumínio	141	179	177	203
Folha Flandres	662	674	669	679
Aço	101	98	102	93
Vidro	931	825	889	923
Total	5.296	5.395	5.520	5.771

Fonte: Datamark, 2001.

O grande crescimento, nos últimos anos, da utilização de embalagens pode ser atribuído a fatores tais como: aumento do número de pessoas que moram sozinhas, a divisão do trabalho familiar, que fez com que o tempo dispensado para compra e preparação do alimento seja menor, a diminuição no tamanho das famílias, a necessidade de adolescentes e até crianças poderem preparar sozinhas seu alimento, entre outras. A Tabela 7 indica as transformações do mercado de

embalagens no Brasil. Apesar da variação nos materiais utilizados, houve um aumento na utilização de embalagens de 475 mil toneladas entre 1997 e 2000.

A produção física de embalagens no Brasil cresceu 20% entre 1985 e 1996. A produção de embalagens no Brasil ainda é pequena em relação à sua população, comparativamente a outros países latino americanos. O consumo per capita de embalagem no Japão é de US\$ 470 por ano e nos EUA US\$ 310. Na América Latina, a Argentina lidera o consumo *per capita*, com US\$ 102,4, seguida do Chile com US\$ 98,6, o Brasil com US\$ 60 e México com US\$ 43,6 (Mathias,1998). Na Tabela 8 podemos observar que o mercado de embalagens no Brasil ainda é pequeno.

Tabela 8 - Comparativo de Produção de Embalagens na América Latina - kg/*per capita/ano* (1996):

Material	Brasil	México	Chile
Plástico	7,10	7,20	13,10
Papel	13,20	20,10	23,60
Metal	5,70	4,30	7,70
Vidro	5,40	24,50	12,40
Total	31,40	56,10	56,80

Fonte: Datamark, 2001.

O setor de embalagens se defronta hoje com um paradoxo do acelerado avanço tecnológico e o constante ataque de ambientalistas e legisladores quanto aos impactos ambientais gerados no pós-consumo. Hoje existe uma real preocupação em relação ao respeito com o meio ambiente, a preservação das fontes de energia e aos cuidados com a saúde. Apesar de todas as vantagens que as embalagens oferecem à sociedade, no início da década de 90 ocorreu um questionamento muito forte quanto à esse segmento, responsabilizando o setor como um dos principais responsáveis por problemas do meio ambiente, principalmente, os resíduos sólidos urbanos (Garcia, 1996).

Tabela 9 – Levantamento das Principais Embalagens Utilizadas em Bebidas Carbonatadas e Cervejas no Mercado Brasileiro em 2003:

<b>Produto</b>	<b>Embalagem</b>	<b>Volume</b>	<b>Utilização</b>
Refrigerante	PET	100 ml	Descartável
Refrigerante	PET	237 ml	Descartável
Refrigerante	PET	350 ml	Descartável
Refrigerante	PET	600 ml	Descartável
Refrigerante	PET	1,5 l	Descartável
Refrigerante	PET	2,0 l	Descartável
Refrigerante	PET	2,5 l	Descartável
Refrigerante	Lata	350 ml	Descartável
Água Mineral	PET	350 ml	Descartável
Água Mineral	PET	500 ml	Descartável
Água Mineral	PET	1,5 l	Descartável
Água Mineral	PVC	500 ml	Descartável
Cerveja	Lata	350 ml	Descartável
Cerveja	Vidro	355 ml	Descartável
Refrigerante	Vidro	295 ml	Retornável
Água Mineral	Vidro	500 ml	Retornável
Cerveja	Vidro	600 ml	Retornável

No Brasil, apesar da tendência em seguir o resto do mundo em relação ao consumo de embalagens descartáveis, o consumo de garrafas retornáveis ainda é expressivo. Isso ocorre graças ao mercado consumidor de cerveja, já que no setor de bebidas carbonatadas e águas os descartáveis são maioria. Na Tabela 9, podemos ter uma visão das diferentes embalagens disponíveis no mercado brasileiro de bebidas.

Parece evidente que o peso e o volume dos resíduos sólidos urbanos têm aumentado ano a ano. Esse aumento não é só devido ao aumento populacional, mas também pela modificação do estilo de vida da população (Garcia, 1996).

O grande crescimento na participação das embalagens é preocupante no sentido em que não foi acompanhado de uma resposta de políticas em termos de gestão, valorização e redução do impacto ambiental.

Independentemente da diversidade de formas e uso de embalagens, todas possuem em comum sua origem: são produzidas a partir de recursos naturais. Além da matéria prima, utilizam pequenas quantidades de substâncias presentes nos adesivos, tintas e solventes. Assim como o recurso a ser utilizado como matéria prima, deve-se considerar o consumo de energia na fabricação e no transporte dos produtos.

## **2.2 Vidro**

Recipientes de vidro são provavelmente a mais antiga embalagem manufaturada. Estima-se que o vidro tenha sido inventado na Ásia há 6.000 anos. Teriam sido os sírios os grandes inventores da arte e técnica de soprar o vidro para fazer vasos, que atingiu perfeição e requinte entre os egípcios, sendo encontrados recipientes desse material em tumbas que datam cerca de 3000 anos (Santos, 1997). Os fenícios utilizavam cerâmica e vidro para transportar vinhos e óleos entre outros produtos (Kelsey, 1990).

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. Assim, artefatos de vidro deixaram de ser objetos de luxo e passaram a ser incorporados ao dia-a-dia.

Uma característica única do vidro é a impermeabilidade para a maioria das substâncias, e com fechamento adequado, uma garrafa pode proteger o produto indefinidamente. De fato, ânforas e garrafas antigas foram recuperadas do fundo do mar com a integridade de seu conteúdo após centenas de anos (Vidales, 1999).

Nas últimas décadas o vidro passou a sofrer a competição de metal e plástico, principalmente no envase de líquidos.

O vidro é um material obtido pela fusão de compostos inorgânicos a altas temperaturas, e resfriamento da massa resultante até um estado rígido, não cristalino.

O principal componente do vidro é a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) adicionada a fundentes como o óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) que lhe conferem estabilidade. Atualmente um componente essencial na fabricação do vidro é o próprio caco de vidro (Selke, 1994). O vidro assim obtido é denominado vidro soda-cal. Alguns óxidos podem ser acrescentados na mistura conferindo propriedades específicas ao vidro (Vilhena, 2000). A Tabela 10 mostra a proporção das principais matérias primas utilizadas na fabricação do vidro e nelas podemos comparar a utilização de recursos com e sem a adição de cacos.

Tabela 10 – Principais Componentes do Vidro:

Matéria Prima	Proporção Típica	
	Sem adição de cacos	Com adição de cacos
Areia	73 %	35 %
Caco	-	51 %
Barrilha	14 %	7 %
Calcário	11 %	6 %
Feldspato	2 %	1 %

Fonte: ABIVIDRO, 1999.

Apesar de serem recursos não renováveis, os minérios utilizados na fabricação do vidro são abundantes, pois, cerca de 27,72% da crosta terrestre possui sílica, 3,63% é cálcio, 2,83% possui sódio, além dele ser abundante nos oceanos (Handbook of Chemistry and Physics, 1963 in Selke, 1994).

O vidro é um material não poroso que resiste a temperaturas de até 150 °C sem perder nenhuma das suas propriedades físicas e químicas e, aliado à capacidade de lavagem e esterilização, faz com que seja uma embalagem altamente difundida.

As garrafas retornáveis de vidro são reutilizadas, transportadas e manuseadas diversas vezes; são mais resistentes e mais pesadas que as outras embalagens, porém existe uma tendência de se diminuir o peso das garrafas (ABIVIDRO, 2000).

O vidro oferece grandes vantagens na indústria de embalagens. Uma delas se relaciona à transparência, que permite ver o produto, proporcionando a sensação de higiene e confiabilidade, além de conservar sabores e odores intactos (Vidales, 1999).

Em geral podem-se destacar dois grandes grupos de embalagens de vidro: os frascos e as garrafas. Os frascos são aqueles recipientes de boca larga que embalam produtos pastosos e densos. As garrafas são embalagens de boca notadamente menor que o diâmetro do corpo e de altura considerável, envasando toda a classe de líquidos.

Tabela 11 - Produção Brasileira de embalagens de Vidro:

Ano	Produção (1000t)
1996	860
1997	890
1998	833
1999	869
2000	910
2001	883
2002	887

Fonte: Anuário ABIVIDRO 97/99/2000/2003

As embalagens de vidro tiveram seu consumo estagnado, mesmo com ligeiro aumento na fabricação, quando seu mercado começou a ser disputado por outros tipos de embalagens, sobretudo plásticos, como mostrado na Tabela 11.

Uma característica especial das embalagens de vidro se deve ao fato dele poder ser utilizado de novo após o consumo do produto, o que, para os dias de hoje é uma grande vantagem, pois se fecha o verdadeiro ciclo de reciclagem, evitando-se os problemas com a disposição final do produto

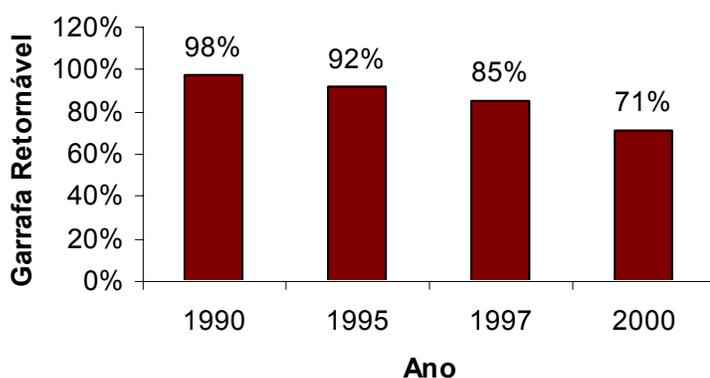
O setor de bebidas foi o mais afetado, pois a tendência tem sido a mudança de comportamento do consumidor, o qual tem preferido embalagens descartáveis. Essa preferência muitas vezes está relacionada à falta de outras opções, já que em muitas redes de supermercados não existe a oferta de embalagens retornáveis.

O problema maior das garrafas de vidro retornáveis para os supermercados é a logística de recepção e armazenamento de vasilhames, tanto vazios como cheios (Santos, 1997). Assim como o comércio, os clientes também precisam armazenar garrafas vazias, além de transportá-las, causando um grande empecilho, além do peso e risco de quebra.

Embalagens de bebida descartáveis se mostraram superiores na praticidade, são mais leves e evitam a estocagem de vasilhames no ambiente doméstico.

Entretanto, as embalagens tradicionais de cerveja de 600 ml retornáveis continuam tendo espaço em bares e restaurantes. O Brasil é o único grande país consumidor que utiliza esse tamanho (Santos, 1997). As embalagens de vidro retornáveis dominam o mercado de cerveja nacional, mas sua participação tem sido decrescente (Fonte: SINDCERV, 2001

Figura 3): caiu de 97,6% em 1990 para 71% em 2000. Nas descartáveis predominam as latas seguidas das garrafas de vidro “one-way”.



Fonte: SINDCERV, 2001

Figura 3 - Mercado de garrafas de cerveja retornáveis no Brasil.

No Brasil existem cerca de 5 bilhões de garrafas de vidro retornáveis em circulação no mercado (SINDICERV, 2003). Estima-se que o país tenha um dos maiores mercados para garrafas retornáveis do mundo (Boletim CETEA, 2000). O mesmo não acontece com o mercado de refrigerantes, onde o PET é predominante.

Tabela 12- Consumo per capita de cerveja na América Latina (litros/habitante):

PAISES	1.999	2.000
Argentina	32,81	32,32
Bolívia	19,91	15,44
Brasil	46,91	47,24
Chile	25,68	25,74
Colômbia	33,15	32,90
Costa Rica	28,38	30,84
Equador	18,83	19,39
Guatemala	15,20	12,23
México	50,34	50,55
Nicaragua	12,31	11,04
Panamá	52,81	49,78
Paraguai	28,37	29,16
Peru	24,36	21,97
Uruguai	21,94	16,40
Venezuela	72,46	73,43

Fonte: Datamark,2001.

Tabela 13 - Participação do Custo da Cerveja no Brasil:

<b>Setor</b>	<b>Participação</b>
Fábrica	29%
Impostos	38%
Varejo	24%
Distribuidor	9%

O Brasil se encontra entre os quatro maiores produtores mundiais de cerveja com mais de 8 bilhões de litros por ano, perdendo apenas para os EUA (23,6 bilhões), China (15,4 bilhões) e Alemanha (11,7 bilhões).

Em relação ao consumo *per capita*, os dados da Tabela 12, indicam que o país consome pouco. Este fato se dá porque a cerveja brasileira é um produto caro, em função do baixo poder aquisitivo de boa parte da população. Segundo o sindicato, a cerveja brasileira é a mais barata do mundo na porta da fábrica, mas encarece muito até chegar ao consumidor, conforme dados da Tabela 13, principalmente em função da grande carga tributária, que pesa sobre o setor (SINDCERV, 2003).

O comportamento do consumidor influencia o tipo de embalagem utilizada em um país. Segundo a cervejaria Kaiser, nos EUA, por exemplo, 75% das embalagens são descartáveis, porque o consumo dentro de casa é muito grande naquele país. No Brasil o consumo é maior em bares e restaurantes. Já na Europa a embalagem retornável é símbolo de economia financeira e respeito ao meio ambiente. É o caso da Dinamarca, onde 100% do mercado é de embalagem retornável (Santos, 1997).

A capacidade instalada da indústria brasileira de vidro foi de 2,883 milhões de toneladas em 2000. O crescimento foi de 1,51% em relação a 1999. A produção nacional de vidro em 2000

foi de 2,005 milhões de toneladas, 6,16% superior a de 1999, e o segmento de embalagens é o maior responsável pela demanda no setor (ABIVIDRO, 2000), como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Produção Brasileira de Vidro (1000 t):

<b>Segmento</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Doméstico	164	168	160	190	208
Embalagens	860	890	833	869	910,7
Especial	140	130	125	130	186,7
Planos	440	500	555	700	700
Total	1.604	1688	1673	1889	2.005,4

Fonte: Anuário da ABIVIDRO, 2000.

O setor de vidros para embalagens foi a que mais cresceu em 2000. O segmento, que tem sido o mais atingido pela concorrência de outros materiais, principalmente o PET, reagiu lançando novos produtos. No que se refere às novas tecnologias, as indústrias têm investido principalmente na área de cervejas e bebidas alcoólicas, destacando-se o desenvolvimento de garrafas mais leves, gerando redução nos custos e aumento de produtividade. A idéia é que com essas reduções as garrafas cheguem ao consumidor final 10% mais baratas.

No caso específico das cervejarias esses diferenciais favorecem sua competitividade e criam um certo comprometimento em lançar novos produtos em vidro, além de recolocar produtos que tenham migrado para outros materiais (ABIVIDRO, 2000).

### **2.2.1 Produção de Garrafas de Vidro**

A indústria do vidro é energo-intensiva, uma vez que os fornos trabalham com temperaturas elevadas. Derivados de petróleo e eletricidade são as fontes tradicionalmente utilizadas. Os fornos de fusão e tratamento térmico respondem por 70% do consumo de energia

no processo de produção do vidro. A produção da garrafa consome a maior parte da energia no ciclo de vida da cerveja, podendo chegar a 85% do consumo total (Koroneos et al, 2003).

A fabricação do vidro se divide em quatro fases fundamentais, com podemos ver no fluxograma da figura 4, são elas:

- A composição e mistura das matérias primas areia, calcário, sódio e cacos de vidro.
- A fusão das matérias primas
- A moldagem a quente pelos processos de estiragem, laminação, sopro e prensagem
- O recozimento, que proporciona resistência aos objetos.

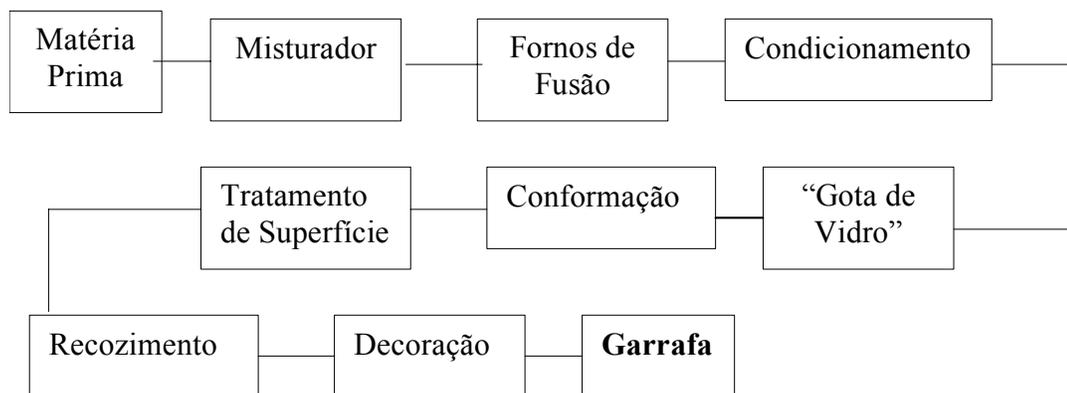


Figura 4– Fluxograma da Produção de Garrafas de Vidro

### 2.2.2 Composição e Mistura

As matérias primas são pesadas para que se estabeleça a proporção de cada uma e misturadas para a formação da composição. Costuma-se fornecer os materiais necessários já em sua forma final pronto para a utilização, ou seja, moídos, peneirados, secos e analisados. Na Tabela 15, qualificamos os principais materiais e suas respectivas funções no processo produtivo. Nesta fase ocorre a introdução dos cacos previamente limpos oriundos do refugo industrial e da reciclagem ( Saint-Gobain, 2001).

Tabela 15 - Principais Matérias Primas Utilizadas na Produção do Vidro:

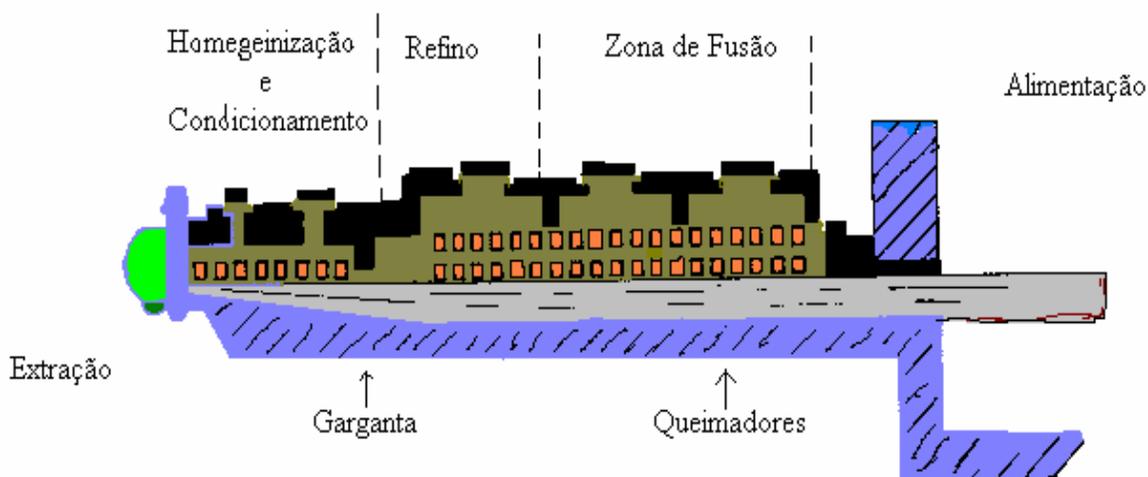
Matéria	Óxido	Função
Areia	SiO <sub>2</sub>	Formador
Calcário	CaO	Estabilizante
Dolomita	MgO	Estabilizante
Feldspato	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Estabilizante
Barrilha	Na <sub>2</sub> O	Fundente
Sulfato de Sódio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Afinante
Ferro, Cromo, Cobalto e Selênio		Corantes

### 2.2.3 Fusão

Os fornos de fusão são o coração do processo produtivo e são construídos com material refratário resistentes a altas temperaturas. Da entrada da composição até a saída na forma de gota existem 3 zonas distintas (Figura 5): a Zona de Fusão, a Zona de Refino e a Zona de Condicionamento e Homogeinização.

Na Zona de Fusão ocorre o aquecimento da matéria prima, desprendendo gases e vapores, e ocorrem as primeiras reações químicas com os óxidos iniciando a fusão.

A Zona de Refino está situada adiante da zona de alta temperatura, corresponde ao trecho do forno onde é iniciado o processo de resfriamento e onde se admite um tempo de retenção da massa de modo a permitir a eliminação de bolhas oriundas do desprendimento de gases, bem como permitir que a massa se torne mais homogênea.



**Figura 5 – Forno de Fusão**

A Zona de Condicionamento e a Zona de Homogeinização estão situadas junto ao ponto de extração do vidro, onde se completa a homogeneização do vidro. Nessa zona o vidro é resfriado até a temperatura considerada ideal para sua extração.

É importante salientar que os fornos de vidro são contínuos e operam sem paradas durante anos. Os refratários dos fornos sofrem um constante ataque químico da sua carga, uma vez que o vidro fundido a altas temperaturas dissolve os óxidos componentes dos refratários. Ao longo do tempo as paredes vão desgastando, até se atingir uma condição de operação não econômica ou insegura, o que determinará a parada de funcionamento e a substituição dos refratários (Fiashi et al, 1983).

#### **2.2.4 Distribuição ou Alimentação**

Acontece num canal de refratário, equipado com maçaricos e dutos de ventilação cujas funções são o transporte até a próxima etapa, a homogeneização da temperatura e alimentação das gotas de vidro.

### **2.2.5 Conformação**

É nessa fase que se encontram as maiores diferenças de processo produtivo entre um tipo de indústria e outro. Na produção de garrafas o processo utilizado é de sopragem com molde, na qual, a gota de vidro é vertida para dentro de um pré-molde, conformando o artigo, controlada mecanicamente e descarregada numa esteira transportadora.

### **2.2.6 Reozimento**

Todos os artigos fabricados a partir do vidro fundido sofrem, durante e após o processo de conformação, um resfriamento brusco e/ou irregular, que provoca o surgimento de tensões internas tornando o artigo extremamente frágil, sendo que o reozimento visa eliminar essas tensões. Os artigos são reaquecidos até a temperatura de relaxamento das tensões pelo tempo necessário. A temperatura de patamar escolhida é suficiente para que haja uma acomodação dos constituintes do vidro a nível microscópico, e, controladamente, resfria-se até a temperatura ambiente.

### **2.2.7 Tratamentos**

Os tratamentos possuem o objetivo de conservar a resistência mecânica dos artigos e facilitar seu escoamento nas linhas de produção. Na maioria das vezes são feitos através da deposição de cloreto de estanho ou cloreto de titânio através de vapores sobre a garrafa.

### **2.2.8 Controles**

Os controles realizados na área fria são: teste de resistência mecânica, espessura da parede, presença de trincas no gargalo, calibração do gargalo e defeitos de aspecto. Os parâmetros adotados para seleção de peças podem variar profundamente de indústria para indústria.

## 2.2.9 Decoração

Algumas embalagens, como as de refrigerantes, seguem para decoração em silk screen com tinta vitrificante.

## 2.3 PET (Politereftalato de Etileno)

Em termos de embalagens, o século XX pode ser definido como a cultura do plástico, trazendo profundas mudanças no manejo de substâncias sintéticas. No princípio eram utilizados como imitação de materiais caros como o marfim e metais preciosos, com custos menores e acessíveis à população (Vidales, 1999). A partir de meados do século XX iniciou-se a fabricação de objetos com materiais sintéticos.

Os plásticos viraram produtos de uso comum após a Segunda Guerra, com o aparecimento dos derivados de petróleo e gás natural, produzidos por grandes corporações internacionais (Vidales, 1999). Os plásticos são produzidos através do processo de polimerização que proporciona as reações químicas dos monômeros para formar polímeros. Os maiores produtores atualmente no mercado são: Basf, Dow, Hoestch, Bayer, Dupont, ICI, General Electric, Solvay, entre outras (Mulder, 1998).

A introdução do nylon em 1928 marca uma mudança radical na vida diária, pois, centenas de produtos de origem natural foram substituídos por outros fabricados a partir de resinas sintéticas.

Tabela 16- Tipos de plásticos utilizados na fabricação de alguns artefatos:

Artefato	Tipo de Plástico
Baldes, Garrafas de Álcool	PEAD
Condutores para fios e cabos elétricos	PVC, PEBD, PEAD, PP
Copos descartáveis	PS

Artefato	Tipo de Plástico
Embalagens de massas e biscoitos	PP, PEBD
Frascos de produtos de limpeza	PP, PEAD, PEBD, PVC
Gabinets de aparelhos de som e TV	PS
Garrafas de água mineral	PVC, PET ,PP , PEAD
Garrafas de refrigerante	PET
Garrafões de água mineral	PC, PVC,PEAD, PP
Isopor	PS
Lonas agrícolas	PVC, PEAD, PEBD
Potes de margarina	PP
Sacos de leite	PEBD, PEAD, PVC
Tubos de água e esgoto	PVC

Fonte: Vilhena, 2000

A história da moldagem dos plásticos acompanha o desenvolvimento das resinas fenólicas no começo do século XX. A primeira máquina de moldagem de plástico por injeção foi colocada em uso na Alemanha em 1921 (Khol, 1998).

Atualmente, os plásticos mais usados são o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), o Polipropileno (PP), o Policloreto de vinila (PVC) o Poliestireno (PS) e o Politereftalato de Etileno (PET) (Vidales, 1999). Na Tabela podemos observar a utilização de cada tipo de plástico.

A produção de polímeros sintéticos tem sua origem a partir dos conhecimentos da composição de polímeros naturais, como o algodão, a madeira, o chifre do boi, o cabelo, o látex (Revista Plástivida, 2001). Os polímeros naturais não são uniformes em suas características

podendo o material sintético apresentar melhor qualidade. Outra vantagem do uso de materiais sintéticos é que a extração de materiais naturais, pode ser evitada (Khol, 1998).

O consumo de plásticos pela sociedade é enorme, atingindo a média de 100 kg/pessoa/ano em alguns países (Mulder,1998). Suas maiores aplicações são:

- Embalagem 30%
- Construção 28%
- Aparelhos Eletrônicos 2%
- Móveis 7%
- Brinquedos e Recreação 1%
- Eletrodomésticos 6%
- Medicina 1%
- Outros (transporte, agricultura, equipamentos diversos) 25%

A escolha do PET para uso em embalagens de bebidas carbonatadas resultou de inúmeros desenvolvimentos paralelos entre as indústrias de bebidas e a indústria de plásticos. A indústria de bebida queria se beneficiar do aumento das vendas gerado com o aumento do tamanho das garrafas, principalmente as de dois litros, o que fez com que a indústria plástica buscasse a melhor alternativa entre os polímeros (Mathias, 1998).

Os testes de mercado levaram em conta as linhas de produção, a substancial redução na quebra, o manuseio fácil e seguro desde o envase até o produto final e a eliminação quase total de ruídos nas engarrafadoras. Nos supermercados os problemas de quebra, segurança, movimentação e empilhamento foram atenuados, e, para os fabricantes a praticidade do PET foi fundamental para que as garrafas de vidro praticamente sumissem do mercado de refrigerantes (Plástico Moderno,1985).

O PET , assim como o PEN, têm como característica a baixa permeabilidade ao oxigênio a ao dióxido de carbono sendo os únicos plásticos adequados para refrigerantes por não deixar

escapar o gás. Além da leveza e transparência, é inerte ao líquido, substituindo o vidro, quase vinte vezes mais pesado.

O polietileno tereftalato é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros descoberto na década de 1930 por W.C. Carothers, da Dupont (Nissei, 2001). Em 1941 foi patenteado como fibra têxtil pelos ingleses Whinfield e Dickson (CETEA, 1999). Já em 1973, o processo de injeção com biorientação, desenvolvido pela própria Dupont, introduziu o PET na aplicação em garrafas, que começaram a ser produzidas em 1977 nos Estados Unidos revolucionando o mercado de bebidas e impulsionando grande crescimento na utilização desse polímero (Nissei, 2001).

Os polímeros de PET podem se apresentar de forma amorfa ou cristalina. A primeira pode ser utilizada em filmes e fibras; para garrafas é necessária a utilização do PET na forma cristalina, que possui melhores propriedades mecânicas (Joosten, 1998). O PET cristalino é obtido a partir do PET amorfo pela adição de uma fase extra de polimerização (Boustead, 1995).

No Brasil, o PET chegou em 1988, inicialmente com garrafas descartáveis de 1,5 litros e 2 litros para refrigerantes, trazendo grandes mudanças no mercado brasileiro, que cresceu mais que 100% nos últimos 10 anos impulsionados principalmente pelos seguintes fatores ( Santos, 1996 ):

- Aumento de volume de produção, devido a maior oferta de embalagens, e, conseqüente diminuição no preço do produto final.
- Possibilidade de aquisição de equipamentos para fabricação de embalagens de PET por um número maior de fabricantes.
- Aumento do mercado consumidor propiciado pelo barateamento que o mesmo sofreu.
- Maior eficiência das empresas em distribuir o produto e aumentar a oferta.

O PET é o único plástico utilizado para o acondicionamento de bebidas alcoólicas aprovado pelo "Bureau of Alcohol, Tobacco and firearms" e a adoção do PVC não foi possível devida a possível contaminação por cloro vinil (Jenkins, 1991).

Apesar da aprovação, algumas bebidas possuem limitações quanto a seu uso. No caso de vinhos e licores finos essa embalagem repercutiu negativamente aos consumidores que continuam a preferir o vidro. Quanto ao uso em garrafas de cerveja os fabricantes vêem uma grande oportunidade de mercado, porém inovações tecnológicas são necessárias devido à pasteurização da cerveja envasada.

Uma nova matéria plástica vem sendo desenvolvida para o envase de cervejas, o que poderá trazer novas tendências no mercado de embalagens. O PEN, polietileno naftalato, que deverá entrar em escala industrial no início desse século. Suas vantagens sobre o PET são: a alta impermeabilidade ao oxigênio, podendo ser seis vezes maior, a resistência ao enchimento, cerca de 50% maior e a barreira a gases (ABIPET, 2000). Porém, sua principal vantagem é a resistência ao enchimento aquecido, cerca de 100<sup>0</sup>C contra 71<sup>0</sup>C do PET, sendo a melhor opção para bebidas pasteurizadas, como as cervejas (ABIPET, 2000).

Os poliésteres são materiais produzidos pela polimerização de um ácido dicarboxílico e um glicol ou bifenol. O PET é, portanto, um polímero formado tanto pela reação do ácido tereftálico (TPA), como do dimetiltereftalato (DMT) com o etilenoglicol. Em termos químicos simples, o PET é originado da reação direta (esterificação) do ácido tereftálico com o etilenoglicol, formando o monômero (bis-β-hidroxi-etil-tereftalato), policondensado em um polímero de cadeia longa (n=+- 120). Por sua vez, o ácido tereftálico é obtido do p-xileno, enquanto que o etileno glicol é sintetizado a partir do eteno, sendo ambos produtos da indústria petroquímica, mais precisamente da nafta obtida pelo craqueamento do petróleo. Na Figura 6 temos a fórmula química do monômero final.

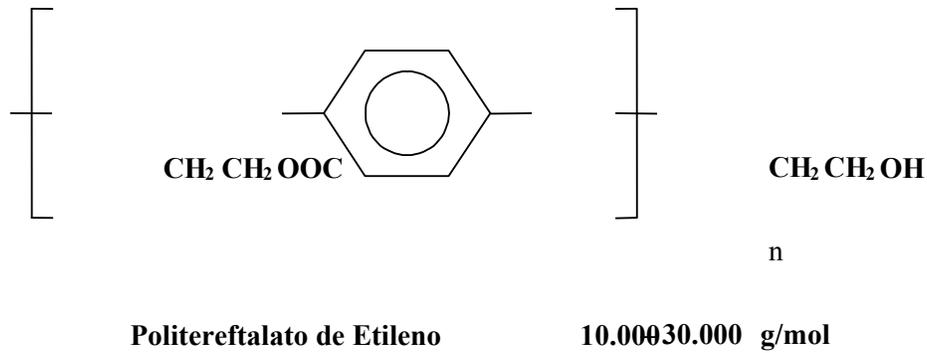


Figura 6 – Fórmula Química do PET

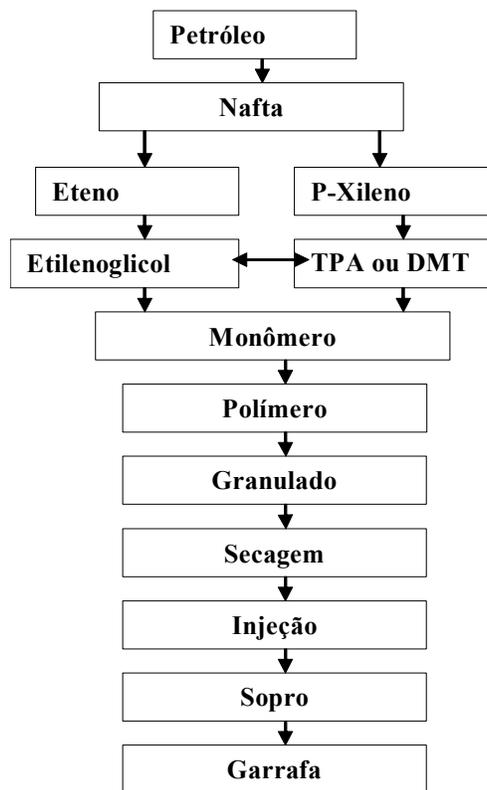


Figura 7 – Fluxograma do Processo de Produção de garrafa de PET

Atualmente, a resina PET está sendo utilizada em vários produtos, além das bebidas carbonatadas, como água mineral, óleos, pesticidas, farmacêuticos, sucos, cosméticos, produtos de limpeza, bebidas isotônicas e bebidas alcoólicas (Hartwig,1998, ABIPET,1999)A qualidade

final do polímero sintético é altamente dependente da qualidade inicial do monômero. A diferença entre se utilizar o TPA e o DMT está na facilidade de se encontrar o primeiro em alta pureza e qualidade, embora o DMT seja mais facilmente purificável. Na figura 7, tem-se um fluxograma dos principais processos para a produção da garrafa de PET.

Não existem dúvidas da crescente utilização de garrafas de PET nas embalagens de bebidas. Em 1995, 41% das garrafas para bebidas carbonatadas foram confeccionadas com resina PET, aumentando para 60% no ano 2000, devido principalmente ao processo de substituição de garrafas de vidro que ainda está ocorrendo em muitos mercados. A tendência é de grande redução da participação de garrafas de vidro a longo prazo (Santos,1997 ).

O potencial de crescimento no setor de bebidas no país tem levado a um aumento na concorrência entre os produtores de alumínio, resinas plásticas e vidro. A Tabela 15 mostra um aumento na demanda de 5,5 bilhões de litros entre 1985 e 1995.

Tabela 15- Evolução da Demanda de Bebidas Carbonatadas:

Ano	Demanda (bilhões de litros)	Ano	Demanda (bilhões de litros)
1985	3,5	1991	6,2
1986	5,2	1992	5,2
1987	5,5	1993	5,8
1988	5,1	1994	6,6
1989	5,9	1995	9,0
1990	5,9		

Fonte: Datamark, 2001.

A maioria dos vasilhames retornáveis já é recusada em boa parte do varejo, refletindo em uma mudança na tendência de embalagem, com o aumento da preferência da maioria dos

consumidores pelas garrafas descartáveis. Já os consumidores que procuram produtos que possuem embalagens retornáveis vão encontrando dificuldades na hora da compra do produto, tendo essa opção de compra cada vez mais reduzida no mercado.

### 2.3.1 Fabricação de Garrafas de PET

O processo produtivo do PET até a obtenção da garrafa pronta para o uso pode ser dividido em até 4 ou 5 unidades industriais diferentes, ocorrendo: a retirada da matéria prima proveniente do petróleo numa unidade petroquímica, a produção da resina peletizada, a injeção do pré molde e o sopro do pré molde ou da garrafa pronta. O processo de fabricação da garrafa a partir da resina pronta pode ser dividido nas seguintes etapas: secagem dos grânulos, injeção, sopro e estiramento.

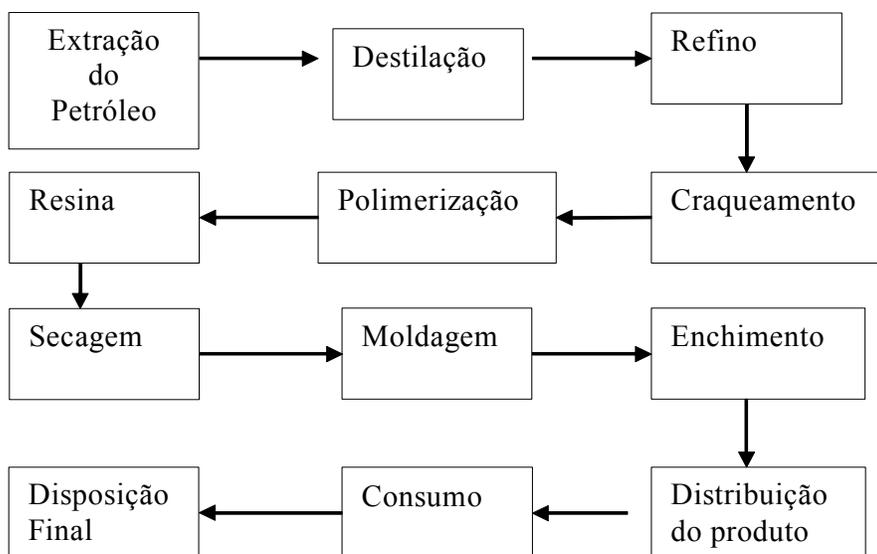


Figura 8 – Ciclo de Vida do PET

O processo de produção da garrafa a partir da resina pronta e "pelletizada" no caso do PET, pode ocorrer por injeção-sopro, injeção-estiramento e extrusão-sopro (Anjos, 1998 ).

### **2.3.2 Secagem**

Antes da produção da garrafa a resina granulada deve ser desumidificada, pois absorve muita umidade da atmosfera, que deve ser removida por um desumidificador. Com a secagem evita-se a degradação da resina durante o ciclo térmico, o que acarretaria redução em seu peso molecular, comprometendo suas propriedades. A secagem deve ser feita para que o nível de umidade fique abaixo de 0,005% mediante um aquecimento até 165<sup>0</sup>C, por quatro horas num desumidificador (Whelan, 1999).

### **2.3.3 Injeção**

O granulado já seco sofre então um processo de compressão sendo fundido e injetado numa cavidade de molde. Para a injeção a resina deve ser aquecida a temperaturas da ordem de 270<sup>0</sup>C e resfriado rapidamente, formando o que é chamado "pré-forma", na forma de pequenos tubos, com uma rosca na extremidade.

### **2.3.4 Sopro e Estiramento**

A pré-forma é submetida simultaneamente a um estiramento orientado, bi-axial, ao mesmo tempo em que é soprada no interior do molde da sua forma original. O sopro é realizado numa temperatura de 90 a 100<sup>0</sup>C. A garrafa pronta é então ejetada da máquina, pronta para o uso.

A produção das garrafas pode se dar em processos denominados de "um estágio" ou "dois estágios".

No processo de "um estágio" a pré-forma é soprada ainda quente e a garrafa sai pronta para o enchimento, podendo ser realizado numa única máquina integrada. Geralmente é utilizada em pequenas e médias linhas de produção.

A vantagem desse processo se encontra nos menores prejuízos da embalagem, já que evita estocagem e transporte das pré-formas. Nesse caso a qualidade da embalagem é superior no que

se refere a defeitos visuais. Além do que, é mais fácil soprar uma pré-forma recém injetada do que uma pré-forma com alguns dias ou semanas, devido já estar aquecida e com a estrutura molecular ainda em movimento (Anjos, 1998).

No processo de "dois estágios" a produção se encerra na pré-forma, que é então resfriada para uso posterior quando sofrerá a sopragem. Neste caso a sopragem pode ocorrer em outra indústria e na maioria das vezes, é utilizada para produção em grande escala.

## **2.4 Análise de Ciclo de Vida**

Todos os produtos utilizados pela sociedade moderna têm algum impacto sobre o meio ambiente que podem ocorrer durante as etapas de extração da matéria-prima, produção, uso e disposição final.

De acordo com o SETAC (Society of Toxicology and Chemistry, 1991), "A Análise de Ciclo de Vida tem como objetivo avaliar as cargas ambientais associadas com um produto, processo ou atividades relacionadas a ele para identificação e quantificação da energia e materiais usados, além das descargas para o ambiente. As informações geradas podem servir para análise e implementação de oportunidades a fim de influenciar melhorias ambientais, abrangendo desde a extração, o processamento da matéria prima, a manufatura, o transporte e a distribuição; o uso e reuso; a manutenção; a reciclagem e a disposição final".

No setor de embalagens uma atenção especial vem sendo dada ao estudo real dos impactos ambientais ocasionados por um produto ou processo durante todo o seu ciclo de vida. A Análise de Ciclo de Vida pode ser utilizada, incorporando decisões estratégicas em empresas e governos. No futuro ela poderá ser utilizada, inclusive, como objeto de intervenção regulatória. Neste caso, as embalagens que forem julgadas menos aceitáveis ambientalmente poderão ser restringidas.

De um modo geral, a AACV abrange as seguintes etapas:

- Identifica e quantifica: o consumo de energia, o consumo de materiais e a geração de resíduos

- Avalia o impacto no meio ambiente: do consumo de energia, do consumo de materiais e da geração de resíduos
- Identifica e avalia oportunidades para aumentar a eficiência nos processos de fabricação, no sistema de distribuição e de disposição final dos resíduos e produtos pós consumo, além da redução dos custos

O principal objetivo da Análise de Ciclo de Vida é a obtenção, através de uma visão global e completa, de subsídios que qualifiquem e quantifiquem os efeitos ambientais, implementando melhorias nesses efeitos.

Uma das restrições ao uso da AACV é sua complexidade, o que leva a custos altos na sua elaboração, além da necessidade de uma grande quantidade de dados devido a sua abrangência, o que pode levar a uma extrema dificuldade de interpretação dos dados (Boustead, 1998). Esses problemas podem ser contornados a partir do momento em que se delimita e se formula claramente os objetivos do trabalho.

As empresas estão empregando a Análise de Ciclo de Vida para:

- Classificar seus níveis de desempenho ambiental
- Identificar oportunidades de melhorias do produto/processo;
- Selecionar materiais e produtos ambientalmente preferíveis
- Fazer apelos mercadológicos usando técnicas científicas
- Selecionar indicadores de desempenho para sistemas de gerenciamento ambiental
- Definir políticas de compra e escolha de fornecedores

A Análise de Ciclo de Vida é uma das áreas de abrangência das normas ISO 14000, que tem como um dos objetivos eliminar a tendenciosidade e as imprecisões na rotulagem ambiental, sistematizando o estabelecimento dos “selos verdes”.

Um dos passos utilizados numa AACV é a Análise de Inventário, que identifica e quantifica a energia e materiais utilizados, as emissões e o esgotamento dos recursos. Algumas análises podem limitar seus focos para aspectos particulares da Análise de Ciclo de Vida.

No momento, se intensifica a busca por tecnologias mais limpas para a fabricação e processos industriais no sentido de se evitar a poluição e desperdícios de recursos, promovendo benefícios para a humanidade que utilizem menos recursos com menos danos ao meio ambiente. Essa "tecnologia limpa" se torna uma alternativa aos meios convencionais de indústrias altamente competitivas (Clift, 1995). Neste caso, a AACV pode e deve ter um papel central definido no uso de tecnologias mais limpas.

Somente recentemente alguma atenção tem sido dirigida à fabricação de componentes e sistemas que facilitem a reciclagem e o uso final do produto. Combinações de plástico, papel, metal e outros produtos eram usadas sem qualquer consideração com o potencial de reciclabilidade. Garrafas de PET antigas tinham base de polipropileno ou polietileno, as tampas eram de alumínio e os rótulos de papel. Os adesivos utilizados dificultavam a separação e atacavam os plásticos (Subramaniam, 2000). Com o aumento da conscientização do potencial de reciclagem os designers estão explorando novas combinações de materiais.

As maiores dificuldades na realização da AACV se encontram na elaboração da Análise de Inventário, cujo escopo se encontra na Figura 9, graças a inúmeros e diversificados dados que devem ser coletados. Na prática o inventário é difícil e trabalhoso de ser executado por uma série de razões, como: a ausência de dados conhecidos, não só pela própria empresa, mas também indisponíveis na literatura, a necessidade de estimá-los e a qualidade dos dados disponíveis.

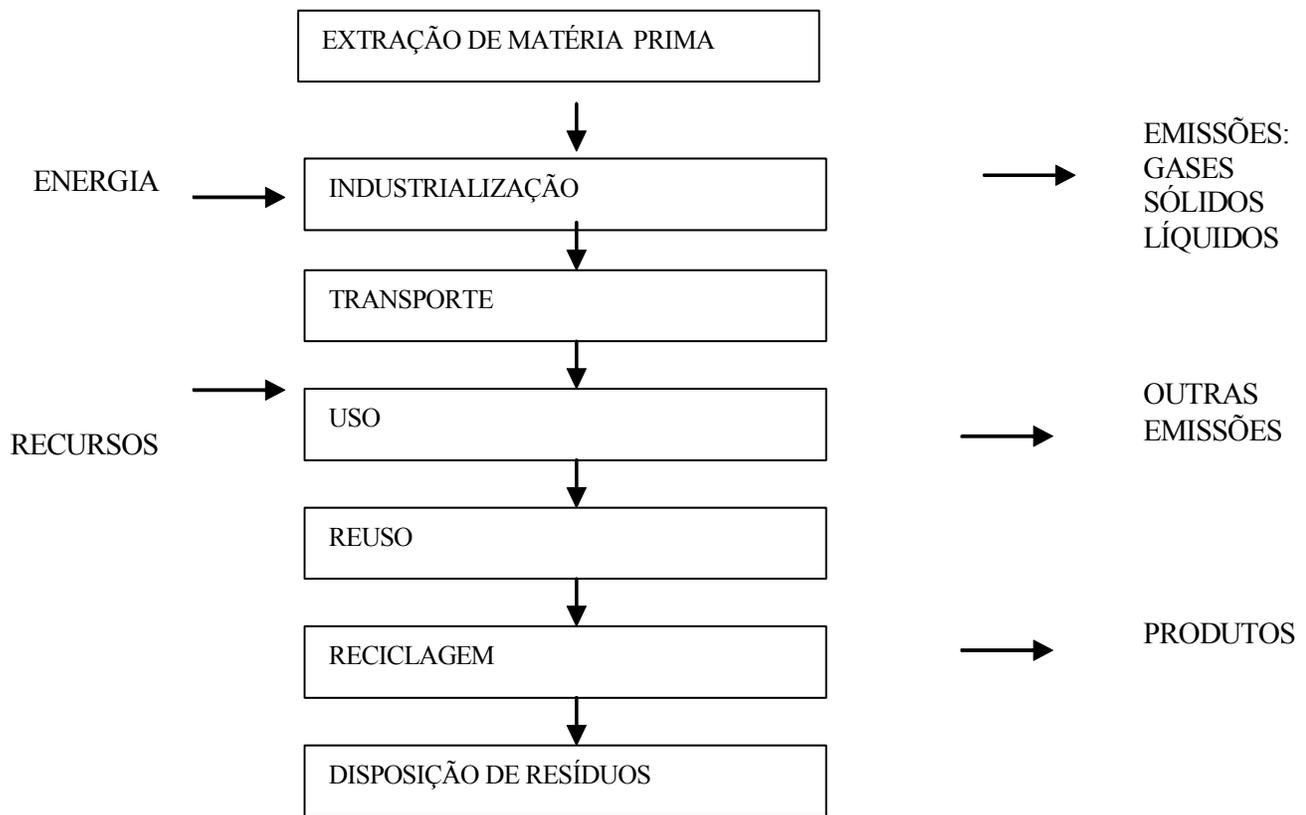


Figura 9 – Escopo Geral de uma Análise de Inventário

O desenvolvimento de um produto deve ser orientado apropriadamente para modelos mais ecológico e economicamente sustentáveis, integrando as exigências ambientais nas primeiras fases de "construção" do produto. O design deve equilibrar aspectos como: desempenho ambiental, custos e normas.

Quanto à utilização da AACV em embalagens, o projeto pioneiro no Brasil foi desenvolvido pelo CETEA, Centro de Tecnologia de Embalagem, em parceria com um consórcio de Associações e empresas e com o apoio da FAPESP. O projeto desenvolvido no período de 1997-99 conduziu estudos de Avaliação de Ciclo de Vida para 13 sistemas de embalagens. Os resultados do estudo, porém só foram divulgados para as empresas, individualmente e sigilosamente (Boletim Técnico do CETEA, 2003).

A indústria de bebidas tem sido freqüentemente alvo de estudos de Análise de Ciclo de Vida por sua participação nos resíduos sólidos urbanos. A primeira análise foi conduzida nos Estados Unidos em 1969, pela Coca-Cola, e tinha por objetivo comparar os diferentes envases, em relação a emissões e consumo de recursos naturais (Hunt et al, 1992). Esses estudos eram conhecidos como Resource Environmental Profile Analysis, e, entre 1970 e 1978 estudos similares foram conduzidos nos Estados Unidos.

Desde 1970, um pequeno número de análises similares também foi realizado na Europa. Entre o início dos anos 80 e o meio dos anos 90 novas metodologias de estudo foram desenvolvidas, aumentando o interesse das indústrias européias. Muitos países desenvolveram estudos em embalagens de bebidas, como: a Suécia (incluindo somente o consumo de energia), a Áustria em 1985, a Inglaterra em 1989, a Grécia em 1990 e a Suíça em 1992 (em conjunto com a França e a Alemanha). Nos Estados Unidos foi publicado um trabalho sobre o sistema de embalagens de refrigerantes, incluindo PET, vidro e alumínio, em 1989 (Georgakellos, 2003).

Com a evolução da metodologia os estudos passaram a denominar-se Análise de Ciclo de Vida ou Avaliação do Ciclo de Vida. Com a implantação da ISO 14000, em 1997, a AACV passou a ser reconhecida como instrumento de avaliação.

Dentro da padronização para Análise de Ciclo de Vida, as seguintes normas da ISO 14040 encontram-se publicadas:

- ISO 14040 - Life cycle assessment - Principles and framework, publicada em 1997
- ISO 14041 - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, publicada em 1998
- ISO 14042 - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment, publicada em 2000
- ISO 14043 - Life cycle assessment - Life cycle interpretation, publicada em 2000
- ISO 14047 - Illustrative examples on how to apply ISO14042, relatório técnico, publicado em 2003
- ISO 14048 - Life cycle assessment - LCA data documentation format. especificação técnica, aprovada em 2002

- ISO 14049 - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis, relatório técnico, aprovado em 2000

## **2.5 Consumo de Energia e Emissões**

Um dos aspectos a serem considerados em qualquer desenvolvimento sustentável deve se basear na eficiência da utilização de energia em cada estágio do sistema para a produção de bens, transporte e disposição final (Subramaniam,2000).

A energia necessária para a fabricação e utilização de diferentes embalagens deve envolver a extração da matéria prima, a manufatura, o consumo de combustível na distribuição, o processo de disposição final, assim como o tipo de recurso utilizado.

O setor de transporte está entre os que mais tem contribuído para a aceleração da degradação ambiental através de emissões atmosféricas de poluentes pela queima de combustíveis fósseis. Aproximadamente 25% do total das emissões de todo o dióxido de carbono gerado no mundo resultam de atividades desenvolvidas com os sistemas de transporte (GABEL, 1992). No conjunto dos modos de transporte, o rodoviário é o mais intensivo no conjunto das emissões.

As reservas de combustíveis fósseis são necessariamente exauríveis e devem ser utilizadas com a clara noção de sua inerente e irreversível exaustão. Assim, na busca de uma perspectiva sustentável para a indústria do petróleo e do gás natural, além de se requerer o maior cuidado com as práticas de proteção ambiental e mitigação dos efeitos ao meio ambiente ao longo da cadeia de produção, processamento e consumo, é importante que se considerem as possibilidades de transição para fontes energéticas menos poluentes (Horta, 2002 ).

No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional de 2001, (ano base 2000) o setor de transporte teve 19,7% do consumo total de energéticos e cerca de 89% do transporte de carga no Brasil dependeram do modo rodoviário em 2000. Ainda, 88,5% do consumo de energia no setor de transportes eram provido pelos derivados de petróleo e o restante dividido entre o gás natural

(0,6%) e álcool (10,2%) (Horta,2002). Vale ressaltar que este montante de álcool etílico inclui álcool hidratado combustível e álcool anidro, adicionado à gasolina "A" para a elaboração da gasolina automotiva "C", com 22% de anidro (Horta,2002 ).

Dentre as várias alternativas para a redução das emissões, grande parte se focaliza nos meios de transporte, principalmente de cargas.

## **2.6 Emissão de Dióxido de Carbono e Efeito Estufa**

Alguns gases da atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), funcionam como uma capa protetora que impede que o calor absorvido da irradiação solar escape para o espaço exterior, mantendo uma situação de equilíbrio térmico sobre o planeta, tanto durante o dia como durante a noite. Sem o carbono na atmosfera a superfície da Terra seria coberta de gelo. A essa particularidade benéfica da camada de ar em volta do globo terrestre se dá o nome de "efeito estufa".

A cobertura de gases permite a passagem da radiação solar, mas evita a liberação da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra. O efeito estufa natural, que não foi potencializado pela atividade do homem, resulta numa temperatura média da Terra em torno de 15°C. Se não houvesse o efeito estufa natural a temperatura da superfície da Terra estaria em torno de -18°C. A temperatura média de 15°C permite uma condição favorável a muitas formas de vida, já que possibilita a existência da água em forma líquida, ingrediente essencial para a vida.

Embora o clima mundial tenha sempre variado naturalmente, a grande maioria dos cientistas agora acredita que o aumento das concentrações de "gases de efeito estufa" na atmosfera da Terra, resultante do crescimento econômico e demográfico desde a revolução industrial, está ultrapassando essa variabilidade natural e provocando uma mudança irreversível do clima. Em 1995, o Segundo Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) confirmou que "o balanço das evidências sugere que há uma influência humana discernível sobre o clima global". O relatório projetou que as temperaturas

médias da superfície global aumentariam entre 1 e 3,5°C até 2100, o que corresponde à taxa de mudança mais rápida desde o final do último período glacial, e que os níveis globais médios do mar aumentariam entre 15 e 95 cm até 2100, inundando muitas áreas costeiras de baixa altitude.

Também são previstas mudanças nos padrões de precipitação, aumentando a ameaça de secas, enchentes ou tempestades intensas em muitas regiões.

Existem negociações em andamento para o fechamento de um acordo amplo sobre como obter as reduções nas emissões de CO<sub>2</sub>, previstas no protocolo de Quioto. Esse protocolo, firmado em dezembro de 1997 no Japão define que os países industrializados devem reduzir em 5,2% em média, suas emissões de gases estufa, até 2012, sobre o ano base de 1990 (Folha de São Paulo, /2000).

O Protocolo de Quioto foi aberto a assinaturas em 16 de março de 1998.e até 2003, 123 países aderiram ao protocolo, porém eles totalizavam apenas 44% das emissões de dióxido de carbono em 1990. Para entrar em vigor, o Protocolo deve ser ratificado pelos países industrializados responsáveis por pelo menos 55% das emissões de dióxido de carbono. Isso se tornou possível com a assinatura da Rússia em 2004, que com 17,2% das emissões completou o número necessário para sua aprovação Entre os países que não ratificaram o protocolo se encontram os Estados Unidos, a China e o Japão. As metas cobrem as emissões dos seis principais gases:

- dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- metano (CH<sub>4</sub>)
- óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- hidrofluorcarbonos (HFCs)
- perfluorcarbonos (PFCs)
- hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>)

## 2.7 Consumo e Emissão nos Principais Processos

Podem existir variações no consumo energético e emissão tanto na produção do vidro como na produção do PET, isso se deve ao fato de que as indústrias possuem plantas e equipamentos diferentes, além de variações na matéria prima e nos combustíveis utilizados para geração de energia, além das variações nas características desses combustíveis. Alguns dados coletados na literatura especializada em sistemas de embalagens podem ser vistos na tabela 16 e na tabela 17.

Tabela 16 - Dados coletados na literatura da Produção de Garrafas de Vidro(1000 litros):

Fonte	Volume/Peso (Garrafa)	Processo	Consumo		
			MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
Hekkert, 2000	0,3 l /250g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Fabricação da Garrafa	2.583	8.000	10.583
		Lavagem	1.420		1.420
SAEFL,1998	0,6 l / 486 g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Fabricação da Garrafa	2.575	7.709	10.283
		Lavagem	186	395,4	581,4
Koroneos et al, 2003			MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Fabricação da Garrafa	2.625	9.103	11.728,3
Este Estudo, 2003	0,6 l / 486 g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Fabricação da Garrafa	680	5.452	6.132
		Lavagem	7,5	178,7	186,2

Tabela 17 – Dados coletados na literatura da Produção de Garrafas de PET (1000 litros):

Fonte	Volume/peso Garrafa	Processo	Consumo		
			MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
Joosten, 1998	1,5l / 50g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Produção da Resina	110	923,3	1.033,3
		Injeção e Sopro	246,6		246,7
		Total	356,7	923,3	<b>1.280,0</b>
Hekkert, 2000	1,5l / 50g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Produção da Resina	300	966,7	1.266,7
		Injeção e Sopro	590		590
		Total	890	966,67	<b>1.856,67</b>
SAEFL, 1998	1,5l / 50g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Produção da Resina	297	927,67	1.224,7
		Injeção e Sopro	408,23		408,23
		Total	705,23	927,67	<b>1.632,9</b>
Heijningen et al, 1998	1,5l / 50g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Produção da Resina			<b>976,66</b>
Patel, 1998	1,5l / 50g		MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
		Produção da Resina			<b>756,7</b>
Este Estudo	0,6 l / 34g	Injeção e Sopro	MJ <sub>el</sub>	MJ <sub>prim</sub>	MJ <sub>total</sub>
			353,6		<b>353,6</b>

Todos os dados se referem a bases de dados coletados em indústrias na Europa. O volume e o peso das garrafas escolhidas para os cálculos são especificados, já que variações nas características das garrafas podem alterar os resultados.

Além das diferenças nas características do processo produtivo, podem existir variações na composição da matéria prima utilizada. No caso das garrafas de vidro um aspecto importante é na porcentagem de cacos utilizados, já que é um fator que influencia diretamente o consumo de energia nos fornos de fusão, etapa onde ocorre o maior consumo. Nosso estudo considera a utilização de cerca de 60% de caco na mistura.

## Capítulo 3

### 3.1 Metodologia

#### 3.1.1 Definição dos Objetivos

Os envases utilizados na indústria de bebidas no Brasil possuem material e volume diversificados, assim como no resto do mundo, principalmente com a adoção das garrafas de PET no setor como foi descrito anteriormente. Contamos com o sistema de embalagens não retornáveis, como latas, garrafas de material plástico e garrafas de vidro, assim como o sistema de embalagens retornáveis de vidro e, em pequenas quantidades, de PET.

A comparação, objeto desse estudo, é entre a garrafa de vidro retornável e a garrafa de PET não retornável, cujas características se encontram na Tabela 18.

Tabela 18 – Características dos vasilhames:

Propriedades	Material	
	Vidro	PET
Peso da garrafa	486 g	35 g
Volume	600 ml	600 ml

Para obtenção do peso das garrafas realizou-se uma amostragem das garrafas de vidro em circulação no mercado, no período de 2002, obtidas aleatoriamente em estabelecimentos

comerciais na cidade de Jaguariúna, no Estado de São Paulo. Os valores medidos podem ser observados no anexo I.

A garrafa de vidro utilizada para cerveja no Brasil é de cor âmbar, utilizando-se cacos na proporção de até 60% da matéria prima utilizada na fabricação. No caso das garrafas de PET, podem ser verdes ou transparentes e 100% da matéria prima utilizada é virgem.

Para efeito de simplificação das comparações entre as duas embalagens, de PET e de vidro, foram consideradas garrafas que contenham o mesmo volume de líquido. No Brasil as garrafas de cerveja de vidro retornáveis existentes no mercado tem capacidade de 600ml. Também no Brasil o mercado de refrigerantes possui garrafa de PET descartável com o mesmo volume.

Tabela 19 –Base de Cálculo de Conversão para os Combustíveis Utilizados:

<b>Combustível</b>	<b>Conversão</b>	<b>Emissão</b>
Óleo 3 “A “	40.346 kJ/kg	3,188kg CO <sub>2</sub> /kg
kWh	3,6 MJ	0,0344 Kg CO <sub>2</sub> / MJ
Óleo BPF	41.365 kJ/kg	3,153 kg CO <sub>2</sub> /kg
Óleo Diesel	42.923 kJ/kg	2,617kg CO <sub>2</sub> /kg
GLP	42.723 kJ/kg	3,0167 kg CO <sub>2</sub> /kg
	88.010 kJ/m <sup>3</sup>	6,338 kg CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>

A unidade funcional estabelecida é de 1000 litros de líquido envasado, o consumo de energia convertido em Megajoule, o peso em quilogramas e as distâncias medidas em quilômetros. As características utilizadas para os cálculos de consumo e emissão se encontram na Tabela 19.

O escopo deste trabalho se limita aos cálculos relativos ao consumo de energia e emissão de dióxido de carbono, divididos nos seguintes estágios: manufatura da garrafa, distribuição do

produto em todas as fases, reutilização da garrafa e coleta da embalagem pós-consumo até a disposição final. Os cálculos relativos à extração da matéria prima foram excluídos pela falta de dados com características brasileiras, bem diferentes da realidade americana ou européia, que possuem um banco de dados próprio. Também foram excluídas as emissões relacionadas a aterros e reciclagem. A finalidade é descrever cada estágio separadamente, relacionando-os com as emissões e consumo energético de modo claro e preciso. Posteriormente o consumo e emissão de cada estágio serão somados totalizando a comparação final.

Alguns estágios do processo produtivo completo não serão levados em conta por serem similares nas garrafas analisadas e não influenciarem na comparação final dos resultados, que são: o enchimento das garrafas, a rotulação, o fechamento e a paletização.

Algumas dificuldades foram encontradas em diversas empresas e associações que não contribuíram com os dados necessários, por receio ou simplesmente por não conhecê-los, o que fez com que o tempo despendido para coleta dos dados fosse maior. O inventário de coleta de dados, nas indústrias, iniciou-se em 2001 e prosseguiu até 2003, para que se concluíssem os cálculos necessários.

Delimitamos os estágios objeto desse estudo na Figura 10 e na Figura 11. Os processos fora da área demarcada como a extração da matéria prima e a disposição final do produto, não foram computadas.

Estão fora do escopo as extrações de todos os recursos utilizados, assim como outras emissões e rejeitos relacionados.

As maiores dificuldades na coleta de dados na indústria se referem às indústrias ligadas ao processo produtivo da resina. Devido a este impedimento, os dados utilizados neste trabalho, foram obtidos de uma base de dados européia, “*Life Cycle Inventories for Packagings*”, publicado pela Swiss Agency for the Environmental, Forests and Landscape (SAEFL), em 1998. Os cálculos se basearam nas características dos combustíveis utilizados no Brasil.

Para o processo de injeção e sopro da garrafa de PET, os dados foram coletados de uma indústria local durante o ano de 2003.

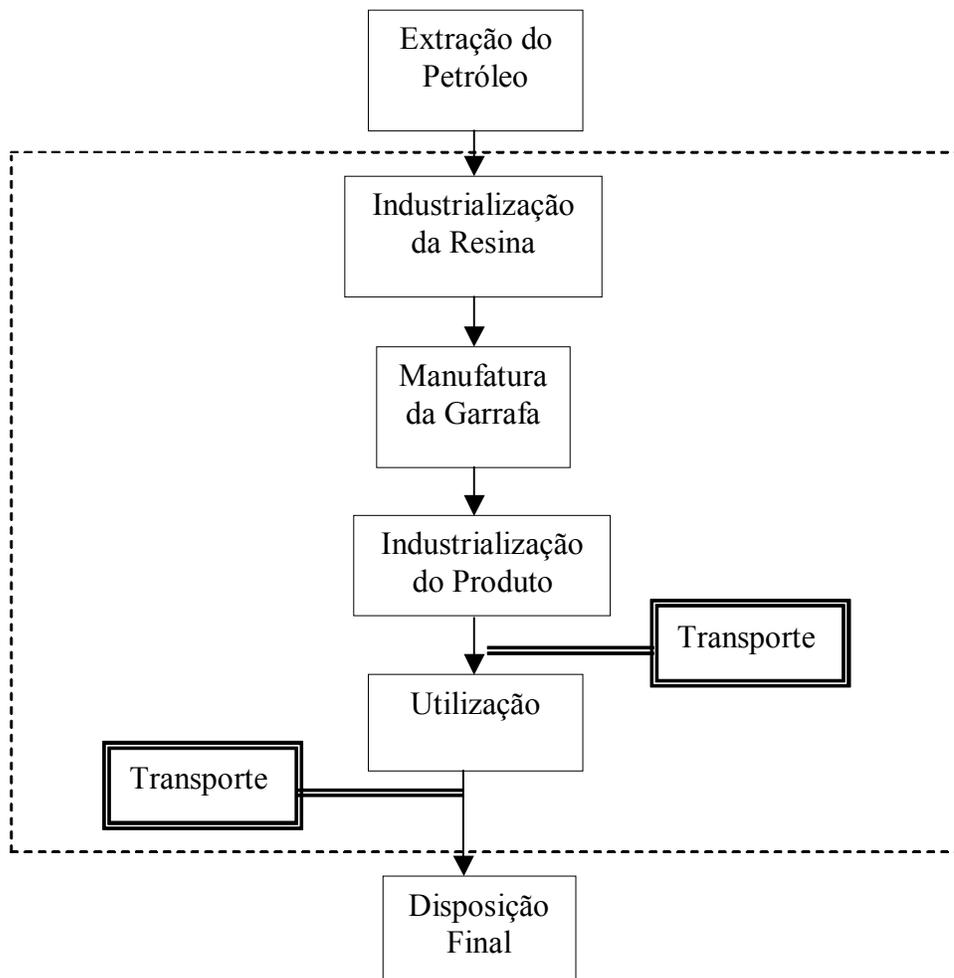


Figura 10- Escopo do Inventário na produção de garrafas de PET

Os dados para esse estudo foram coletados diretamente de indústrias e distribuidoras que atuam no setor nacional, principalmente na região sudeste do Brasil, com exceção da industrialização da resina, conforme já explicado. Esse procedimento obedece aos parâmetros usados na AACV, na qual os dados devem estar limitados a uma certa região geográfica.

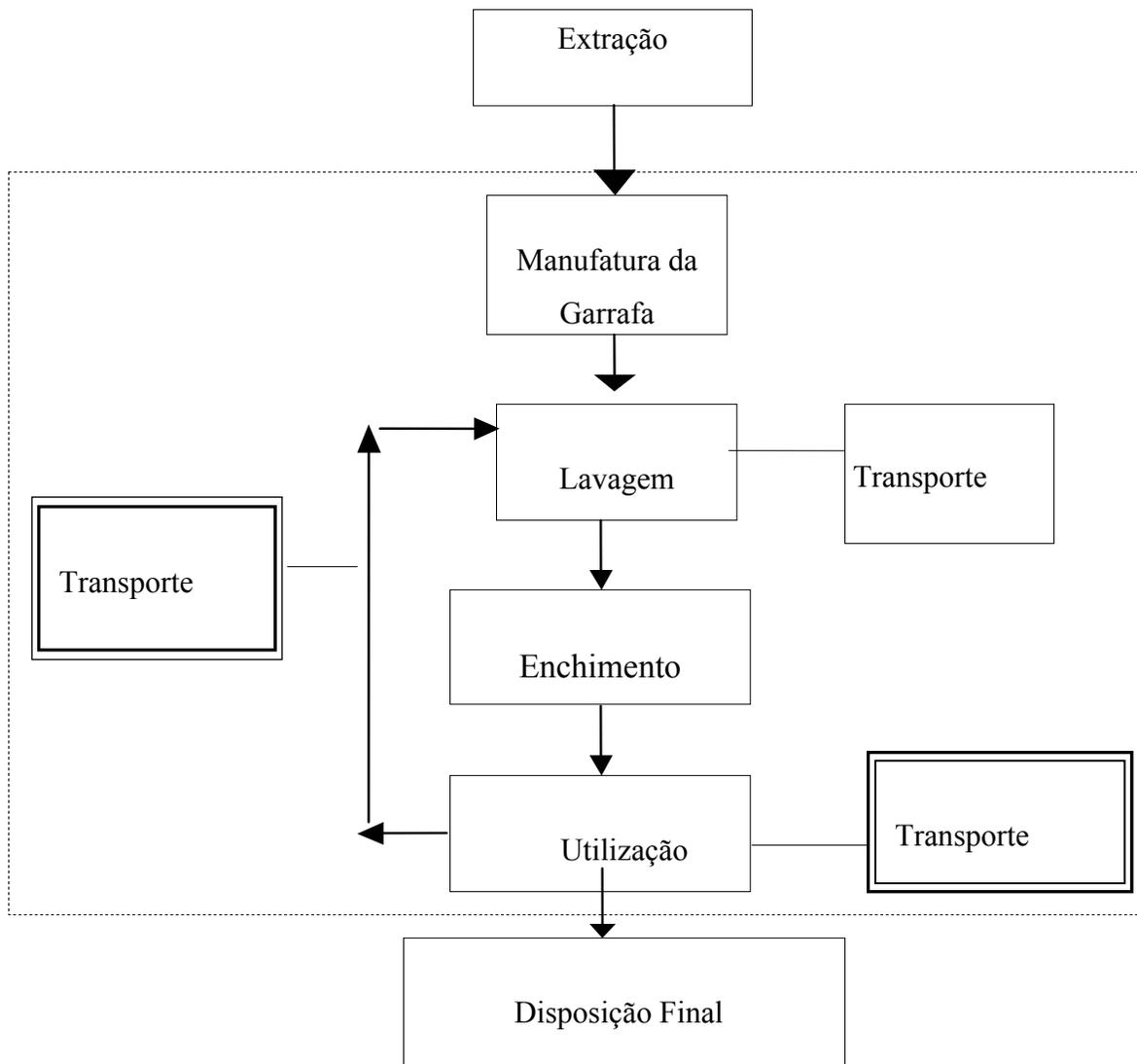


Figura 11- Escopo do Inventário da produção de garrafas de vidro

### 3.1.2 Empresas Consultadas

As seguintes empresas e instituições forneceram dados para este estudo:

#### TRANSPORTE:

- Forquímica Transporte de Óleo - Jaguariúna/SP
- T.A. Transportadora Americana - Americana/SP
- D.B.J. Distribuidora de Bebidas - Jaguariúna/SP

#### PROCESSO PRODUTIVO:

- Porto Ferreira - Indústria Vidreira - Porto Ferreira/SP
- Engratech Tecnologia em Embalagens Plásticas Ltda. – Jaguariúna/SP

#### LAVAGEM DE GARRAFAS:

- Spal Indústria Brasileira de Bebidas S/A

#### DISPOSIÇÃO FINAL

- DLU - Prefeitura de Campinas - Campinas/SP

#### ASSOCIAÇÕES

- ABIVIDRO – Associação das Indústrias Brasileiras de Vidro
- ABIPET – Associação Brasileira das Indústrias de PET
- ABRE – Associação Brasileira de Embalagens
- CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

## Capítulo 4

### 4.1 Inventário e Coleta de Dados

#### 4.1.1 Ciclo de Vida de Garrafas de Vidro Retornáveis

O inventário do consumo de energia e emissão de gás carbônico foram delimitados, ficando fora dos cálculos a extração da matéria prima e a disposição final da embalagem. O sistema contempla a produção da garrafa, a lavagem e todo o consumo envolvido com a distribuição e retorno do produto após o consumo, como mostra a Figura 12. Como o processo de enchimento é similar para as duas embalagens, para efeito de comparação, também foi excluído.

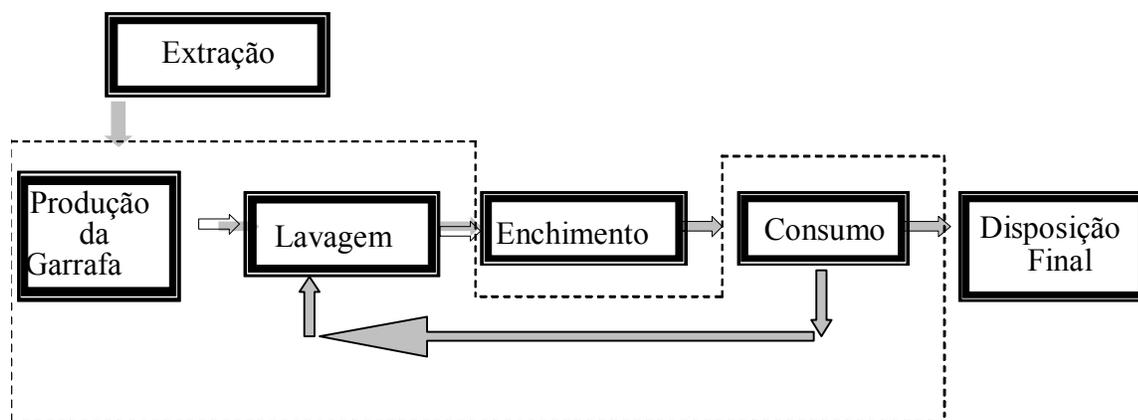


Figura 12 – Estágios Analisados no ciclo de vida do vidro

### 4.1.2 Produção da Garrafa

A planta analisada é de um processo típico na indústria vidreira de garrafas. Os materiais necessários à produção já se encontram prontos, são dosados, misturados e seguem para os fornos de fusão. Nesse caso, há uma porcentagem de cerca de 60% de cacos na mistura.

Tabela 20– Principais combustíveis utilizados na indústria vidreira analisada:

Combustível	Utilização
Óleo 3 "A" ( antigo ATE)	Aquecimento Fornos de Fusão Geração de Vapor
GLP	Ajuste de Temperaturas Canais de Resfriamento
Energia Elétrica	Instalações Automáticas Acionamento de Motores Ventiladores e Compressores Iluminação

O forno analisado é de alimentação contínua tipo porta traseira e usa como combustível o óleo 3 A. Nessa fase forma-se a “gota de vidro” que segue para conformação em máquinas de sopro com moldes em carrossel. A garrafa já moldada é descarregada numa esteira transportadora e segue para o recozimento, resfriamento, tratamento de superfície e finalmente é realizada inspeção de qualidade.

O cálculo do consumo de energia e de emissão de gás carbônico na produção de garrafas de vidro levou em consideração os dados coletados na indústria. Todos os estágios do processo foram inventariados por 10 meses consecutivos no ano de 2001, quando se iniciou o inventário. Foi computada a produção mensal de garrafas de vidro âmbar, com volume de 600 mililitros, e os respectivos dados de consumo energético, como mostramos nas Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23.

Tabela 21 – Consumo de energia elétrica na produção do vidro:

Mês	Produção de Garrafas ( em peças)	Consumo Total (kWh)	Consumo por Garrafa (kWh)
1	8.837.697	976.629	0,11050
2	7.587.789	990.133	0,13049
3	7.219.846	1.085.084	0,15029
4	11.139.547	1.259.232	0,11304
5	12.391.115	1.314.704	0,10610
6	13.237.021	1.519.560	0,11479
7	13.496.421	1.438.727	0,10660
8	13.326.122	1.396.574	0,1047
9	13.670.499	1.560.931	0,11418
10	13.229.515	1.388.955	0,1049
TOTAL	114.135.572	12.930.529	
Média			0,1132

Fonte: Vidroporto,2001

Assim temos um consumo médio de 0,11329 kWh por garrafa. Calculando o consumo para 1000 litros, são utilizadas 1667 garrafas, sendo o consumo total de 679,875 MJel. A emissão de gás carbônico total nessa fase é de 23,38 kg. de CO<sub>2</sub>

Quanto à emissão de dióxido de carbono relativa ao consumo de energia elétrica, os dados foram retirados de um inventário de ciclo de vida de geração de energia elétrica na matriz brasileira, realizado pelo CETEA, no Brasil (Coltro et al, 2003). De acordo com o inventário, cada Megajoule de energia consumida libera 0,0344 kg de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Destes, 0,0178 kg provém de combustíveis fósseis e 0,0166 são liberados nos reservatórios de usinas

hidroelétricas. O estudo considera apenas as emissões pontuais em alguns reservatórios estudados.

Como a emissão de gás carbônico e outros gases estufa por reservatórios hídricos não tem uma relação direta com o montante de energia gerada, como é o caso da geração termoelétrica por combustíveis fósseis, dados de emissão de gases estufa por hidroelétricas ainda são inconsistentes, pois não contemplam ainda uma série histórica representativa.

Tabela 22 - Consumo de GLP na Produção de garrafas de vidro:

Mês	Produção	Consumo GLP(m <sup>3</sup> ) Total	Consumo/Garrafa m <sup>3</sup> x 10 <sup>-3</sup>
1	8.837.697	85.983	9,729
2	7.587.789	65.797	8,671
3	7.219.846	60.045	8,316
4	11.139.547	66.350	5,956
5	12.391.115	109.246	8,816
6	13.237.021	127.684	9,647
7	13.496.421	107.136	7,938
8	13.326.122	109.034	8,181
9	13.670.499	115.025	8,414
10	13.229.515	111.676	8,441
TOTAL	114.135.572	957.976	
Média			8,393

Fonte: Vidroporto,2001

Quanto ao GLP teremos um consumo médio de  $8,393 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  por garrafa produzida. Para 1000 litros envasados se gasta 1.231,405 MJ<sub>prim</sub> para produzir 1667 garrafas, que emitem 88,67 kg de CO<sub>2</sub> de acordo com as características específicas do gás.

Tabela 23 - Cálculo do Consumo de Óleo 3A na fabricação de Garrafas de Vidro:

Mês	Produção	Consumo de óleo 3A Total( t )	Consumo/garrafa ( g )
1	8.837.697	609,73	68,99
2	7.587.789	672,54	88,63
3	7.219.846	642,92	89,04
4	11.139.547	768,94	69,02
5	12.391.115	679,80	54,86
6	13.237.021	749,48	56,62
7	13.496.421	770,71	57,10
8	13.326.122	774,88	58,14
9	13.670.499	773,21	56,56
10	13.229.515	756,95	57,21
Total	114.135.572	7199,17	
Média			63,07

Fonte: Vidroporto, 2001

Considerando o óleo combustível, temos um consumo médio de 63,075 g de óleo por garrafa, o que totaliza 4.242,26 MJ<sub>prim</sub> que emitem 335,21 kg de CO<sub>2</sub>, de acordo com as especificações do óleo BPF constante na Tabela 19.

Na Tabela 24 temos o cálculo total do consumo de energia e o tipo de energia utilizada pela indústria vidreira.

Tabela 24 - Total do Consumo Energético e Emissões na Produção de Garrafas de Vidro  
(1000 litros):

Combustível	Energia MJ	Emissão de CO <sub>2</sub> kg
Eletricidade	679,88	23,39
GLP	1.231,40	88,67
Óleo 3A	4.242,26	335,21
Total	6.153,54	447,27

### 4.1.3 Reutilização da Garrafa

As garrafas retornáveis de vidro são utilizadas para o envase de cervejas e de refrigerantes, principalmente no setor de bares e restaurantes. Elas deverão voltar à indústria para o processo de seleção e lavagem, seguindo para o enchimento e reutilização. A figura abaixo mostra um esquema simplificado do processo na indústria.

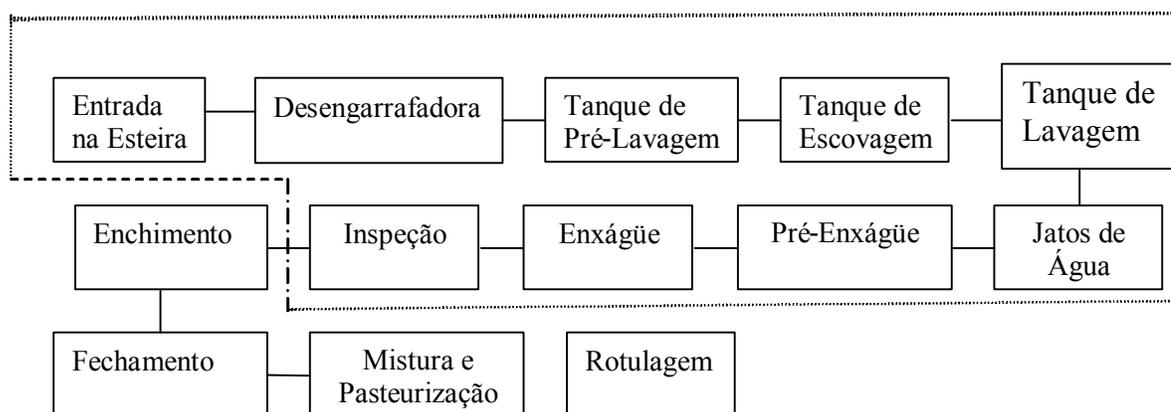


Figura 13 – Fluxograma do processo de lavagem e enchimento de garrafas

Após a manufatura na indústria vidreira, quando a garrafa “nova” chega à fábrica para seu primeiro enchimento, ela sofre o primeiro processo de lavagem igual ao processo da garrafa que está retornando à fábrica para reutilização.

Afim de que haja o verdadeiro “ciclo fechado de reciclagem”, as garrafas de vidro são fabricadas de modo a não perderem suas características e propriedades ao serem reutilizadas,

bastando para isso o retorno dessas embalagens para a fábrica e o processo de lavagem das mesmas para sua desinfecção.

As lavadoras de garrafas operam com um sistema completamente automatizado, desde a recepção das garrafas vazias até a rotulagem.

As caixas entram na desencaixotadeira, que retira as garrafas vazias e as colocam em esteiras para serem limpas e sanitizadas. Antes de entrar na esteira elas passam por um processo de inspeção, onde as garrafas que mostram defeitos são eliminadas. Esse número pode variar entre 5% a 6% das garrafas que retornam.

As garrafas são lavadas por processo de mergulho e esguichamento. São transportadas por esteiras e passam por diferentes tanques, que contém soluções alcalinas com temperaturas que variam entre 40<sup>0</sup>C e 70<sup>0</sup>C , onde são embebidas e escovadas. Após serem submetidas a uma seqüência de jatos de água, passam por enxaguamento interno e externo com água pura, na temperatura ambiente. Após todo o processo, são inspecionadas eletronicamente e, cerca de 1% das garrafas são reprovadas, retornando ao início. Após a inspeção, seguem para o enchimento, mistura e pasteurização, finalizando com a rotulagem.

Um aspecto importante no ciclo de vida das garrafas de vidro se refere ao número de vezes que a garrafa será reutilizada. A maior parte da energia consumida no ciclo de vida é na produção, contudo, não podemos esquecer que essa garrafa retornará para uso.

Pelos levantamentos realizados para este trabalho, não conseguimos esclarecer a metodologia utilizada para se chegar a uma estimativa do uso da garrafa. Os artigos europeus que tratam do assunto citam o uso de 20 a 40 vezes, sempre se baseando em informações cedidas pelas empresas. Usaremos aqui a informação na qual a garrafa possui um tempo médio de vida de 7 anos, sendo usada 4 vezes ao ano, totalizando o uso de 28 vezes (SINDCERV, 2002).

Os cálculos relativos ao consumo e emissão no processo de reutilização de garrafas de vidro levaram em consideração as especificações da lavadora “LAVANA 53G5 *Maltein-Kapert*

/Garrafas de 600ml”, cuja capacidade de lavagem é de 60.000 garrafas por hora, contando com perdas de 1% na inspeção final da lavadora.

Tabela 25 – Consumo de energia na lavadora:

Equipamento	Potência (kW)	Fator de Utilização	Potência Utilizada (kW)	Consumo MJ/h
Motor de Comando	14,72	0,7	10,30	37,09
Motor da Mesa de Carga	0,75	0,7	0,53	1,89
Motor Extrator de Fundo	0,55	0,7	0,39	1,39
Motor Extrator de Fundo	0,55	0,7	0,39	1,39
Motor Extrator de Fundo	14,72	0,7	10,30	37,09
Motor Extrator de Fundo	0,55	0,7	0,39	1,39
Motor Extrator de Fundo	0,55	0,7	0,39	1,39
Motor Extrator de Fundo	14,72	0,7	10,30	37,09
Motobomba da Pré Lavagem 1	7,36	0,7	5,15	18,55
Motobomba da Soda	14,74	0,7	10,32	37,14
Motobomba da Recirculação 1	3,68	0,7	2,58	9,27
Motobomba da Lavagem 2	3,68	0,7	2,58	9,27
Motobomba da Lavagem 3	7,36	0,7	5,15	18,55
Motobomba da Recirculação 2	3,68	0,7	2,58	9,27
Motobomba da Pré Lavagem 2	2,2	0,7	1,54	5,54
Motobomba da última Lavagem	2,2	0,7	1,54	5,54
Motobomba do Pré- Enxague	7,36	0,7	5,15	18,55
Motobomba do Enxague	7,36	0,7	5,15	18,55
Total	106,73	0,7	74,71	268,96

A energia elétrica consumida para a lavagem de 1667 garrafas, totalizando 1000 litros, é de 7,549 MJ<sub>el</sub>.

A energia consumida é relativa ao uso de energia elétrica utilizada em motores e bombas da lavadora, além da energia térmica gasta no aquecimento da água utilizada na lavagem. Na Tabela 25 podemos ver a potência dos motores utilizados no processo adotando-se o fator de utilização de 70%. Os dados de consumo constam no catálogo do fabricante San Martin, para as máquinas *Lavana 53G5 Maltein-Kapert*.

A planta estudada utiliza como combustível nas caldeiras de aquecimento o óleo BPF numa média de consumo de 2000 kg de vapor por hora. Com base nas características do óleo

BPF, conclui-se que são necessários 4,32 kg de BPF para a lavagem de 1000 litros de bebida, levando a um consumo de 178,67 MJ, totalizando assim, um consumo de energia térmica e elétrica de 186,219 MJ como consta na Tabela 26.

Tabela 26 - Consumo Energético para Lavagem de 1.000 litros de Garrafas de Vidro:

	Consumo	Porcentagem	Emissão de CO2
Energia Elétrica	7,549 MJel	4%	0,259 Kg
Energia Primária	178,67 MJ	96%	13,625 kg
Total	186,219		13,884 kg

#### 4.1.4 Ciclo de Vida do PET

Diferentemente do ciclo de vida de garrafas de vidro, nem todo o inventário das garrafas de PET pôde ser realizado na indústria. O consumo de energia e a emissão de gás carbônico na etapa de produção da resina foram retirados de um inventário de embalagens, cujas especificações são detalhadas a seguir. Do mesmo modo que em garrafas de vidro, estão fora do limite do estudo as fases de extração e disposição final da embalagem após o consumo, assim como o enchimento.

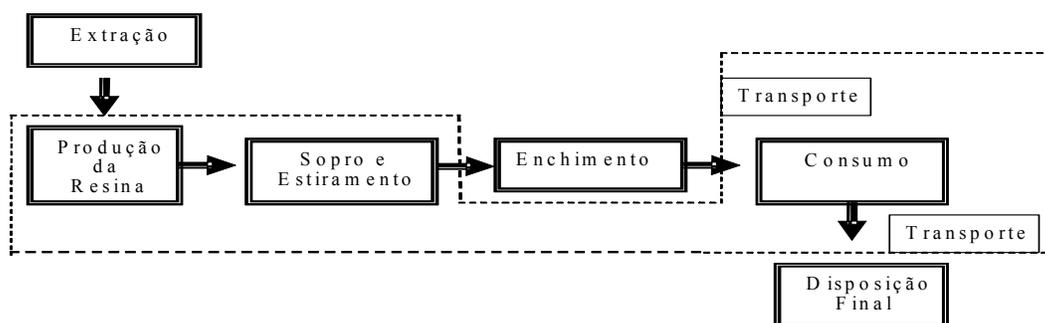


Figura 14 - Estágios Analisados no ciclo de garrafas de PET

### 4.1.5 Produção da Resina

Os dados relativos ao processo produtivo da resina do PET não foram coletados totalmente das indústrias, principalmente devido à realização de diferentes processos em diferentes unidades de industrialização. Também não obtivemos resposta das empresas consultadas no setor, não interessadas em divulgar os dados dos processos.

Os dados utilizados foram retirados do “*Life Cycle Inventories for Packagings*” publicado pela *Swiss Agency for the Environmental, Forests and Landscape* ( SAEFL) que serve como um banco de dados relativo ao inventário de análise de ciclo de vida das embalagens mais utilizadas no mercado mundial. Nele podemos avaliar e quantificar a metodologia detalhada de coleta de dados realizada com a cooperação das indústrias européias. Esses inventários foram calculados utilizando-se o Eco Pro Software desenvolvido para análise de ciclo de vida. Os dados usados no programa foram retirados de indústrias situadas na Europa no período de 1993 a 1995.

A produção da resina nesse estudo utiliza a via ácido tereftálico para a produção da resina de PET cristalina.

Tabela 27 - Consumo de Energia para produção da resina para 1.000 litros de bebida:

Recurso	Total Utilizado
Energia Elétrica	297 MJel
Energia Térmica	927 MJprim
Total	1224,67 MJ

Fonte: SAEFL, 1998.

### 4.1.6 Injeção e Sopro

No caso da moldagem da garrafa o processo utilizado é de sopro e estiramento em uma máquina de “um estágio”. Os dados foram coletados diretamente da indústria visitada, que

forneceu as características dos equipamentos, as operações envolvidas e a capacidade de produção.

Num primeiro momento, os cálculos de consumo de energia na indústria de injeção e sopro foram realizados levando em consideração o fator de utilização, de acordo com a potência nominal dos motores. Porém, acompanhando o funcionamento da fábrica vimos que o fator utilizado realmente, de acordo com os técnicos envolvidos no processo produtivo, é de 75%. A única exceção existe em relação aos compressores que utilizam fator de potência de 90%.

Um esquema dos equipamentos utilizados para injeção e sopro do PET pode ser observado na Figura 15, e os dados de potência na Tabela 28.

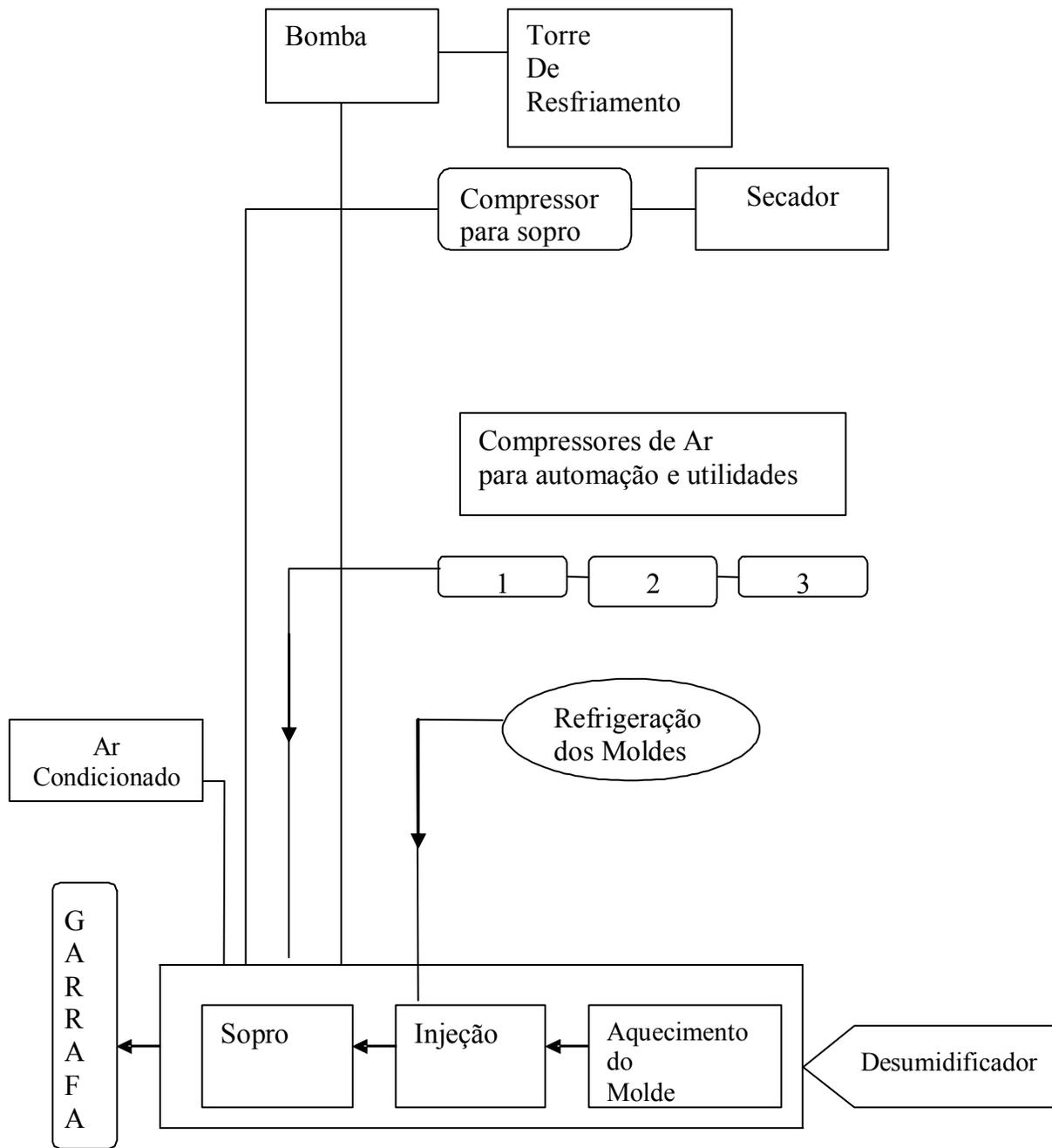


Figura 15 – Planta do Processo de Injeção e Sopro do PET

Tabela 28- Consumo energético no processo de injeção e sopro de garrafas de PET:

<b>Equipamento</b>	<b>Potência Nominal kW</b>	<b>Fator de Utilização</b>	<b>Potência Real kW</b>	<b>Total de Equipamentos</b>	<b>Potência Total kW</b>
Desumidificador	18	0,75	13,5	7	94,5
Aquecimento	90	0,75	67,50	7	472,5
Compressores de Ar para utilidades	106,7	0,9	96,03	3	288,1
Bombas	22	0,75	16,50	3	49,5
Ventilador	11	0,75	8,25	1	8,3
Compressor de ar para sopro	46,3	0,75	34,73	1	34,7
Secador	1,58	0,75	1,19	1	1,2
Ar Condicionado	1,65	0,75	1,23	2	2,47
Refrigeração	37	0,75	27,75	7	194,25
Total					1145,5

O total do consumo é relativo à utilização de 7 máquinas de sopro e injeção que produzem, cada uma, 2800 garrafas por hora, com perda de 0,8% na produção. Convertendo para nossa unidade funcional de 1000 litros, teremos um consumo de 353,63 MJel / 1000 l.

#### **4.1.7 Transporte**

Nas empresas de transporte coletamos os dados relativos à capacidade dos caminhões quanto ao transporte dos diferentes tipos de embalagens analisados, aos tipos de caminhões utilizados, ao consumo de combustível nas estradas da região e à média de distância percorrida na distribuição do produto no mercado consumidor da região sudeste. O consumo de óleo diesel e a capacidade de carga dos caminhões podem ser vistos nas Tabela 29 e Tabela 30.

Tabela 29– Consumo de combustível na distribuição:

<i>Caminhão Truck</i>	
<b>Carga</b>	<b>Consumo</b>
	<b>km/l</b>
Vazio	2,8
10 toneladas	2,5
20 toneladas	2,2
22 toneladas	2,1
25 toneladas	1,9
<i>Carreta</i>	
<b>Carga</b>	<b>Consumo</b>
	<b>Km/l</b>
Vazio	4
7 toneladas	3,8
12 toneladas	3,6
14 toneladas	3,5

Fonte: Forquímica/Transportadora Americana

Tabela 30 – Capacidade do Caminhão:

Embalagem	Peso da garrafa	Caminhão Truck	Carreta
Garrafa de Vidro 600 ml	486 g	12.096 unidades	20.736 unidades
Garrafa de PET 600 ml	35 g	19.008 unidades	31.680 unidades

Fonte: DBJ, Distribuidora de Bebidas.

No caso da distribuição, os cálculos levaram em conta a distância média percorrida pelo caminhão da indústria ao comércio, na região sudeste, e, por meio de investigação da localização das indústrias na região estabelecemos uma distância média percorrida de 400 km, sendo 200 km

para a ida e 200 km para o retorno. Além dessa distância utilizada como padrão, foi feita a simulação do consumo de combustível para distâncias que variam de 200 km até 1000 km para a distribuição do produto.

O consumo de combustível foi analisado em 2 tipos diferentes de caminhão, já que para pequenas distâncias e distribuição dentro das cidades são utilizados caminhões tipo truck, e, para distâncias maiores, em estradas, do tipo carreta.

Tabela 31 – Relação do consumo e emissão no transporte de 1.000 litros por km rodado:

	<b>Consumo Diesel (l)</b>	<b>Energia (MJ<sub>prim</sub>)</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub>(kg)</b>
Vidro truck	0,0393	1,402	0,103
Vidro carreta	0,042	1,507	0,110
PET truck	0,024	0,867	0,063
PET carreta	0,024	0,890	0,065
Retorno			
Vidro truck	0,036	1,291	0,094
Vidro carreta	0,038	1,363	0,100
PET truck	0,021	0,781	0,057
PET carreta	0,018	0,669	0,0492

O combustível utilizado para o transporte de carga no Brasil é o óleo diesel, cujas especificações foram citadas anteriormente na Tabela 19.

Também quanto ao consumo de combustível identificamos que devido à relação peso/volume das embalagens, o consumo de combustível na distribuição pode variar, já que algumas embalagens ocupam menos espaço que outras. Também varia o consumo com o retorno à indústria, com apenas o vasilhame vazio e sem o vasilhame, o que leva em consideração a reutilização de garrafas, já que somente as garrafas reutilizáveis devem retornar à indústria para

serem lavadas e enchidas novamente para o reuso. Para isto, foram utilizados diferentes consumos de acordo com o peso da carga, sendo que, para garrafas não retornáveis foi considerado o consumo de retorno do caminhão vazio.

O cálculo do consumo de energia e emissão de gás carbônico para o transporte de 1000 litros de bebida levou em consideração a capacidade, o peso e o consumo dos caminhões para os diferentes tipos de vasilhames. Os valores obtidos podem ser vistos na Tabela 32.

Tabela 32 - Consumo e emissão em relação à distância percorrida para o transporte de 1.000 litros de bebida:

<b>Garrafa de Vidro</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Consumo (l)</b>	<b>Energia (MJ)</b>	<b>Emissão CO2 (kg)</b>
Truck	50	1,96	70,12	5,15
Carreta ida	150	6,34	226,06	16,60
Truck volta	50	1,81	64,58	4,74
Carreta volta	150	5,43	193,76	14,23
Total	400	15,56	554,54	40,73
Consumo médio de diesel em garrafas de vidro/ km		0,0389		
<b>Garrafa de PET</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Consumo (l)</b>	<b>Energia (MJ)</b>	<b>Emissão CO2 (kg)</b>
Truck	50	1,21	52,28	3,18
Carreta ida	150	3,74	160,89	9,80
Truck volta	50	1,09	47,04	2,86
Carreta volta	150	2,81	120,97	7,37
Total	400	8,88	381,19	23,24
Consumo médio de diesel em garrafas de PET/ km		0,022		

O peso inferior das embalagens de PET em relação às de vidro aliado ao menor consumo no retorno à fábrica demonstram uma superioridade das garrafas de PET em relação ao consumo de energia e emissão de gás carbônico quando analisada individualmente a questão do transporte.

A distância utilizada neste estudo se baseia em distribuidoras e indústrias na região sudeste, considerando 150 km de distância entre as distribuidoras e 50 km de distância na

entregas ao comércio varejista. O consumo de combustível do consumidor entre comércio e sua casa não foi considerado. Na Tabela 29, podemos ver o consumo e suas respectivas distâncias.

#### **4.1.8 Disposição Final**

Para o estudo da coleta para disposição final das embalagens, o Departamento de Limpeza Urbana - DLU da Prefeitura do município de Campinas nos cedeu os dados relativos à capacidade dos caminhões de lixo, a distância média percorrida pelos caminhões de coleta, assim como o consumo médio de combustível desses caminhões.

O município de Campinas está localizado na região sudeste, no estado de São Paulo, à cerca de 110 km da capital e conta com uma população de aproximadamente 1 milhão de habitantes, segundo os dados do censo relativo ao ano 2000, do IBGE.

Os cálculos levaram em consideração o período de coleta de todos os bairros, no município, no período de janeiro a junho de 2003. As médias obtidas levaram em consideração a distância percorrida pelos caminhões durante a coleta domiciliar no setor de coleta e a distância de ida e volta ao aterro onde ocorre a disposição final. Foi considerado também o peso do lixo transportado e o consumo de combustível dos caminhões usados para a coleta.

O período de coleta de dados leva em conta as características que podem influenciar os dados, como o clima na região, que varia de úmido a seco, além das características comportamentais da população onde temos período de férias escolares e período de cotidiano habitual.

As garrafas descartáveis, sendo usadas apenas uma vez, deverão ter o gasto com a disposição final computados a cada uso. Já as garrafas retornáveis seguirão para a coleta e disposição final após serem utilizadas em média por 28 vezes.

Tabela 33 - Cálculo do Consumo e Emissão na Coleta para a Disposição Final:

Peso da Carga	7861	kg
Consumo de Diesel	0,550	l/km
Consumo de Diesel (71,023km)	39,062	l
Consumo de Diesel	32,421	Kg
Gasto de Energia	1.391,65	MJ
Emissão de CO <sub>2</sub>	102,23	Kg
Consumo de Energia/kg lixo	0,177	MJ prim
Emissão de CO <sub>2</sub> /kg lixo	0,013	kg

Utilizando a mesma proporção de 1000 litros de bebida, temos a coleta e disposição de 1.667 garrafas, onde o vidro responderá por 793 kg e somente será coletado e disposto uma vez após 28 vezes de uso, já as garrafas de PET responderão por 58,4 kg, porém serão descartadas a cada uso. Os resultados estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 – Consumo e Emissão na coleta para a disposição final de 1.000 l de bebida:

<b>Coleta</b>	<b>Peso no lixo kg</b>	<b>Energia Total MJprim</b>	<b>Energia no Ciclo MJprim</b>
1667 garrafas PET	58,40	10,34	10,34
1667 garrafas Vidro	793,00	140,39	5,01

<b>Coleta</b>	<b>Peso no lixo kg</b>	<b>Emissão CO<sub>2</sub> kg</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> no Ciclo (Kg)</b>
1667 garrafas PET	58,4	0,76	0,76
1667 garrafas Vidro	793	10,31	0,37

Apesar das garrafas de PET possuírem cerca de 9% do peso da garrafa de vidro com o mesmo volume, na distribuição do produto ocorre a emissão de quase o dobro da quantidade de dióxido de carbono, na coleta para a disposição final do lixo domiciliar. Isso se deve ao fato de seguir para a disposição a cada uso, o que não deve ocorrer com a garrafa retornável que somente seguirá para o aterro ou disposição, após serem utilizadas, em média, por 28 vezes.

## **Capítulo 5**

### **5.1 Análise dos Resultados**

O consumo energético e emissão de dióxido de carbono em cada fase do ciclo de vida das garrafas foram calculados separadamente e detalhadamente, para a mesma unidade funcional, ou seja, 1.000 litros. O volume do líquido envasado é o mesmo para as duas garrafas, 600 ml, para que se possa comparar cada etapa do ciclo de vida das embalagens.

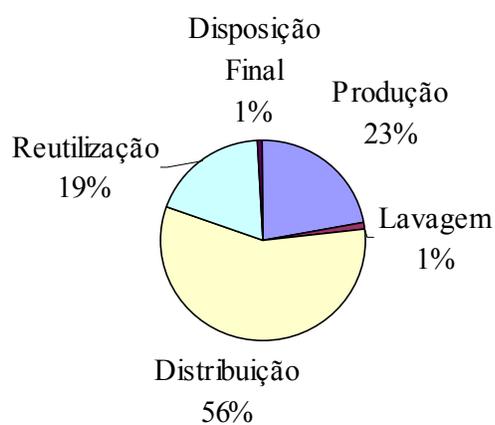
#### **5.1.1 Inventário do Ciclo de Vida da Garrafa de Vidro**

Nesta fase, os cálculos obtidos mostram não só o consumo e a emissão, mas nos permite avaliar a participação de cada etapa do ciclo de vida, para apontar melhorias possíveis nos processos analisados.

A Tabela 35 mostra o consumo de energia em cada etapa do ciclo de vida das garrafas de vidro, onde podemos notar que apesar de consumir uma grande quantidade de energia na fabricação, cerca de 6.132 MJ são gastos para produção de garrafas para 1000 litros de bebida, esse consumo irá se diluir com a reutilização da garrafa por 28 vezes, totalizando 219 MJ.

Tabela 35 - Inventário do consumo de energia no ciclo de vida das garrafas de vidro, para 1.000 litros de bebida, com 28 reutilizações:

Etapa	En. Elétrica MJel	En. Térmica MJprim	Total MJ	Quantidade de Etapas	28.000 litros	1.000 litros	Participação
Produção	680	5.452	6.132	1	6132	219	23%
Lavagem Inicial	7,55	178,67	186,22	1	187,22	6,69	1%
Distribuição		554,55	554,55	28	15.527,3	554,55	56%
Reutilização	7,55	178,67	186,22	28	5.214,13	186,22	19%
Coleta para Disposição Final		5,01	5,01	1	140,28	5,01	1%
Total					27.200,9	971,46	



**Figura 16 - Composição do consumo de energia no ciclo de vida de garrafas de vidro**

Analisando o ciclo de vida das garrafas de vidro nota-se a questão da influência do peso das garrafas quanto ao consumo de energia na distribuição do produto, sendo essa a fase mais dispendiosa do ciclo. A emissão de gás carbônico pode ser vista na Tabela 36. Deste modo,

considerando o ciclo de vida do produto, a busca de soluções que permitam a utilização de produtos mais leves deve ser prioridade para se alcançar melhorias ambientais.

Tabela 36 - Cálculo da Emissão de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida do Vidro :

<b>Etapa</b>	<b>Quantidade de Etapas</b>	<b>Emissão CO2 (kg)</b>	<b>Emissão CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Emissão CO<sub>2</sub> (kg)</b>
			28.000 1	1.000 1
Produção	1	447,3	447,3	15,98
Lavagem Inicial	1	13,88	13,88	0,50
Distribuição	28	40,73	1.140,44	40,73
Reutilização	28	13,88	388,75	13,88
Coleta para Disposição Final	1	0,37	10,30	0,37
Total				71,45

Considerando também a emissão de gás carbônico para a distribuição de garrafas de vidro, além da influência do peso da garrafa, o modo de transporte rodoviário e o combustível utilizado, são fatores importantes quando se leva em consideração à discussão atual sobre a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa.

### **5.1.2 Inventário do Ciclo de Vida do PET**

Analisando cada etapa do processo, vemos que etapa do ciclo de vida das garrafas de PET, que mais consome energia, como podemos ver na Tabela 37 e na Figura 17 é a etapa de produção da resina. Somando-se a essa fase a moldagem da garrafa, temos 82% do consumo de energia na industrialização da embalagem, sendo essa a fase que deve ser prioridade para se alcançar economia energética. O mesmo se refere a emissão de gás carbônico, como mostrado na Tabela 38.

Tabela 37- Cálculo do Consumo de Energia na Produção do PET:

Etapa	Quantidade	En. Primária Mjprim	En. Elétrica MJel	Total MJ
Produção da Resina	1	927,67	297	1224,67
Moldagem	1		353,63	353,63
Distribuição	1	316,39		316,39
Disposição Final	1	10,34		10,34
Total		1254,40	650,63	1905,03

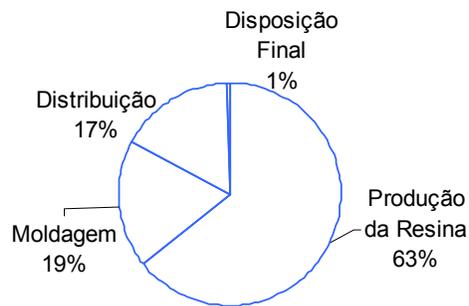


Figura 17- Consumo de Energia no ciclo de vida do PET

Tabela 38 - Emissão de Dióxido de Carbono na Produção de Garrafas de PET:

Etapa	Quantidade	Emissão CO2	Participação
		Kg	
Produção da Resina	1	112,57	44%
Moldagem	1	12,16	47%
Distribuição	1	23,24	9%
Coleta para Disposição Final	28	0,76	
Total		148,74	

### 5.1.3 Comparação PET x Vidro

O objetivo neste estudo é a comparação do consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub> nos ciclos de vida das garrafas de PET e de vidro. Na tabela abaixo relacionamos o consumo de energia das duas embalagens em diferentes distâncias percorridas. Nesse item, isoladamente, graças ao baixo peso das embalagens de PET e ao retorno da garrafa de vidro, o sistema de distribuição das garrafas de PET tem menor consumo de combustível, como mostrado na Figura 18, conseqüentemente, menos dióxido de carbono será emitido na etapa de distribuição de garrafas de PET.

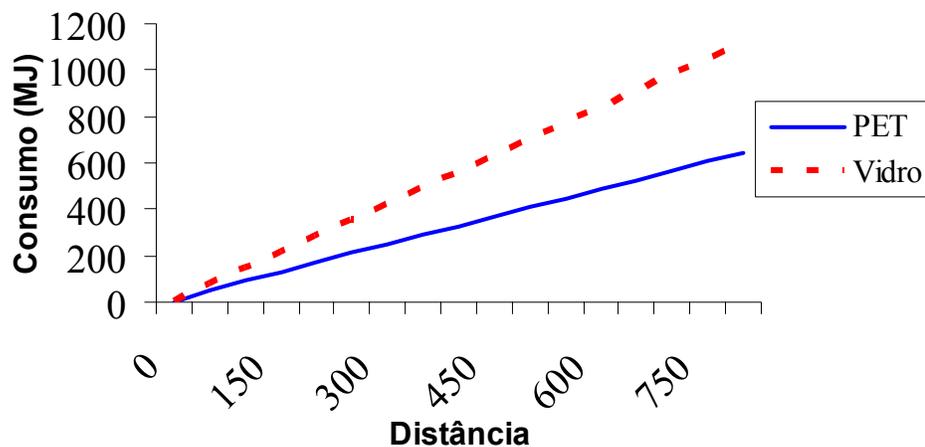
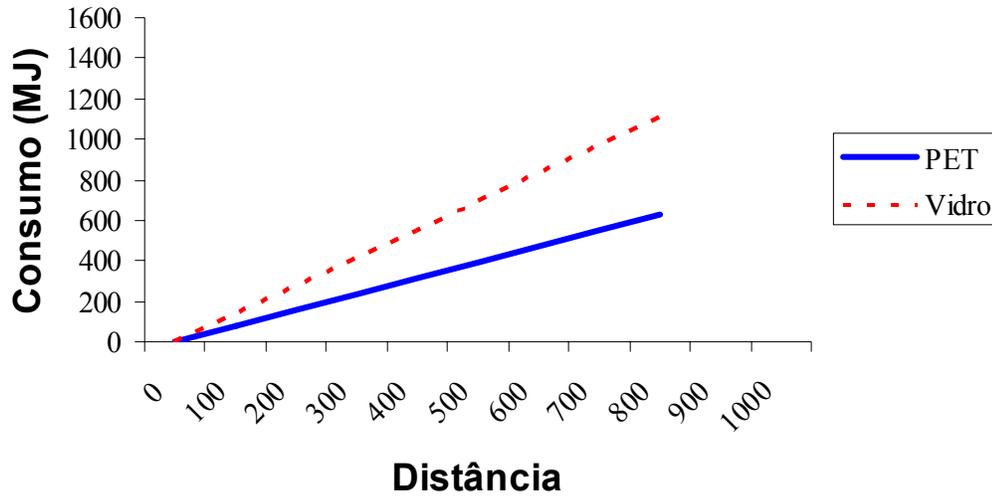


Figura 18 - Comparação do consumo de energia no transporte para distribuição do PET e vidro, para 1.000 litros de bebida

Tabela 39- Comparação do consumo PET x Vidro em relação à distância na etapa de distribuição:

	<b>VIDRO</b>	<b>PET</b>
Distância (km)	Consumo (MJprim)	Consumo (MJprim)
0	0	0
50	69,32	39,54
100	138,64	79,09
150	207,95	118,64
200	277,27	158,19
250	346,59	197,74
300	415,91	237,29
350	485,23	276,84
400	554,55	316,39
450	623,86	355,94
500	693,18	395,49
550	762,50	435,04
600	831,82	474,59
650	901,14	514,14
700	970,45	553,69
750	1.039,77	593,24
800	1.109,09	632,78
1000	1.386,36	790,98
2000	2.772,73	1581,97

Mesmo ao se somar o consumo de combustível com a distribuição e o consumo com a coleta para a disposição final das garrafas, na distribuição de garrafas de PET temos menor emissão de dióxido de carbono e menor consumo de combustível que na distribuição e coleta de garrafas de vidro, conforme o gráfico da Figura 19.



**Figura 19 - Comparação do consumo de energia no transporte para distribuição e coleta para disposição final do PET e vidro para 1.000 litros de bebida**

Na , Tabela 40, temos o inventário total da comparação das diversas fases do ciclo de vida das duas embalagens analisadas. Nela, podemos comparar o consumo em cada fase distintamente, e, totalizando o consumo concluímos que há o consumo de cerca do dobro de energia no ciclo de vida do PET. A única fase onde há menor consumo de energia no ciclo do PET, em relação ao ciclo de garrafas de vidro é na distribuição do produto.

Tabela 40- Comparação do consumo de energia nas embalagens de 600 ml para 1000 litros de bebida:

Etapa	Vidro			PET		
	MJprim	MJel	Total	MJprim	MJel	Total
Produção	24,28	194,71	219,00	927,67	297,00	1224,67
Moldagem						353,63
Lavagem Inicial	6,38	0,27	6,69			
Distribuição*	554,55		554,55	381,20		316,39
Lavagem da Garrafa(28)	7,55	178,67	186,22			
Coleta para Disposição Final	5,01		5,01	10,34		10,34
Total			971,46			1905,03

\* Distância total de 400 km.

Nos cálculos anteriores, em relação ao consumo de energia para a produção das garrafas de vidro, vimos que apesar do maior consumo energético para a produção do vidro em relação à produção do PET, a garrafa de vidro será utilizada em média 28 vezes. Com isso o consumo de energia do produto, que era cerca de cinco vezes maior que o consumo para a garrafa de PET, tem um declínio a cada reutilização.

Mesmo que a garrafa de vidro tenha que voltar a fábrica, os gastos adicionais com o transporte de retorno e o processo de lavagem das garrafas ainda se mostram compensadores em relação às garrafas de PET que têm seu consumo computado apenas para uma única utilização. No ciclo de vida completo que inclui a produção, o transporte, a reutilização e a disposição final a garrafa de vidro é energeticamente mais econômica.

É importante salientar que apesar de haver menor consumo de energia no ciclo das garrafas de vidro que no ciclo das garrafas de PET, há de se considerar o tipo de combustível utilizado. As garrafas de vidro utilizam em seu ciclo 97% da energia em forma de energia primária derivada de combustíveis fósseis, já as garrafas de PET utilizam 60% do valor total em energia primária, como mostrado na Tabela 41.

Tabela 41 - Distribuição da Energia Utilizada:

<b>Tipo</b>	<b>PET</b>	<b>Vidro</b>
Energia Primária	66%	97%
Energia Elétrica	34%	3%

Tabela 42 - Comparação da Emissão de CO<sub>2</sub> em embalagens de PET e de Vidro, para 1.000 litros de bebida:

<b>Etapa</b>	<b>Vidro</b>	<b>PET</b>
Emissão	CO <sub>2</sub> (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
Produção	15,98	124,73
Lavagem	0,50	
Reutilização	13,88	
Distribuição	40,73	23,24
Disposição Final	0,37	0,76
<b>Total</b>	<b>71,45</b>	<b>148,73</b>

Assim como ocorre no consumo de energia, a emissão de dióxido de carbono segue a tendência do consumo de energia. As garrafas de PET emitem quase o dobro de gás carbônico que a similar em vidro, como observamos na

Tabela 42

Enquanto a maior parte da emissão de dióxido de carbono no ciclo de vida das garrafas de vidro ocorre para a distribuição do produto, no ciclo de vida das garrafas de PET é no processo de produção da resina que as emissões serão maiores, como podemos observar nas Figura 20 e Figura 21.

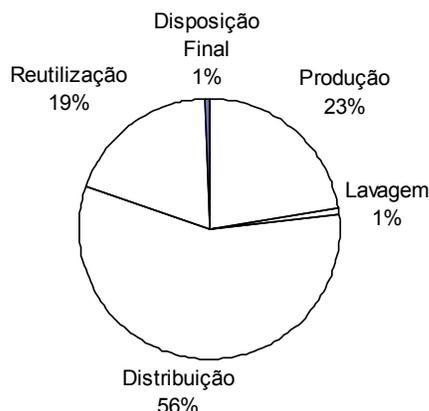


Figura 20 - Participação das diversas etapas na emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida das garrafas de vidro



Figura 21 - Participação das diversas etapas na emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida das garrafas de PET

Já que o consumo de energia para a produção do vidro é muito alto, um aspecto de extrema importância no ciclo de vida desse produto é a reutilização da garrafa. No ciclo de vida das garrafas de vidro haverá um consumo energético maior que o PET se a garrafa de vidro for

reutilizada por apenas 6 vezes. Alcançando a expectativa média de vinte e oito vezes de uso, o consumo cairá para quase metade do consumo do ciclo do PET.

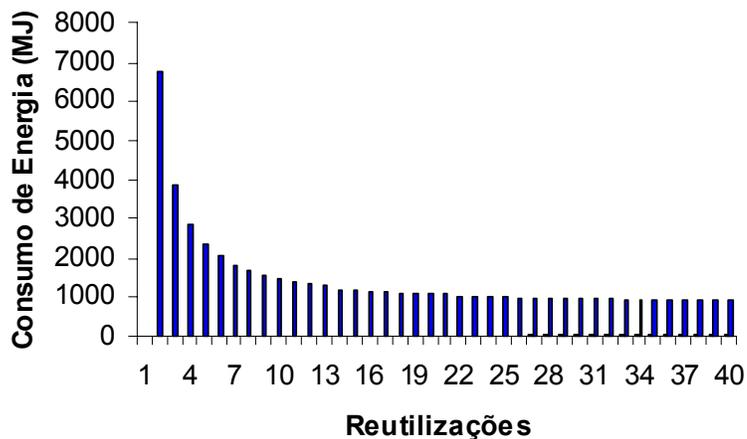


Figura 22 - Relação do consumo de energia das garrafas de vidro e a reutilização

De acordo com os cálculos obtidos, a partir de vinte reutilizações o consumo de energia no ciclo total se mostra praticamente constante.

Tabela 43– Consumo de energia do vidro em relação ao número de reutilizações da garrafa (1.000 litros de bebida):

Vezes	Produção+Lav.		Lavagem		Disposição	Transporte		Total Prim.	Total El.	Total
	MJel	MJprim	MJel	MJprim	MJprim	MJprim	MJprim	MJprim	MJel	MJ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	687,43	5.631	0	0	140,39	296,19	6.067,25	687,43	6.754,68	6.754,68
2	343,71	2726	7,55	179	70,19	554,55	3.529,41	351,26	3.880,67	3.880,67
3	229,14	1817,33	7,55	179	46,79	554,55	2.597,34	236,69	2.834,03	2.834,03
4	171,86	1407,67	7,55	179	35,09	554,55	2.175,98	179,41	2.355,39	2.355,39
5	137,49	1126,13	7,55	179	28,07	554,55	1.887,43	145,03	2.032,46	2.032,46
6	114,57	938,45	7,55	179	23,39	554,55	1.695,06	122,12	1.817,18	1.817,18
7	98,20	804,38	7,55	179	20,05	554,55	1.557,65	105,75	1.663,41	1.663,41
8	85,93	703,83	7,55	179	17,54	554,55	1.454,60	93,48	1.548,08	1.548,08
9	76,38	625,63	7,55	179	15,59	554,55	1.374,44	83,93	1.458,37	1.458,37
10	68,74	563,07	7,55	179	14,03	554,55	1.310,32	76,29	1.386,61	1.386,61
11	62,49	511,88	7,55	179	12,76	554,55	1.257,86	70,04	1.327,90	1.327,90
12	57,29	469,22	7,55	179	11,69	554,55	1.214,14	64,83	1.278,97	1.278,97
14	49,10	402,19	7,55	179	10,02	554,55	1.145,43	56,65	1.202,08	1.202,08
15	45,83	375,38	7,55	179	9,35	554,55	1.117,95	53,38	1.171,33	1.171,33
16	42,96	351,92	7,55	179	8,77	554,55	1.093,91	50,51	1.144,42	1.144,42
17	40,44	331,22	7,55	179	8,25	554,55	1.072,69	47,99	1.120,68	1.120,68
18	38,19	312,82	7,55	179	7,79	554,55	1.053,83	45,74	1.099,57	1.099,57
19	36,18	296,35	7,55	179	7,38	554,55	1.036,96	43,73	1.080,68	1.080,68
20	34,37	281,53	7,55	179	7,02	554,55	1.021,77	41,92	1.063,69	1.063,69
21	32,73	268,13	7,55	179	6,68	554,55	1.008,03	40,28	1.048,31	1.048,31
22	31,25	255,94	7,55	179	6,38	554,55	995,54	38,80	1.034,33	1.034,33
23	29,89	244,81	7,55	179	6,10	554,55	984,13	37,44	1.021,57	1.021,57
24	28,64	234,61	7,55	179	5,85	554,55	973,68	36,19	1009,87	1009,87
25	27,50	225,23	7,55	179	5,61	554,55	964,06	35,05	999,10	999,10
26	26,44	216,56	7,55	179	5,39	554,55	955,18	33,99	989,17	989,17
27	25,46	208,54	7,55	179	5,19	554,55	946,96	33,01	979,97	979,97
<b>28</b>	<b>24,55</b>	<b>201,10</b>	<b>7,55</b>	<b>179</b>	<b>5,01</b>	<b>554,55</b>	<b>939,32</b>	<b>32,10</b>	<b>971,42</b>	<b>971,42</b>
29	23,70	194,16	7,55	179	4,84	554,55	932,22	31,25	963,47	963,47
30	22,91	187,69	7,55	179	4,68	554,55	925,58	30,46	956,05	956,05
31	22,18	181,63	7,55	179	4,53	554,55	919,38	29,72	949,10	949,10
32	19,64	175,96	7,55	179	4,38	554,55	913,56	27,19	940,75	940,75
33	19,10	170,63	7,55	179	4,25	554,55	908,10	26,64	934,74	934,74

Podemos concluir que, mesmo não alcançando a média de vida por problemas de quebra no transporte, na estocagem, no armazenamento ou na inspeção, se a garrafa de vidro for usada por pelo menos cinco vezes, já será superior ao PET, na distância de 400 km, pois estará consumindo menos energia em seu ciclo total, como podemos comparar no gráfico da Figura 23.

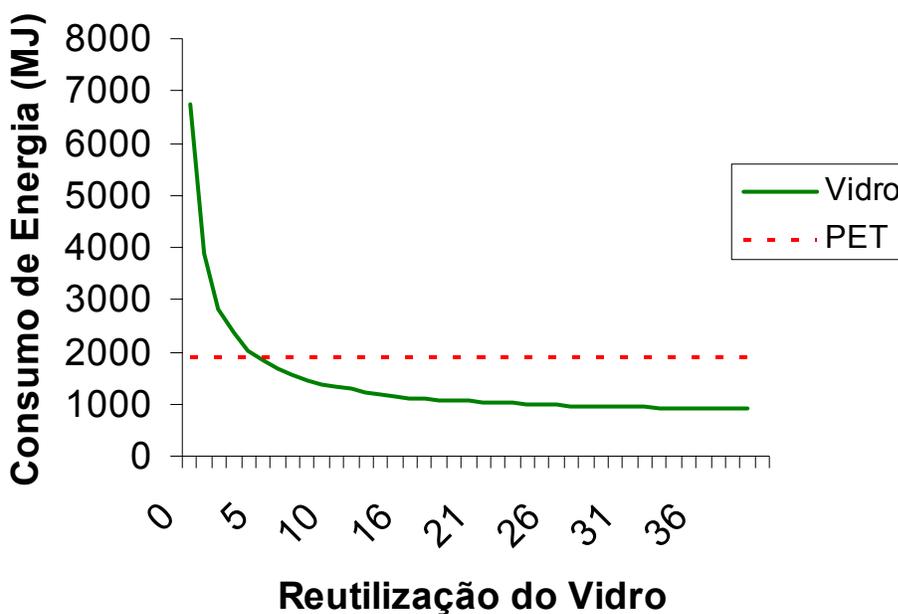


Figura 23 – Comparação do Consumo de Energia no Ciclo de Vida das Garrafas de PET e de Vidro em relação à reutilização (400 km), para 1.000 litros de bebida:

Outro dado relevante, principalmente em países como o Brasil, com grande extensão territorial é em relação à distância percorrida pelo produto para sua distribuição.

Nos cálculos anteriores foi utilizada a média de distância de 400 km, estimada para a região estudada. Porém em outras circunstâncias essa distância poderá ser maior, o que acarretará maior consumo de energia na distribuição do produto. A comparação entre o consumo de energia e o número de vezes que a garrafa de vidro é reutilizada em relação à distância percorrida pode ser vista na Figura 24.

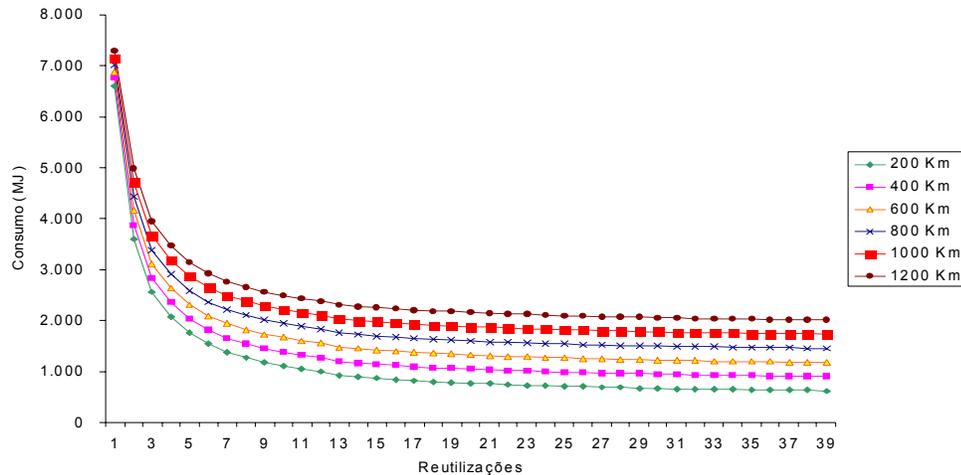


Figura 24 - Variação do consumo de energia em garrafas de vidro com a distância percorrida e as reutilizações da garrafa de vidro

Como podemos ver, o consumo de energia no ciclo de vida das garrafas de vidro será diretamente proporcional ao aumento da distância percorrida para a distribuição. Comparando com a garrafa de PET, a diferença de consumo de energia nos ciclos de vida das duas garrafas vai diminuindo à medida que a distância aumenta. Com 400 km de distância (ida e volta) o sistema de utilização de garrafas de vidro consome a metade da energia que o sistema das garrafas de PET, já com 800 km essa vantagem cai para 31% , com 1200 km será de apenas 18% e com 2000 km a garrafa de vidro não apresentará vantagem, conforme Figura 25, Figura 26 e Figura 27.

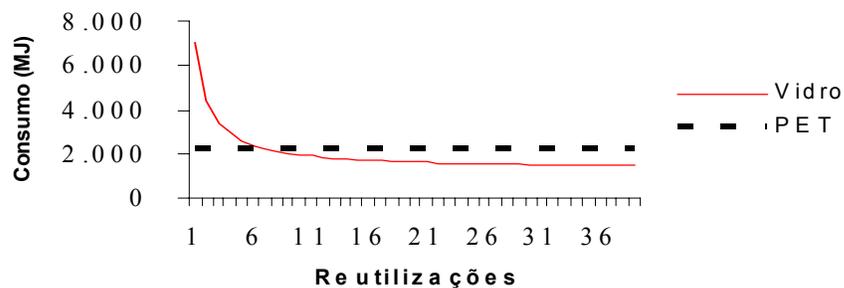


Figura 25 - Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 800 km.(ida e volta).

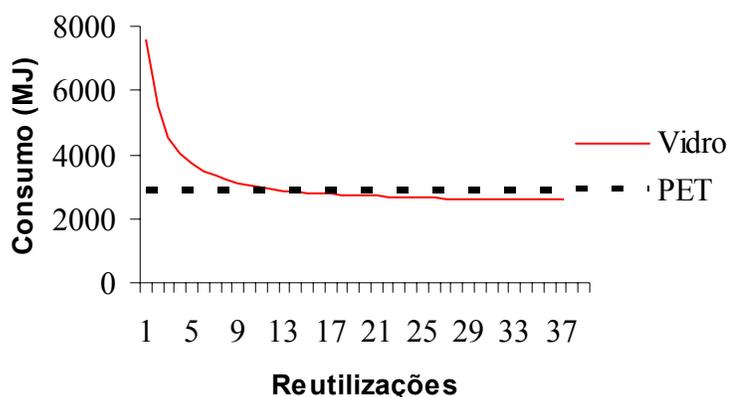


Figura 26- Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 1600 km (ida e volta).

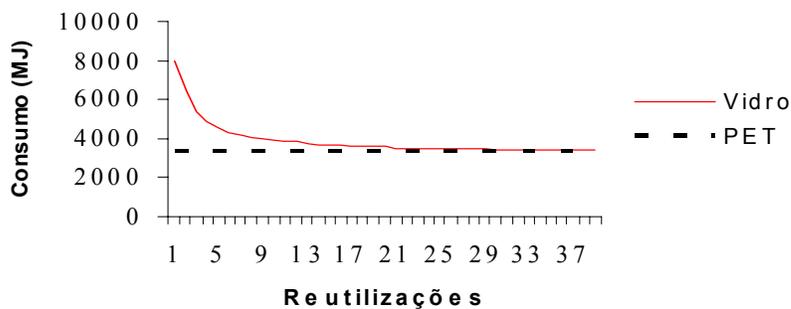


Figura 27- Variação do consumo de energia, reutilizações da garrafa para distância de 2200 km (ida e volta):

Comparando as garrafas de vidro e PET em relação à distância percorrida na distribuição, as vantagens do vidro diminuem em relação ao aumento da distância. Enquanto nas distâncias de 200 km, sempre considerando a ida e a volta, as garrafas de vidro são superiores com somente 5 vezes de uso, com 1600 km esse número passa para 15 e com 2000 km para 32 reutilizações. No entanto, se à distância entre o consumidor e o fabricante ultrapassar os 2000 km o consumo de

energia no ciclo de vida das garrafas de PET será menor que no ciclo de vida das garrafas de vidro.

Se a média de utilizações das garrafas de vidro se mantiver constante e variar a distância pela qual essa garrafa será distribuída podemos notar o decréscimo acentuado da diferença entre os ciclos dos dois tipos de garrafa, conforme observado no gráfico da Figura 28. Em longas distâncias mesmo ao se reutilizar a garrafa de vidro, o valor do consumo de energia com a distribuição eleva-se o suficiente para tornar o ciclo das garrafas de vidro menos vantajoso que o ciclo de vida das garrafas de PET.

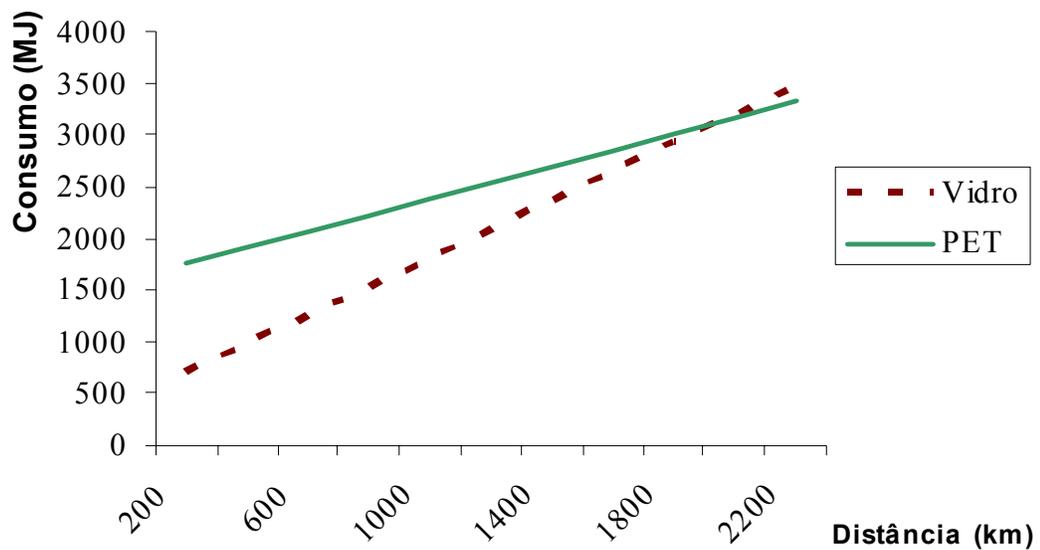


Figura 28 - Variação do consumo de energia e distância percorrida ao se utilizar a garrafa de vidro por 28 vezes (ida e volta)

## Capítulo 6

### 6.1 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

#### 6.1.1 Conclusão

##### 6.1.1.1 Resultados da Comparação

A análise de cada etapa do ciclo de vida de um produto pode levar à redução do consumo de energia e minimizar a emissão de gás carbônico e, envolvem melhorias nos sistemas de transporte, novos *designs*, materiais mais leves, reutilização de produtos, substituição de materiais e padronização.

O ciclo de vida das garrafas de vidro tem menor consumo energético que o ciclo de vida de garrafas de PET, porém esse número está estreitamente relacionado ao número de reutilizações da garrafa e à distância percorrida na distribuição do produto, etapas que alteram significadamente os resultados obtidos.

Enquanto no ciclo de vida de garrafas de vidro, o maior consumo energético, cerca de 57%, se refere à distribuição (400 km) do produto, no ciclo de garrafas plásticas esse número cai para 18%, entretanto não é o suficiente para tornar o sistema de uso de garrafas plásticas mais eficiente em pequenas distâncias. Isso se deve, principalmente, ao grande consumo de energia para a fabricação de um produto que será utilizado apenas uma vez. Cerca de 82% do consumo de energia no ciclo de garrafas de PET se referem ao processo produtivo.

Ao analisar o ciclo de vida das garrafas de PET e de vidro, comparativamente, notamos que o sistema de garrafas de PET consome menos energia e emite menos gás carbônico, se considerarmos que a distância da distribuição do produto entre o fabricante e o consumidor seja superior a 1000 km. Portanto, em um país como Brasil, de grande extensão territorial, e em um mercado comum, como o MERCOSUL, onde os países são distantes, a embalagem a ser utilizada pelo produto deve considerar a distância entre a indústria e o consumidor final. Entre 200 km e 2000 km de distância de distribuição, a garrafa de vidro consome menos energia e emite menos gás carbônico; em distâncias superiores a 2000 km, o vidro emite e consome mais.

Considerando a utilização de 28 vezes da garrafa de vidro, nota-se o decréscimo da vantagem do vidro sobre o PET, onde atendendo a distância de distribuição de 400 km a vantagem do vidro é de cerca de 96%, com 800 km passa a ser 45%, com 1600 km é de apenas 9% e acima de 2000 km não existe vantagem. As distâncias mencionadas referem-se sempre a ida e a volta do produto ao ponto de origem.

Dependendo da distância de distribuição do produto, a garrafa de vidro terá que ser reutilizada um mínimo de vezes para que seu ciclo consuma menos energia e emita menos gás carbônico que no ciclo das garrafas de PET. O número mínimo de reutilizações para que a garrafa de vidro seja melhor que o PET em relação ao consumo de energia e emissão de gás carbônico aumenta proporcionalmente ao aumento da distância: para 400 km com apenas 5 vezes de uso, para 1400 km, 12 vezes de uso e para 1800 km 20 vezes de uso; lembrando que esse número está abaixo da média de utilização que é de 28 vezes. Contudo, em distâncias maiores que 2000 km, o número mínimo de reutilizações está acima da vida útil da garrafa. Nesses casos, a escolha da embalagem deve considerar a distância de distribuição e o meio de transporte utilizado.

Outro ponto a ser considerado é o meio de transporte e o combustível utilizado na distribuição desses produtos. Esse estudo apenas utilizou os dados do transporte rodoviário, já que é o tipo de transporte que prevalece no país. A utilização do transporte ferroviário ou hidroviário em grandes distâncias pode provocar alterações nas conclusões obtidas, otimizando a utilização de um ou de outro produto. A substituição do óleo diesel, por combustíveis renováveis que emitem menos dióxido de carbono, como o biodiesel, também alteram os resultados, já que a

maior quantidade de emissão no ciclo das garrafas de vidro, se relacionam ao consumo de combustível para a distribuição do produto.

Também quanto ao uso de combustíveis fósseis, muitas indústrias estão substituindo derivados de petróleo, como o BPF e o óleo 3 A, por gás natural, fato que alteraria os dados relativos à emissão de gás carbônico. Este fato é importante ao se considerar que no ciclo de vida do vidro 97% da energia utilizada é térmica, enquanto que no PET 66% do consumo é desse tipo.

Este estudo considera que 89% da matriz energética brasileira provém de geração hidroelétrica e emite conseqüentemente uma quantidade menor de gás carbônico, do que se fosse uma matriz energética a partir de combustíveis fósseis. Portanto, neste caso, a emissão de gases estufa no ciclo de vida da garrafa de PET poderia ser maior, devido aos 34% de energia elétrica utilizada no processo.

As limitações na fronteira do ciclo de vida se referem principalmente à extração dos recursos naturais, já que não há disponível um banco de dados com características típicas brasileiras. A ausência destes dados dificulta mais o inventário de ciclo de vida do PET, pois este depende da extração e dos processos de diferentes etapas nas refinarias de petróleo e em indústrias produtoras de resina. Neste estudo, os dados foram retirados de bancos de dados europeus devido à indisponibilidade de dados e ao não fornecimento de informações que pudessem ser utilizadas neste estudo, por parte das indústrias instaladas no Brasil.

### **6.1.1.2 Possibilidade de Otimização do Sistema**

Um objetivo importante, segundo dados deste trabalho, seria o desenvolvimento de garrafas mais resistentes, porém mais leves, que diminuam a carga do caminhão, já que o consumo de combustível é fortemente dependente da carga transportada. O aumento do número de reutilizações da garrafa traz resultados limitados, pois após 20 vezes de reuso o consumo de energia no ciclo tem um decréscimo muito lento. Outra consideração seria o aumento do volume da garrafa de vidro, pois um volume maior poderia tornar a relação peso/volume mais proveitosa.

O modo de transporte (rodoviário, ferroviário, hidroviário, etc.) e o combustível utilizado devem ser também considerados, principalmente ao se percorrer grandes distâncias.

No Brasil temos ainda, a oportunidade de manter em funcionamento um sistema de embalagens que contemple a reutilização, fechando o ciclo da reciclagem e contribuindo para a minimização na geração de resíduos sólidos urbanos, que é o uso de garrafas de vidro retornáveis. As avaliações ambientais de ciclo de vida devem ser utilizadas ao se questionar o uso de embalagens em relação ao meio ambiente.

## **6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros**

- Inclusão no inventário das etapas de extração dos recursos e as diversas maneiras de disposição final, assim como a reciclagem.
- Inclusão no inventário de outras emissões envolvidas e do consumo de água.
- Análise de Ciclo de Vida de insumos básicos para a fabricação das principais embalagens, tais como: Minério de ferro, madeira e petróleo.
- Análise de Ciclo de Vida das principais formas de produção de energia no Brasil.
- Análise de Ciclo de Vida dos principais combustíveis utilizados no Brasil.
- Completar a comparação de todas as embalagens utilizadas no mercado, somando-se ao vidro retornável e ao PET descartável, a lata de alumínio, o vidro descartável e o PET retornável.
- Simular o desempenho de novas embalagens com diferentes volumes.

## Referências Bibliográficas

- Anjos, C. A. R.** *Aplicação da energia de microondas na secagem da resina de polietilenotereftalato (PET)*, Campinas, 1998.113p.Tese (Doutorado).
- Anuário ABIVIDRO**, SP, Brasil, 47p. 1998.
- Anuário ABIVIDRO**, SP, Brasil, 67p., 2000.
- Anuário ABIVIDRO**, SP, Brasil, 55p, 2001.
- Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e Gás Natural 2002**, Agência Natural do Petróleo, Rio de Janeiro, 2001.
- Bizzo,W. A.** Geração, Distribuição e Utilização de Vapor; Apostila do curso EM 722, FEM, 1993.
- Boletim Técnico do CETEA**, Novas Tecnologias para um maior desenvolvimento na área de embalagens de vidro, v.9,n.4, Campinas, julho/agosto,2000.
- Boletim Técnico do CETEA**, Você conhece o lado químico do PET, v.8,n.4, Campinas, julho/agosto,1999.
- Boustead, I.** *Plastics and Environment, Radiation Physics and Chemistry*, n 1,p 23-30, 1998.
- Braun, H. ; Madi, L.** Embalagem e o Meio Ambiente- Realidade e Tendências Mundiais.In: *VI Congresso Brasileiro de Embalagens*, Campinas, SP, 6p, 1996.
- Ciambrone, D. F.**, *Environmental Life Cycle Analysis*, Boca Raton, Lewis, 145 p, 1997.

- Coltro, L., Garcia, E.C., Queiroz, G.C.**, Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil, *Internacional Journal of LCA*, p290-296, v5, 2003.
- Cook R. F.** The collection and recycling of waste glass (cullet) in glass container manufacture, *Conservation and Recycling*, n.2(1), p. 59-69, 1978.
- Curran, M.A.** *Environmental Life-cycle Assessment*, 1996.
- Fiashi, A. ; Camargo, A.; Pinto, L. ; Sant'Anna R .J.** *Conservação de Energia na Indústria do Vidro - Manual de Recomendações*, IPT, São Paulo, 316p, 1983.
- Garcia, E.E.C.** A Embalagem e o Meio Ambiente: uma visão geral, *VII Congresso Brasileiro de Embalagem*, Campinas, SP, 7p., 1996.
- Georgakellos, D. A.** Evaluation of life cycle inventory results using critical volume aggregation and polygon-based interpretation, *Journal of cleaner production*, 2004.
- Hanlon, J. F.** *Handbook of package Engineering*, New York, Mc Graw-Hill, 2a ed., 396p, 1984.
- Hartwig, K.** Innovative PET Technology for Soft Drinks, Mineral Water, Fruit Juices and Beer, *Kunststoffe Past Europe*, p. 809-814, Junho, 1998.
- Hekkert, M .P., Joosten L. A. J.; Worrel E, Turkenburg, W.C.** Reduction of CO2 emissions by improved management of material and product use: the case of primary packaging, *Resources Conservation and Recycling*, v.29, p 33-64, 2000.
- Hekkert, M .P.; Joosten L. A. J.; Worrel E.** Packaging Tomorrow, *Proceedings: National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Changes*, 1998.
- Hunt R. G.; Sellers, J. D.; Franklin W. E.** Resource and environmental profile analysis: a life cycle environmental assessment for products and procedures, *Environmental Impact Assessment Review*, v 12, 245-269, 1992.
- IPCC ( Intergovernmental Painel on Climate Change)**: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, v2, 190 p, 1996.

- Jenkins W. A. ; Harrington, J. P.** *Packaging foods with plastics*, Lancaster, technomic, 326p, 1991.
- Joosten, L. A. J.** *Process Data Descriptions for the Production of Synthetic Organic Materials*, 92p, 1998.
- Kelsey, R .J.** *Packaging in today society*, Lancaster: Technomic, 141p, 1990.
- Khol, V.,** Energy Saving in the glass industry, UNIDO, *Technical Workshop on Energy Conservation in Silicate Industries for the Least Developed Countries*, Pilzen, Czechoslovakia,48 p., 1998.
- Koroneos C. Roumbas,G., Gabari,Z., Papagiannidou, E. e Moussiopoulus, N. .** Life Cycle assessment of beer production in Greece, *Journal of Cleaner Production*, 2003.
- Marson, T .R.** Desafios a longo prazo para o transporte terrestre no Brasil e suas implicações no setor energético: 1998 a 2015 In: *III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*, Campinas, SP, 1996.
- Mathias, J.** Análise Setorial: a indústria de refrigerantes e água, *Gazeta Mercantil*, Brasil, 266p, 1997.
- Mathias, R.; Dell’Anno P.** An Industrial ecology of the US glass industry, *Resources Policy*, v.23, n.3 p 109-124, 1994.
- Morris, J.** Recycling versus incineration: an energy conservation analysis; *Journal of Hazardous Materials*, EUA, v47, p277-293, 1996.
- Mulder, K. F.** Sustainable Consumption and Production of Plastics? *Technological Forescasting and Social Change*, v 58, p. 105-124, 1998.
- Philippi J.** Agenda 21 e Resíduos Sólidos, In: *RESID’99- Seminário sobre resíduos sólidos*, Associação Brasileira de Geologia, São Paulo, p.15-26, 1999.
- Nogueira, H. L. A.** Produção e processamento de petróleo e gás natural no Brasil: perspectivas e sustentabilidade nos próximos 20 anos, Brasil, *ANP*, 17p, 2002.

- Pollock, C.** Urban Wastes: The Potential for Recycling, *World Watch Paper 76*, World Watch Institute, Washington, D.C., 1986.
- Ross, S.; Evans, D.** The environmental effect of reusing and recycling a plastics-based packaging system; *Journal of Cleaner Production*, v11, p. 561-571, 2003.
- Rouse, C.J.** Reciclagem de vidro: Uma questão de custo e benefício, *Revista Projeto Reciclagem*, n 6, agosto/setembro, p 28-29,1991.
- SAEFL, Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape** Life Cycle Inventories for Packagings, Vol. 1 e 2, Berne, 1998.
- Santos, J. B. B.**, Análise Setorial: a indústria da cerveja, *Gazeta Mercantil*, Brasil, 266p, 1996.
- Selke,S.E.M.**, *Packaging and the Environment alternatives, trends and solutions*, Lancaster, Technomic,248p.,1994.
- Seragini .L.** A visão Empresarial da Embalagem, *VI Congresso Brasileiro de Embalagem*, Campinas, SP 8p., 1996.
- Song, H. S., Hyun, C. J.** A study on the comparison of the various waste management scenarios for PET bottles using life cycle assessment methodology, *Resources, Conservation and Recycling*, v 27, p 267-284, 2001.
- Soroka, W.** *Fundamentals of Packaging Technology*, Institute of Packaging Professionals, Virginia,1995,527p.
- Subramaniam, P. M.** Plastics recycling and waste management in the US, *Resources, Conservation and Recycling*, 28, p 253-263, 2000.
- Veroutis, A.; Aelion, V.; Castells, F.** Life Cycle Inventory Analysis of Chemical Process, *Environmental Progress*, v.14, .3 8p, 1995.
- Vidales, G. M. D.** *El envase en el tiempo: história del envase*. México, 445 p. 1999.

**Vilhena,A.;D’Almeida M.L.O.** *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*, CEMPRE/IPT, SP, 370p.,2000.

**Walsh P.; O’Leary P.** Recycling Offers Benefits, Opportunities and Challengers, *Waste Age*, n.19(1), p. 54-60, 1988.

**Weber,T.E.** Gerenciamento Ambiental ISO 14000 e análise de Ciclo de Vida, *VII Congresso Brasileiro de Embalagem* , Campinas,p 49- 56, 1996.

[www.datamark.com.br](http://www.datamark.com.br) - Market Intelligence Brazil - Relatório Brazil Pack

[www.nisseiasb.co.jp](http://www.nisseiasb.co.jp) – 05/03/01

[www.sindcerv.com.br](http://www.sindcerv.com.br) – 04/10/01

[www.saintgobain.com.br](http://www.saintgobain.com.br) – 05/03/01

[www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br) – 28?06/2001

[www.plasticonline.com.br/revista](http://www.plasticonline.com.br/revista) - 25/02/02

[www.gpi.org](http://www.gpi.org) – Glass Packaging Institute – 17/01/02

## **Apêndices**

Apêndice I - Cálculo do peso das garrafas de vidro

Apêndice II - Consumo de Energia no Transporte

Apêndice III - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 200 km a 800 km

Apêndice IV - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 1000 km a 1600 km

Apêndice V - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 1800 km a 2200 km

## Apêndice I - Cálculo do peso das garrafas de vidro

Dados Coletados durante o ano de 2002 em diversos estabelecimentos comerciais no município de Jaguariúna no Estado de São Paulo.

<b>Ano de Fabricação da garrafa</b>	<b>Peso (g)</b>
1991	489,6
1991	488,5
1992	489,4
1993	488,6
1993	491,2
1993	490,2
1993	491,2
1994	488,3
1994	488,3
1994	489,5
1994	489,1
1995	494
1995	492,3
1995	490,5
1996	487,4
1996	488,1
1996	486,3
1996	487,2
1998	479,6
1998	481
1999	480
1999	479,4
2000	465,7
2000	466,8
<b>Média</b>	<b>485,925</b>

**Apêndice II** -Cálculo do Consumo de Energia na distribuição do produto em viagens de ida e volta utilizando-se caminhões tipo truck e carreta.

Distância (km)	Consumo PET (MJprim)			Consumo Vidro (MJprim)		
	Consumo	Disposição	Total	Consumo	Disposição	Total
50	39,549	12,628	52,177	69,32	6,124	75,442
100	79,099	12,628	91,727	138,64	6,124	144,760
150	118,648	12,628	131,276	207,95	6,124	214,078
200	158,197	12,628	170,825	277,27	6,124	283,397
250	197,747	12,628	210,375	346,59	6,124	352,715
300	237,296	12,628	249,924	415,91	6,124	422,033
350	276,845	12,628	289,473	485,23	6,124	491,351
400	316,395	12,628	329,023	554,55	6,124	560,669
450	355,944	12,628	368,572	623,86	6,124	629,987
500	395,493	12,628	408,121	693,18	6,124	699,305
550	435,042	12,628	447,670	762,50	6,124	768,624
600	474,592	12,628	487,220	831,82	6,124	837,942
650	514,141	12,628	526,769	901,14	6,124	907,260
700	553,690	12,628	566,318	970,45	6,124	976,578
750	593,240	12,628	605,868	1.039,77	6,124	1045,896
800	632,789	12,628	645,417	1.109,09	6,124	1115,214
1000	790,986	12,628	803,614	1.386,36	6,124	1392,487

**Apêndice III** - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 200 km a 800 km (ida e volta):

	Vidro	PET	Vidro	PET	Vidro	PET	Vidro	PET
<i>Veze</i>	200km		400 km		600 km		800 km	
1	6.597,13	1.746,76	6.754,68	1.905,03	6.874,40	2.063,23	7.013,04	2.221,43
2	3.603,40	1.746,76	3.880,67	1.905,03	4.157,95	2.063,23	4.435,22	2.221,43
3	2.556,76	1.746,76	2.834,03	1.905,03	3.111,31	2.063,23	3.388,58	2.221,43
4	2.078,11	1.746,76	2.355,39	1.905,03	2.632,66	2.063,23	2.909,93	2.221,43
5	1.755,19	1.746,76	2.032,46	1.905,03	2.309,74	2.063,23	2.587,01	2.221,43
6	1.539,90	1.746,76	1.817,18	1.905,03	2.094,45	2.063,23	2.371,72	2.221,43
7	1.386,13	1.746,76	1.663,41	1.905,03	1.940,68	2.063,23	2.217,95	2.221,43
8	1.270,80	1.746,76	1.548,08	1.905,03	1.825,35	2.063,23	2.102,62	2.221,43
9	1.181,10	1.746,76	1.458,37	1.905,03	1.735,65	2.063,23	2.012,92	2.221,43
10	1.109,34	1.746,76	1.386,61	1.905,03	1.663,89	2.063,23	1.941,16	2.221,43
11	1.050,62	1.746,76	1.327,90	1.905,03	1.605,17	2.063,23	1.882,44	2.221,43
12	1.001,70	1.746,76	1.278,97	1.905,03	1.556,25	2.063,23	1.833,52	2.221,43
14	924,81	1.746,76	1.202,08	1.905,03	1.479,36	2.063,23	1.756,63	2.221,43
15	894,05	1.746,76	1.171,33	1.905,03	1.448,60	2.063,23	1.725,87	2.221,43
16	867,14	1.746,76	1.144,42	1.905,03	1.421,69	2.063,23	1.698,96	2.221,43
17	843,40	1.746,76	1.120,68	1.905,03	1.397,95	2.063,23	1.675,22	2.221,43
18	822,29	1.746,76	1.099,57	1.905,03	1.376,84	2.063,23	1.654,11	2.221,43
19	803,41	1.746,76	1.080,68	1.905,03	1.357,96	2.063,23	1.635,23	2.221,43
20	786,41	1.746,76	1.063,69	1.905,03	1.340,96	2.063,23	1.618,23	2.221,43
21	771,04	1.746,76	1.048,31	1.905,03	1.325,59	2.063,23	1.602,86	2.221,43
22	757,06	1.746,76	1.034,33	1.905,03	1.311,61	2.063,23	1.588,88	2.221,43
23	744,29	1.746,76	1021,57	1.905,03	1.298,84	2.063,23	1.576,11	2.221,43
24	732,59	1.746,76	1009,87	1.905,03	1.287,14	2.063,23	1.564,41	2.221,43
25	721,83	1.746,76	999,10	1.905,03	1.276,38	2.063,23	1.553,65	2.221,43
26	711,89	1.746,76	989,17	1.905,03	1.266,44	2.063,23	1.543,71	2.221,43
27	702,69	1.746,76	979,97	1.905,03	1.257,24	2.063,23	1.534,51	2.221,43
28	694,15	1.746,76	971,42	1.905,03	1.248,70	2.063,23	1.525,97	2.221,43
29	686,20	1.746,76	963,47	1.905,03	1.240,75	2.063,23	1.518,02	2.221,43
30	678,77	1.746,76	956,05	1.905,03	1.233,32	2.063,23	1.510,59	2.221,43
31	671,83	1.746,76	949,10	1.905,03	1.226,38	2.063,23	1.503,65	2.221,43
32	663,48	1.746,76	940,75	1.905,03	1.218,03	2.063,23	1.495,30	2.221,43
33	657,46	1.746,76	934,74	1.905,03	1.212,01	2.063,23	1489,28	2.221,43
34	653,44	1.746,76	930,72	1.905,03	1.207,99	2.063,23	1.485,26	2.221,43
35	648,02	1.746,76	925,29	1.905,03	1.202,57	2.063,23	1.479,84	2.221,43
36	642,89	1.746,76	920,17	1.905,03	1.197,44	2.063,23	1.474,71	2.221,43
37	638,04	1.746,76	915,32	1.905,03	1.192,59	2.063,23	1.469,86	2.221,43
38	633,45	1.746,76	910,72	1.905,03	1.188,00	2.063,23	1.465,27	2.221,43

**Apêndice IV - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 1000 km a 1600 km ( ida e volta):**

	Vidro	PET	Vidro	PET	Vidro	PET	Vidro	PET
<i>Veze</i>	1000 km		1200 km		1400 km		1600 km	
1	7.151,67	2.379,63	7.290,31	2537,82	7428,49	2.696,02	7567,58	2854,22
2	4.712,49	2.379,63	4.989,77	2537,82	5267,04	2.696,02	5544,31	2854,22
3	3.665,85	2.379,63	3.943,13	2537,82	4220,40	2.696,02	4497,67	2854,22
4	3.187,20	2.379,63	3.464,48	2537,82	3741,75	2.696,02	4019,02	2854,22
5	2.864,28	2.379,63	3.141,56	2537,82	3418,83	2.696,02	3696,10	2854,22
6	2.648,99	2.379,63	2.926,27	2537,82	3203,54	2.696,02	3480,81	2854,22
7	2.495,22	2.379,63	2.772,50	2537,82	3049,77	2.696,02	3327,04	2854,22
8	2.379,89	2.379,63	2.657,17	2537,82	2934,44	2.696,02	3211,71	2854,22
9	2.290,19	2.379,63	2.567,47	2537,82	2844,74	2.696,02	3122,01	2854,22
10	2.218,43	2.379,63	2.495,71	2537,82	2772,98	2.696,02	3050,25	2854,22
11	2.159,71	2.379,63	2.436,99	2537,82	2714,26	2.696,02	2991,53	2854,22
12	2.110,79	2.379,63	2.388,07	2537,82	2665,34	2.696,02	2942,61	2854,22
14	2.033,90	2.379,63	2.311,18	2537,82	2588,45	2.696,02	2865,72	2854,22
15	2.003,14	2.379,63	2.280,42	2537,82	2557,69	2.696,02	2834,96	2854,22
16	1.976,23	2.379,63	2.253,51	2537,82	2530,78	2.696,02	2808,05	2854,22
17	1.952,49	2.379,63	2.229,77	2537,82	2507,04	2.696,02	2784,31	2854,22
18	1.931,38	2.379,63	2.208,66	2537,82	2485,93	2.696,02	2763,20	2854,22
19	1.912,50	2.379,63	2.189,78	2537,82	2467,05	2.696,02	2744,32	2854,22
20	1.895,50	2.379,63	2.172,78	2537,82	2450,05	2.696,02	2727,32	2854,22
21	1.880,13	2.379,63	2.157,41	2537,82	2434,68	2.696,02	2711,95	2854,22
22	1.866,15	2.379,63	2.143,43	2537,82	2420,70	2.696,02	2697,97	2854,22
23	1.853,38	2.379,63	2.130,66	2537,82	2407,93	2.696,02	2685,20	2854,22
24	1.841,68	2.379,63	2.118,96	2537,82	2396,23	2.696,02	2673,50	2854,22
25	1.830,92	2.379,63	2.108,20	2537,82	2385,47	2.696,02	2662,74	2854,22
26	1.820,98	2.379,63	2.098,26	2537,82	2375,53	2.696,02	2652,80	2854,22
27	1.811,78	2.379,63	2.089,06	2537,82	2366,33	2.696,02	2643,60	2854,22
28	1.803,24	2.379,63	2.080,52	2537,82	2357,79	2.696,02	2635,06	2854,22
29	1.795,29	2.379,63	2.072,57	2537,82	2349,84	2.696,02	2627,11	2854,22
30	1.787,86	2.379,63	2.065,14	2537,82	2342,41	2.696,02	2619,68	2854,22
31	1.780,92	2.379,63	2.058,20	2537,82	2335,47	2.696,02	2612,74	2854,22
32	1.772,57	2.379,63	2.049,85	2537,82	2327,12	2.696,02	2604,39	2854,22
33	1.766,55	2.379,63	2.043,83	2537,82	2321,10	2.696,02	2598,37	2854,22
34	1.762,53	2.379,63	2.039,81	2537,82	2317,08	2.696,02	2594,35	2854,22
35	1.757,11	2.379,63	2.034,39	2537,82	2311,66	2.696,02	2588,93	2854,22
36	1.751,98	2.379,63	2.029,26	2537,82	2306,53	2.696,02	2583,80	2854,22
37	1.747,13	2.379,63	2.024,41	2537,82	2301,68	2.696,02	2578,95	2854,22
38	1.742,54	2.379,63	2.019,82	2537,82	2297,09	2.696,02	2574,36	2854,22
39	1.738,18	2.379,63	2.015,46	2537,82	2292,73	2.696,02	2570,00	2854,22
40	1.734,04	2.379,63	2.011,32	2537,82	2288,59	2.696,02	2565,86	2854,22

**Apêndice V** - Comparação do consumo de energia das garrafas de PET e de vidro em relação às reutilizações das garrafas e à distância de 1800 km a 2200 km (ida e volta):

<i>Vezes</i>	Vidro	PET	Vidro	PET	Vidro	PET
	<b>1800 km</b>		<b>2000 km</b>		<b>2200 km</b>	
1	7708,96	3012,42	7844,85	3170,61	7986,84	3328,81
2	5827,08	3012,42	6098,86	3170,61	6382,84	3328,81
3	4780,44	3012,42	5052,22	3170,61	5336,20	3328,81
4	4301,79	3012,42	4573,57	3170,61	4857,55	3328,81
5	3978,87	3012,42	4250,65	3170,61	4534,63	3328,81
6	3763,58	3012,42	4035,36	3170,61	4319,34	3328,81
7	3609,81	3012,42	3881,59	3170,61	4165,57	3328,81
8	3494,48	3012,42	3766,26	3170,61	4050,24	3328,81
9	3404,78	3012,42	3676,56	3170,61	3960,54	3328,81
10	3333,02	3012,42	3604,80	3170,61	3888,78	3328,81
11	3274,30	3012,42	3546,08	3170,61	3830,06	3328,81
12	3225,38	3012,42	3497,16	3170,61	3781,14	3328,81
14	3148,49	3012,42	3420,27	3170,61	3704,25	3328,81
15	3117,73	3012,42	3389,51	3170,61	3673,49	3328,81
16	3090,82	3012,42	3362,60	3170,61	3646,58	3328,81
17	3067,08	3012,42	3338,86	3170,61	3622,84	3328,81
18	3045,97	3012,42	3317,75	3170,61	3601,73	3328,81
19	3027,09	3012,42	3298,87	3170,61	3582,85	3328,81
20	3010,09	3012,42	3281,87	3170,61	3565,85	3328,81
21	2994,72	3012,42	3266,50	3170,61	3550,48	3328,81
22	2980,74	3012,42	3252,52	3170,61	3536,50	3328,81
23	2967,97	3012,42	3239,75	3170,61	3523,73	3328,81
24	2956,27	3012,42	3228,05	3170,61	3512,03	3328,81
25	2945,51	3012,42	3217,29	3170,61	3501,27	3328,81
26	2935,57	3012,42	3207,35	3170,61	3491,33	3328,81
27	2926,37	3012,42	3198,15	3170,61	3482,13	3328,81
28	2917,83	3012,42	3189,61	3170,61	3473,59	3328,81
29	2909,88	3012,42	3181,66	3170,61	3465,64	3328,81
30	2902,45	3012,42	3174,23	3170,61	3458,21	3328,81
31	2895,51	3012,42	3167,29	3170,61	3451,27	3328,81
32	2887,16	3012,42	3158,94	3170,61	3442,92	3328,81
33	2881,14	3012,42	3152,92	3170,61	3436,90	3328,81
34	2877,12	3012,42	3148,90	3170,61	3432,88	3328,81

## Anexos

### Anexo I – Conversões

1	J = 1	W.s
1	MJ = 238,846	Kcal
1	BTU = 1.055,06	Kcal
1	Kcal = 39.683	BTU
1	kWh = 3.412,14	BTU
1	kWh = 859,84	Kcal
1	BTU/h = 0,2931	W
1	kWh = 3,6	MJ

Anexo II – Planilhas de Coleta do Lixo Urbano de Campinas (Janeiro a Junho):

**Janeiro**

SETOR	ton / mês	Distância (km)		nº de viagens / mês	nº de dias de coleta	nº médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
1	461,270	61	16	55	22	2,500	8,387	20,967
2	450,470	63	11	53	22	2,409	8,499	20,476
3	436,780	62	8	53	22	2,409	8,241	19,854
5	500,760	53	19	53	26	2,038	9,448	19,260
7	469,700	60	16	57	26	2,192	8,240	18,065
8	454,400	55	14	58	26	2,231	7,834	17,477
9	388,280	65	8	51	22	2,318	7,613	17,649
10	431,620	56	12	59	26	2,269	7,316	16,601
11	410,420	49	5	49	22	2,227	8,376	18,655
12	425,910	67	12	56	26	2,154	7,606	16,381
13	438,000	66	10	55	22	2,500	7,964	19,909
14	446,540	60	19	57	22	2,591	7,834	20,297
15	304,522	60	33	46	26	1,769	6,620	11,712
16	455,696	47	15	59	26	2,269	7,724	17,527
18	435,830	66	24	50	17	2,941	8,717	25,637
20	675,880	24	18	65	26	2,500	10,398	25,995
21	584,586	30	21	58	26	2,231	10,079	22,484
22	542,466	41	18	55	26	2,115	9,863	20,864
25	420,680	63	20	56	26	2,154	7,512	16,180
26	398,446	58	22	46	17	2,706	8,662	23,438
28	341,870	75	38	45	17	2,647	7,597	20,110
29	141,570	46	15	22	13	1,692	6,435	10,890
30	218,493	66	15	30	13	2,308	7,283	16,807
31	273,153	34	14	30	13	2,308	9,105	21,012
32	341,300	57	23	33	14	2,357	10,342	24,379
33	275,263	44	17	29	13	2,231	9,492	21,174
34	320,020	55	14	30	14	2,143	10,667	22,859
37	286,910	44	10	28	13	2,154	10,247	22,070
38	322,150	49	16	33	14	2,357	9,762	23,011
39	262,253	57	11	44	13	3,385	5,960	20,173
40	335,970	42	21	34	14	2,429	9,881	23,998
41	232,136	65	14	33	13	2,538	7,034	17,857

Continuação – Janeiro

SETOR	ton / mês	km		n° de viagens / mês	n° de dias de coleta	n° médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
43	205,170	98	25	27	14	1,929	7,599	14,655
44	230,340	55	20	28	14	2,000	8,226	16,453
45	256,143	30	6	29	13	2,231	8,833	19,703
46	257,803	60	19	34	14	2,429	7,582	18,415
47	130,686	58	21	18	13	1,385	7,260	10,053
48	258,233	120	32	39	14	2,786	6,621	18,445
49	239,100	57	17	35	13	2,692	6,831	18,392
50	289,033	89	21	40	14	2,857	7,226	20,645
51	258,663	42	10	30	13	2,308	8,622	19,897
52	255,160	46	19	31	14	2,214	8,231	18,226
53	266,423	48	12	28	13	2,154	9,515	20,494
54	259,920	95	14	33	14	2,357	7,876	18,566
55	249,270	41	8	30	13	2,308	8,309	19,175
56	223,013	42	9	38	14	2,714	5,869	15,930
58	252,010	45	20	31	14	2,214	8,129	18,001
59	265,463	37	5	30	13	2,308	8,849	20,420
60	271,380	45	4	31	14	2,214	8,754	19,384
61	237,836	34	16	42	13	3,231	5,663	18,295
62	240,480	40	9	45	14	3,214	5,344	17,177
63	202,556	57	6	41	13	3,154	4,940	15,581
64	220,803	33	15	34	14	2,429	6,494	15,772
65	285,513	40	12	26	13	2,000	10,981	21,963
66	206,593	68	5	44	14	3,143	4,695	14,757
67	253,863	27	6	32	13	2,462	7,933	19,528
71	331,130	63	19	31	18	1,722	10,682	18,396
72	324,990	75	24	37	18	2,056	8,784	18,055
73	240,003	75	25	30	18	1,667	8,000	13,334
74	379,880	72	16	46	17	2,706	8,258	22,346
75	353,030	46	15	43	26	1,654	8,210	13,578
76	379,300	60	19	54	26	2,077	7,024	14,588
Total	21194,691	3547		2633				
MÉDIA	331,167	55	16				8,087	

Fevereiro

SETOR	t / mês	Distância(km)		nº de viagens / mês	nº de dias de coleta	nº médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
1	421,39	61	16	49	20	2,5	8,6	21,1
2	398,58	63	11	48	20	2,4	8,3	19,9
3	367,82	62	8	47	20	2,4	7,8	18,4
5	487,87	53	19	52	24	2,2	9,4	20,3
7	463,94	60	16	54	24	2,3	8,6	19,3
8	425,29	55	14	53	24	2,2	8,0	17,7
9	351,24	65	8	48	20	2,4	7,3	17,6
10	431,62	56	12	53	24	2,2	8,1	18,0
11	389,21	49	5	46	20	2,3	8,5	19,5
12	422,55	67	12	50	24	2,1	8,5	17,6
13	397,57	66	10	49	20	2,5	8,1	19,9
14	408,31	60	19	49	20	2,5	8,3	20,4
15	303,66	60	33	45	24	1,9	6,7	12,7
16	444,55	47	15	54	24	2,3	8,2	18,5
18	430,77	66	24	49	16	3,1	8,8	26,9
20	687,53	24	18	68	24	2,8	10,1	28,6
21	576,86	30	21	53	24	2,2	10,9	24,0
22	520,84	41	18	51	24	2,1	10,2	21,7
25	411,58	63	20	49	24	2,0	8,4	17,1
26	373,26	58	22	43	16	2,7	8,7	23,3
28	332,95	75	38	40	16	2,5	8,3	20,8
29	128,08	46	15	21	12	1,8	6,1	10,7
30	206,18	66	15	31	12	2,6	6,7	17,2
31	257,8	34	14	28	12	2,3	9,2	21,5
32	295,55	57	23	29	12	2,4	10,2	24,6
33	251,67	44	17	26	12	2,2	9,7	21,0
34	291,72	55	14	28	12	2,3	10,4	24,3
37	247,88	44	10	24	12	2,0	10,3	20,7
38	274,62	49	16	28	12	2,3	9,8	22,9
39	252,49	57	11	45	12	3,8	5,6	21,0
40	282,65	42	21	26	12	2,2	10,9	23,6
41	207,15	65	14	28	12	2,3	7,4	17,3

Continuação - Fevereiro

SETOR	ton / mês	km		n° de viagens / mês	n° de dias de coleta	n° médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
43	180,174	98	25	24	12	2,0	7,5	15,0
44	212,12	55	20	27	12	2,3	7,9	17,7
45	249,57	30	6	28	12	2,3	8,9	20,8
46	211,88	60	19	26	12	2,2	8,1	17,7
47	123,82	58	21	16	12	1,3	7,7	10,3
48	218,86	120	32	33	12	2,8	6,6	18,2
49	211,22	57	17	31	12	2,6	6,8	17,6
50	265,958	89	21	34	12	2,8	7,8	22,2
51	232,57	42	10	27	12	2,3	8,6	19,4
52	224,324	46	19	27	12	2,3	8,3	18,7
53	253,32	48	12	24	12	2,0	10,6	21,1
54	223,494	95	14	30	12	2,5	7,4	18,6
55	227,67	41	8	28	12	2,3	8,1	19,0
56	196,984	42	9	33	12	2,8	6,0	16,4
58	250,91	45	20	29	12	2,4	8,7	20,9
59	236,5	37	5	27	12	2,3	8,8	19,7
60	229,79	45	4	28	12	2,3	8,2	19,1
61	182,93	34	16	35	12	2,9	5,2	15,2
62	199,52	40	9	40	12	3,3	5,0	16,6
63	181,46	57	6	35	12	2,9	5,2	15,1
64	186,094	33	15	28	12	2,3	6,6	15,5
65	273,62	40	12	27	12	2,3	10,1	22,8
66	163,754	68	5	40	12	3,3	4,1	13,6
67	234,32	27	6	28	12	2,3	8,4	19,5
71	330,494	63	19	36	16	2,3	9,2	20,7
72	339,28	75	24	36	16	2,3	9,4	21,2
73	243,82	75	25	29	16	1,8	8,4	15,2
74	376,97	72	16	47	16	2,9	8,0	23,6
75	343,01	46	15	46	24	1,9	7,5	14,3
76	356,11	60	19	49	24	2,0	7,3	14,8
77	318,19	49	11	45	24	1,9	7,1	13,3
78	469,43	60	14	60	24	2,5	7,8	19,6
Total	19691,346	3547		2417				
MÉDIA		55,422	15,6719				8,1	

Março

SETOR	t / mês	Distância (km)	
		Setor	Setor / Aterro
1	437,77	61	16
2	406,67	63	11
3	372,9	62	8
5	465,08	53	19
7	434,45	60	16
8	404,56	55	14
9	350,39	65	8
10	426,34	56	12
11	375,27	49	5
12	420,28	67	12
13	392,68	66	10
14	395,72	60	19
15	326,38	60	33
16	448,87	47	15
18	469,12	66	24
20	614,22	24	18
21	545,7	30	21
22	520,71	41	18
25	382,68	63	20
26	398,57	58	22
28	343,99	75	38
29	128,15	46	15
30	184,32	66	15
31	266,5	34	14
32	294,442	57	23
33	258,17	44	17
34	303,702	55	14
37	249,46	44	10
38	307,602	49	16
39	220	57	11
40	295,923	42	21
41	204,61	65	14
43	191,922	98	25
44	204,422	55	20

Continuação – Março

SETOR	t / mês	Distância (km)	
		Setor	Setor / Aterro
45	253,7	30	6
46	229,222	60	19
47	99,36	58	21
48	196,27	120	32
49	232,27	57	17
50	273,722	89	21
51	234,95	42	10
52	209,432	46	19
53	261,64	48	12
54	233,122	95	14
55	228,95	41	8
56	197,221	42	9
58	237,832	45	20
59	239,3	37	5
60	233,061	45	4
61	197,11	34	16
62	216,802	40	9
63	173,26	57	6
64	191,921	33	15
65	277,08	40	12
66	171,84	68	5
67	216,75	27	6
71	320,88	63	19
72	322,61	75	24
73	254,75	75	25
74	381,25	72	16
75	329,45	46	15
76	331,26	60	19
77	344,511	49	11
78	448,42	60	14
Total	19579,519	3547	
MÉDIA	305,929984	55,421875	15,671875

Abril

SETOR	t / mês	Distância (km)	
		Setor	Setor / Aterro
1	376,53	61	16
2	352,29	63	11
3	371,09	62	8
5	440,01	53	19
7	416,22	60	16
8	391,19	55	14
9	314,61	65	8
10	398,5	56	12
11	359,37	49	5
12	422,33	67	12
13	349,42	66	10
14	371,8	60	19
15	314,03	60	33
16	392,64	47	15
18	419,96	66	24
20	571,23	24	18
21	525,52	30	21
22	489,6	41	18
25	368,41	63	20
26	358,29	58	22
28	302,18	75	38
29	128,1	46	15
30	192,67	66	15
31	251,63	34	14
32	290,1	57	23
33	241,49	44	17
34	269	55	14
37	265,08	44	10
38	267,36	49	16
39	247,5	57	11
40	277,81	42	21
41	214,18	65	14
43	168,48	98	25

Continuação Abril

SETOR	t / mês	Distância (km)	
		Setor	Setor / Aterro
44	186,35	55	20
45	249,84	30	6
46	222,14	60	19
47	112,84	58	21
48	196,27	120	32
49	205,49	57	17
50	245,22	89	21
51	228,14	42	10
52	204,8	46	19
53	242,08	48	12
54	215,09	95	14
55	223,05	41	8
56	202,66	42	9
58	217,77	45	20
59	248,63	37	5
60	222,7	45	4
61	202,56	34	16
62	193,42	40	9
63	182,7	57	6
64	190,24	33	15
65	267,82	40	12
66	167,52	68	5
67	220,15	27	6
71	287,06	63	19
72	291,49	75	24
73	219,92	75	25
74	382,95	72	16
75	303,1	46	15
76	320,51	60	19
77	316,38	49	11
78	369,64	60	14
Total	18457,15	3547	
MÉDIA	288,3929688	55,42188	

Maio

SETOR	total peso mês (t)	km do setor/dia	número de viagens/mês	número dias coleta	média de viagens/dia	média peso viagem (t)	média peso dia (t)
1	10,940	61	56	23	2,435	7,514	18,295
2	13,530	63	53	23	2,304	7,570	17,444
3	12,820	62	54	23	2,348	7,446	17,481
5	12,330	53	55	27	2,037	8,128	16,557
7	15,010	60	57	27	2,111	7,595	16,034
8	12,670	55	57	27	2,111	6,956	14,686
9	9,910	65	49	23	2,130	6,611	14,085
10	11,090	56	58	27	2,148	7,324	15,733
11	12,190	49	49	23	2,130	7,461	15,896
12	11,830	67	57	27	2,111	7,391	15,602
13	12,990	66	53	23	2,304	7,160	16,500
14	12,560	60	52	23	2,261	7,726	17,468
15	12,320	60	51	27	1,889	6,243	11,792
16	16,910	47	49	27	1,815	8,457	15,349
18	22,830	66	50	18	2,778	8,142	22,617
20	17,040	24	63	27	2,333	9,052	21,122
21	13,570	30	57	27	2,111	9,209	19,442
22	14,680	41	58	27	2,148	8,575	18,421
25	12,470	63	57	27	2,111	6,705	14,156
26	23,220	58	45	18	2,500	8,046	20,116
28	16,830	75	43	18	2,389	7,101	16,963
74	23,190	72	51	18	2,833	7,324	20,751
76	9,100	60	47	27	1,741	6,810	11,855
78	12,200	60	59	27	2,185	6,639	14,507
29	8,790	46	20	14	1,429	6,597	9,424
30	12,710	66	28	14	2,000	7,269	14,539
31	16,590	34	31	14	2,214	8,153	18,052
32	0,000	57	32	13	2,462	8,911	21,935
33	17,030	44	29	14	2,071	8,744	18,112
34	0,000	55	30	13	2,308	9,076	20,944
37	17,610	44	31	14	2,214	8,476	18,769
38	0,000	49	30	13	2,308	9,038	20,858
39	17,600	57	53	14	3,786	4,771	18,061
40	0,000	42	27	13	2,077	9,987	20,743
41	14,900	65	37	14	2,643	6,038	15,959
43	0,000	98	24	13	1,846	7,154	13,207
44	0,000	55	26	13	2,000	7,219	14,439
45	16,380	30	32	14	2,286	7,949	18,170

Continuação Maio

SETOR	total peso mês (t)	Km do setor/dia	número de viagens/mês	número dias coleta	média de viagens/dia	média peso viagem (t)	média peso dia (t)
46	0,000	60	31	13	2,385	7,086	16,898
47	8,680	58	17	14	1,214	6,570	7,978
48	0,000	120	33	13	2,538	6,121	15,538
49	14,070	57	30	14	2,143	6,771	14,509
50	0,000	89	34	13	2,615	7,375	19,290
51	15,930	42	29	14	2,071	8,296	17,184
52	0,000	46	26	13	2,000	8,001	16,002
53	17,110	48	25	14	1,786	9,652	17,235
54	0,000	95	30	13	2,308	7,310	16,869
55	16,800	41	32	14	2,286	7,297	16,679
56	0,000	42	26	13	2,000	7,456	14,912
58	0,000	45	29	13	2,231	7,764	17,321
59	17,430	37	32	14	2,286	7,861	17,969
60	0,000	45	30	13	2,308	7,417	17,116
61	14,880	34	29	14	2,071	6,991	14,482
62	0,000	40	43	13	3,308	4,462	14,761
63	13,000	57	40	14	2,857	4,640	13,257
64	0,000	33	26	13	2,000	7,018	14,035
65	18,530	40	28	14	2,000	9,539	19,077
66	0,000	68	34	13	2,615	5,077	13,280
67	14,800	27	30	14	2,143	7,417	15,893
71	20,490	63	36	18	2,000	8,558	17,115
72	22,130	75	35	18	1,944	8,532	16,590
73	15,280	75	30	18	1,667	7,361	12,268
75	10,240	46	34	27	1,259	9,153	11,527
77	10,560	49	40	27	1,481	7,729	11,451
<b>Total</b>	693,770	3547				482,026	
Média		56,30				7,651	

Junho

SETOR	t / mês	Distância (km)		nº de viagens / mês	nº de dias de coleta	nº médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
1	370,04	61	16	50	21	2,381	7,401	17,621
2	363,77	63	11	50	21	2,381	7,275	17,322
3	355,35	62	8	49	21	2,333	7,252	16,921
5	439,72	53	19	55	25	2,200	7,995	17,589
7	436,33	60	16	54	25	2,160	8,080	17,453
8	387,65	55	14	54	25	2,160	7,179	15,506
9	311,28	65	8	48	21	2,286	6,485	14,823
10	419,34	56	12	58	25	2,320	7,230	16,774
11	334,83	49	5	46	21	2,190	7,279	15,944
12	399,94	67	12	55	25	2,200	7,272	15,998
13	348,11	66	10	50	21	2,381	6,962	16,577
14	377,74	60	19	52	21	2,476	7,264	17,988
15	308,78	60	33	47	25	1,880	6,570	12,351
16	395,68	47	15	45	25	1,800	8,793	15,827
18	401,61	66	24	47	17	2,765	8,545	23,624
20	560,24	24	18	56	25	2,240	10,004	22,410
21	522,64	30	21	54	25	2,160	9,679	20,906
22	485,53	41	18	52	25	2,080	9,337	19,421
25	373,85	63	20	55	25	2,200	6,797	14,954
26	355,44	58	22	46	17	2,706	7,727	20,908
28	315,87	75	38	41	17	2,412	7,704	18,581
29	112,94	46	15	16	12	1,333	7,059	9,412
30	179,47	46	15	21	12	1,750	8,546	14,956
31	226,54	34	14	30	12	2,500	7,551	18,878
32	373,36	57	23	46	13	3,538	8,117	28,720
33	227,58	44	17	26	12	2,167	8,753	18,965
34	270	55	14	30	13	2,308	9,000	20,769
37	232,5	44	10	25	12	2,083	9,300	19,375
38	269,97	49	16	29	13	2,231	9,309	20,767
39	239,61	57	11	47	12	3,917	5,098	19,968
40	255,85	42	21	29	13	2,231	8,822	19,681
41	180,01	65	14	31	12	2,583	5,807	15,001
43	172,01	98	25	22	13	1,692	7,819	13,232

Continuação – Junho

SETOR	t / mês	Distância (km)		nº de viagens / mês	nº de dias de coleta	nº médio de viagens	t média / viagem	t média / dia
		Setor	Setor / Aterro					
44	186,16	55	20	23	13	1,769	8,094	14,320
45	212,07	30	6	25	12	2,083	8,483	17,673
46	198,272	60	19	25	13	1,923	7,931	15,252
47	100,87	58	21	15	12	1,250	6,725	8,406
48	210,04	120	32	34	13	2,615	6,178	16,157
49	172,9	57	17	26	12	2,167	6,650	14,408
50	222,87	89	21	40	13	3,077	5,572	17,144
51	203,39	42	10	22	12	1,833	9,245	16,949
52	272,77	46	19	36	13	2,769	7,577	20,982
53	215,11	48	12	22	12	1,833	9,778	17,926
54	225,78	95	14	31	13	2,385	7,283	17,368
55	208,98	41	8	29	12	2,417	7,206	17,415
56	187,992	42	9	21	13	1,615	8,952	14,461
58	237,77	45	20	29	13	2,231	8,199	18,290
59	213,45	37	5	25	12	2,083	8,538	17,788
60	222,74	45	4	28	13	2,154	7,955	17,134
61	188,83	34	16	26	12	2,167	7,263	15,736
62	216,92	40	9	44	13	3,385	4,930	16,686
63	170,31	57	6	32	12	2,667	5,322	14,193
64	193,282	33	15	22	13	1,692	8,786	14,868
65	246,08	40	12	26	12	2,167	9,465	20,507
66	181,982	68	5	32	13	2,462	5,687	13,999
67	193,42	27	6	27	12	2,250	7,164	16,118
71	304,45	63	19	33	17	1,941	9,226	17,909
72	293,11	75	24	34	17	2,000	8,621	17,242
73	223,57	75	25	30	17	1,765	7,452	13,151
74	317,65	72	16	47	17	2,765	6,759	18,685
75	311,27	46	15	33	25	1,320	9,432	12,451
76	316,17	60	19	46	25	1,840	6,873	12,647
77	317,862	49	11	37	25	1,480	8,591	12,714
78	372,03	60	14	56	25	2,240	6,643	14,881
Total	18141,68	3527		2372				
<b>MÉDIA</b>	<b>283,4638</b>	<b>55,109</b>	<b>15,672</b>				<b>7,728</b>	