

UNIVERSIDADE DO PORTO  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Comparação de Processos de Reutilização/Reciclagem  
Usando a Metodologia de Análise de Ciclo-de-Vida

*Teresa Margarida Correia de Poço Mata*

**1998**



**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**



**Comparação de Processos de Reutilização/Reciclagem  
Usando a Metodologia de Análise de Ciclo-de-Vida**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
Mestre em Engenharia do Ambiente

**Teresa Margarida Correia de Poço Mata**

(licenciada em Engenharia Química pela FEUP)

**1998**

Dissertação realizada sob a supervisão de:

Prof. Doutor Carlos Albino Veiga da Costa

Professor Catedrático, FEUP

## ***SUMÁRIO***

A análise de ciclo-de-vida (ACV) tem adquirido cada vez mais importância como uma metodologia objectiva para a avaliação dos impactos ambientais associados ao uso de um produto, a um processo produtivo, a uma actividade ou a um sistema em geral, dentro de limites bem definidos. O estudo compreende o ciclo-de-vida completo do produto, processo, ou actividade, incluindo a extracção e processamento de matérias-primas, manufactura, transporte, distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem e rejeição final. A ordem de trabalhos para a metodologia de ACV compreende a definição do objectivo e do âmbito, a análise de inventário, a análise de impactos ambientais e a análise de melhorias.

O presente trabalho consistiu na aplicação da metodologia de Análise de Ciclo-de-Vida, para comparar a reutilização e a reciclagem das garrafas de cerveja de 0,33 litros de tara retornável e de tara perdida. Nesse sentido foram contactadas duas empresas portuguesas intervenientes no ciclo-de-vida dessas garrafas. Uma responsável pela produção das garrafas de vidro onde foi analisado em detalhe o processo fabrico das garrafas. A outra uma cervejeira onde foram analisados os processos inerentes ao enchimento dessas garrafas.

Foram recolhidos dados quantitativos e qualitativos dos consumos de matérias-primas, materiais auxiliares, energia e água, emissões gasosas, águas residuais e resíduos sólidos gerados. Também foi estudado o consumo de energia necessária para o transporte. Os dados do inventário foram classificados em categorias de impacto, tendo sido usado o “método dos volumes críticos” na caracterização e avaliação da importância relativa de cada uma dessas categorias. Deste modo foi possível comparar os dois tipos de garrafas em termos dos impactos ambientais associados. Foi efectuada ainda uma análise da reciclagem e da reutilização de garrafas de vidro.

Deste estudo conclui-se que dentro das fronteiras estabelecidas e hipóteses assumidas, os impactos ambientais associados à garrafa retornável, considerando apenas um ciclo ou uma utilização desta, são mais elevados do que os associados à garrafa não-retornável. A reciclagem de vidro é vantajosa desde que o vidro a reciclar não contenha muitos contaminantes.

## ***ABSTRACT***

Life Cycle Assessment (LCA) is increasingly becoming more important as a methodology to evaluate the environmental impacts associated with a product, a process, an activity or a general system inside a well defined boundary. The assessment includes the entire life-cycle of the product, process or activity, encompassing extracting and processing raw materials, manufacturing, transportation, distribution, use, reuse, maintenance, recycling and final disposal. The methodology framework includes the goal and the scope definition, the inventory analysis, the impact assessment and the improvement assessment.

This work consists of the application of the LCA methodology to compare the reuse and recycle of the returnable and the non-returnable glass beer bottles, 0,33 liters. Therefore two portuguese companies intervening on the life cycle of them were contacted. One is the producer of the glass bottles, where the manufacturing process was studied in detail. The other is a brewery where the filling processes were studied.

Quantitative and qualitative data were gathered concerning raw materials and auxiliary materials consumption, water and energy consumption, wastewater, air emissions and solid waste generation. Also the energy consumption in the transport was considered. Using this set of data the two types of bottles were compared. The inventory data were classified in impact categories. The “critical volumes method” is used in their characterization and finally evaluation of their relative importance. Also the recycling and the reuse processes of glass bottles were studied.

This study concludes that the environmental impacts associated with the returnable bottles, considering only one cycle or one utilization of the returnable bottle, are higher compared with the non-returnable bottles. The glass recycling is advantageous only if the glass don't have too much contaminant.

## ***RÉSUMÉ***

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) ou l'écobilan a acquis de plus en plus importance comme une méthodologie objectif servant à la recherche, l'analyse et l'évaluation de charges environnementales et des effets sur l'environnement associés aux produits, aux procédés industriels, à une activité ou à un système en général, dont les frontières sont bien définies. L'étude comprend le cycle de vie complet du produit, processus, ou activité, inclusif l'extraction et traitement des matières premières, production, conditionnement, transport, distribution, consommation, utilisation, réutilisation, recyclage et déchets finales. De façon générale, la méthodologie des écobilans comprend quatre étapes: la définition de l'objectif et du domaine de l'étude, l'inventarisation, l'évaluation et l'interprétation.

Cette étude s'agit de l'application de la méthodologie de ACV pour comparer la réutilisation et le recyclage des bouteilles de verre à 0,33 litres pour la bière, à plusieurs usages et à usage unique. Dans ce but, on a contacté deux entreprises qui font part du cycle de vie de ces bouteilles. Une où on a étudié la production des bouteilles de verre. L'autre une brasserie où on a étudié les processus liés au remplissage des bouteilles.

On a recueilli des données quantitativement et qualitativement par rapport à la consommation des matières premières et d'autres, d'énergie et d'eau, d'émissions dans l'air et dans l'eau et aussi des déchets. On a étudié aussi la consommation d'énergie nécessaire au transport. De cette façon on a réussi à comparer les deux types de bouteilles. On a classifié les données de l'inventarisation dans des catégories d'impacts, puis on les a caractérisé avec la "méthode des volumes critiques" et finalement on a évalué son importance relative. On a étudié aussi les processus de recyclage et réutilisation des bouteilles en verre.

De cette étude on peut conclure que les impacts dans l'environnement associés aux bouteilles à plusieurs usages, si on considère seulement un usage, sont plus élevés que ceux associés aux bouteilles à usage unique. Le recyclage de verre est avantageux dans le cas où le verre à recycler n'a pas trop de contaminants.

## ***AGRADECIMENTOS***

Ao professor Dr. Carlos Costa, pela sua dedicação como orientador, por tudo o que me possibilitou aprender, pelo interesse, confiança e motivação que me transmitiu durante todas as etapas que constituíram a realização desta tese.

À Fundação da Ciência e Tecnologia (PRAXIS XXI) pelo seu suporte financeiro.

À Eng<sup>a</sup>. Fátima Poças, pela disponibilidade, pelo interesse, por tudo o que me possibilitou aprender e também pela sua colaboração neste trabalho.

A todas as pessoas contactadas nas empresas que forneceram os dados necessários à realização deste trabalho, por se terem disponibilizado a me receberem e por me terem possibilitado o acesso à informação.

Aos meus pais, pela força e confiança que sempre me transmitiram, por me terem dado a coragem e a possibilidade de atingir os meus objectivos.

Ao meu marido António Augusto, a quem dedico este trabalho, por tudo.

# Índice Geral

|                                                              | Pág.          |
|--------------------------------------------------------------|---------------|
| ÍNDICE GERAL .....                                           | VII           |
| LISTA DE TABELAS .....                                       | IX            |
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | XI            |
| <br><b>CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTOS .....</b>                    | <br><b>1</b>  |
| 1.1 INTRODUÇÃO .....                                         | 2             |
| 1.2 OBJECTIVOS .....                                         | 5             |
| 1.3 ESTADO DA ARTE .....                                     | 7             |
| 1.4 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....                           | 14            |
| 1.5 RECUPERAÇÃO DO VIDRO DE EMBALAGEM .....                  | 21            |
| 1.6 IMPORTÂNCIA DA QUESTÃO AMBIENTAL.....                    | 29            |
| <br><b>CAPÍTULO 2 – ESTUDO DE CASO .....</b>                 | <br><b>33</b> |
| 2.1 INTRODUÇÃO .....                                         | 34            |
| 2.2 <i>Definição do objectivo e do âmbito</i> .....          | 36            |
| 2.2.1 <i>Definição do objectivo do estudo</i> .....          | 36            |
| 2.2.2 <i>Definição do âmbito do estudo</i> .....             | 36            |
| 2.3 ANÁLISE DE INVENTÁRIO.....                               | 38            |
| 2.4 ANÁLISE DE IMPACTOS .....                                | 50            |
| 2.4.1 <i>Classificação</i> .....                             | 51            |
| 2.4.2 <i>Caracterização</i> .....                            | 52            |
| 2.4.3 <i>Avaliação</i> .....                                 | 55            |
| 2.5 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....                        | 57            |
| 2.6 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM ..... | 60            |
| 2.6.1 <i>Reciclagem</i> .....                                | 61            |
| 2.6.2 <i>Reutilização</i> .....                              | 66            |
| <br><b>CAPÍTULO 3 – CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO .....</b>   | <br><b>76</b> |
| 3.1 CONCLUSÕES .....                                         | 77            |
| 3.2 TRABALHO FUTURO.....                                     | 80            |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                              | 83            |

---

---

|                                                                      |                |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>ANEXO A – NORMAS AMBIENTAIS E RSU .....</b>                       | <b>88</b>      |
| A.1 NORMAS DE QUALIDADE AMBIENTAL .....                              | 89             |
| A.2 A RECOLHA SELECTIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....            | 97             |
| <br><b>ANEXO B - GUIA DA METODOLOGIA ACV .....</b>                   | <br><b>103</b> |
| B.1 ESTRUTURA GLOBAL DA METODOLOGIA DE ACV .....                     | 104            |
| B.2 DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E DO ÂMBITO .....                         | 106            |
| B.2.1 <i>Objectivo do estudo</i> .....                               | 106            |
| B.2.2 <i>Âmbito do estudo</i> .....                                  | 107            |
| B.3 ANÁLISE DE INVENTÁRIO .....                                      | 110            |
| B.4 ANÁLISE DE IMPACTOS.....                                         | 114            |
| B.4.1 <i>Classificação</i> .....                                     | 114            |
| B.4.2 <i>Caracterização</i> .....                                    | 115            |
| B.4.3 <i>Avaliação</i> .....                                         | 115            |
| B.5 ANÁLISE DE MELHORIAS E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS.....          | 118            |
| <br><b>ANEXO C - A INDÚSTRIA VIDREIRA .....</b>                      | <br><b>121</b> |
| C.1 PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES.....                           | 122            |
| C.2 NATUREZA DO VIDRO .....                                          | 125            |
| C.3 ESTRUTURA DO VIDRO.....                                          | 126            |
| C.4 TIPOS DE VIDRO .....                                             | 128            |
| C.5 COMPOSIÇÃO DO VIDRO DE EMBALAGEM.....                            | 131            |
| C.6 MATÉRIAS-PRIMAS .....                                            | 134            |
| C.7 PROPRIEDADES DO VIDRO.....                                       | 140            |
| C.7.1 <i>Propriedades Ópticas</i> .....                              | 142            |
| C.7.4 <i>Propriedades químicas</i> .....                             | 144            |
| C.7.5 <i>Propriedades mecânicas</i> .....                            | 145            |
| C.7.6 <i>Propriedades Térmicas</i> .....                             | 148            |
| C.8 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EMBALAGENS DE VIDRO .....                | 150            |
| C.8.1 <i>Preparação da Composição</i> .....                          | 150            |
| C.8.2 <i>Processo de Elaboração do Vidro</i> .....                   | 152            |
| C.8.3 <i>Processo de Fabrico da Embalagem de Vidro</i> .....         | 155            |
| C.8.5 <i>Tratamentos superficiais</i> .....                          | 165            |
| C.8.6 <i>Decoração ou rotulagem</i> .....                            | 167            |
| C.8.7 <i>Inspecção em linha</i> .....                                | 168            |
| C.9 PRINCIPAIS TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS EMBALAGENS DE VIDRO ..... | 170            |
| C.9.1 <i>Tipos de embalagens de vidro</i> .....                      | 170            |
| C.9.2 <i>Características das embalagens de vidro</i> .....           | 171            |
| C.10 PROCEDIMENTOS DE UTILIZAÇÃO.....                                | 174            |

---

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                   | Pág.      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabela 1 Produção de RSU (DGA, 1996).....</i>                                                                                                                                                  | <i>15</i> |
| <i>Tabela 2 Distribuição percentual dos diversos constituintes dos RSU.....</i>                                                                                                                   | <i>16</i> |
| <i>Tabela 3 Estimativas de produção de RSU em Portugal.....</i>                                                                                                                                   | <i>16</i> |
| <i>Tabela 4 Composição percentual dos RSU entre diferentes tipos de concelhos.....</i>                                                                                                            | <i>17</i> |
| <i>Tabela 5 Evolução da taxa de reciclagem de vidro em Portugal (AIVE, 1997).....</i>                                                                                                             | <i>24</i> |
| <i>Tabela 6 Recolha e reciclagem de Vidro na União Europeia.....</i>                                                                                                                              | <i>25</i> |
| <i>Tabela 7 Caracterização do sistema de embalagem usado para garrafas retornáveis e não-retornáveis.....</i>                                                                                     | <i>38</i> |
| <i>Tabela 8 Consumo de materiais para o processo de fabrico de garrafas de vidro.....</i>                                                                                                         | <i>40</i> |
| <i>Tabela 9 Consumo de água de arrefecimento no processo de fabrico das garrafas.....</i>                                                                                                         | <i>40</i> |
| <i>Tabela 10 Consumo de energia no processo de fabrico das garrafas de vidro.....</i>                                                                                                             | <i>41</i> |
| <i>Tabela 11 Águas residuais do processo de fabrico das garrafas de vidro.....</i>                                                                                                                | <i>41</i> |
| <i>Tabela 12 Emissões gasosas do processo de fabrico das garrafas de vidro.....</i>                                                                                                               | <i>42</i> |
| <i>Tabela 13 Resíduos sólidos do processo de fabrico das garrafas de vidro.....</i>                                                                                                               | <i>42</i> |
| <i>Tabela 14 Consumo de materiais de embalagem para o enchimento e condicionamento de garrafas.....</i>                                                                                           | <i>45</i> |
| <i>Tabela 15 Consumo de CO<sub>2</sub> para o enchimento de garrafas e produção de cerveja.....</i>                                                                                               | <i>45</i> |
| <i>Tabela 16 Consumo de agentes químicos.....</i>                                                                                                                                                 | <i>45</i> |
| <i>Tabela 17 Consumo de água nos processos descritos.....</i>                                                                                                                                     | <i>46</i> |
| <i>Tabela 18 Consumo de electricidade nos processos descritos.....</i>                                                                                                                            | <i>46</i> |
| <i>Tabela 19 Consumo de nafta nos processos descritos.....</i>                                                                                                                                    | <i>46</i> |
| <i>Tabela 20 Quantidade e composição das águas residuais.....</i>                                                                                                                                 | <i>46</i> |
| <i>Tabela 21 Emissões gasosas da central de co-geração, para uma eficiência térmica de 92,5% e 84,4% na produção de electricidade e vapor respectivamente, usando nafta como combustível.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Tabela 22 Resíduos sólidos inerentes dos processos de enchimento de garrafas e da ETAR.....</i>                                                                                                | <i>47</i> |
| <i>Tabela 23 Consumo de gasóleo no transporte de garrafas e casco de vidro.....</i>                                                                                                               | <i>48</i> |
| <i>Tabela 24 Lista de categorias de impacto seleccionadas por vários grupos de trabalho (Jensen et al., 1997).....</i>                                                                            | <i>50</i> |
| <i>Tabela 25 Volume crítico de ar associado à produção de garrafas de vidro (Habersatter, 1991).....</i>                                                                                          | <i>53</i> |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 26 Volume crítico de ar associado às operações efectuadas na cervejeira (Habersatter, 1991).....       | 53  |
| Tabela 27 Volume crítico de água associado à produção de garrafas de vidro (Habersatter, 1991) .....          | 54  |
| Tabela 28 Volume crítico de água associado às operações efectuadas na cervejeira (Habersatter, 1991) .....    | 54  |
| Tabela 29 Comparação das duas garrafas por categoria de impacto .....                                         | 55  |
| Tabela 30 Avaliação das diferentes categorias de impacto .....                                                | 56  |
| Tabela 31 Avaliação das diferentes categorias de impacto usando diferentes factores peso .....                | 57  |
| Tabela 32 Consumo de materiais em relação à quantidade de vidro reciclado .....                               | 61  |
| Tabela 33 Consumo de energia de fusão em relação à quantidade de vidro reciclado .....                        | 62  |
| Tabela 34 Emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado.....                                    | 63  |
| Tabela 35 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado .....                | 64  |
| Tabela 36 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado .....                | 65  |
| Tabela 37 Consumo de materiais de embalagem em relação à percentagem de garrafas retornáveis .....            | 66  |
| Tabela 38 Consumo de produtos de limpeza e desinfecção em função da percentagem de garrafas retornáveis ..... | 67  |
| Tabela 39 Consumo de água em função da percentagem de garrafas retornáveis.....                               | 68  |
| Tabela 40 Consumo de electricidade em função da percentagem de garrafas retornáveis .....                     | 69  |
| Tabela 41 Águas residuais em função da percentagem de garrafas retornáveis.....                               | 70  |
| Tabela 42 Volume crítico de água em função da percentagem de garrafas retornáveis .....                       | 71  |
| Tabela 43 Emissões gasosas em função da percentagem de garrafas retornáveis .....                             | 72  |
| Tabela 44 Volume crítico de ar em função da percentagem de garrafas retornáveis.....                          | 73  |
| Tabela 45 Resíduos sólidos gerados em função da percentagem de garrafas retornáveis .....                     | 74  |
| Tabela 46 Conjunto de normas da série ISO 14000 .....                                                         | 91  |
| Tabela 47 Composição básica do vidro de embalagem “convencional” (Tooley, 1984) .....                         | 131 |
| Tabela 48 Composição aproximada de alguns vidros comerciais típicos, do tipo sodo-cálcico (Tooley, 1984)..... | 132 |
| Tabela 49 Alterações nas propriedades do vidro com o aumento da quantidade de óxidos (Tooley, 1984) .....     | 133 |
| Tabela 50 Corantes usados no vidro (British Glass, 1996) .....                                                | 137 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                      | Pág.      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figura 1 Fases da metodologia de ACV (ISO 14040, 1997).....</i>                                                   | <i>3</i>  |
| <i>Figura 2 Processo industrial de fabrico de garrafas de vidro.....</i>                                             | <i>23</i> |
| <i>Figura 3 Diagrama de uma Estação de Tratamento de casco (Maltha, 1993).....</i>                                   | <i>28</i> |
| <i>Figura 4 Fronteira do sistema representando o ciclo-de-vida das garrafas retornável e não-retornável.....</i>     | <i>37</i> |
| <i>Figura 5 Débitos de entrada e saída dos processos associados à produção de garrafas de vidro.....</i>             | <i>39</i> |
| <i>Figura 6 Representação do processo de fabrico de garrafas de vidro .....</i>                                      | <i>39</i> |
| <i>Figura 7 Débitos de entrada e saída dos processos considerados na cervejeira.....</i>                             | <i>43</i> |
| <i>Figura 8 Linha de enchimento de garrafas de tara retornável .....</i>                                             | <i>43</i> |
| <i>Figura 9 Linha de enchimento de garrafas de tara perdida .....</i>                                                | <i>43</i> |
| <i>Figura 10 Transporte considerado para o cálculo do consumo de combustível.....</i>                                | <i>47</i> |
| <i>Figura 11 Dimensão de cada categoria de impacto .....</i>                                                         | <i>56</i> |
| <i>Figura 12 Dimensão de cada categoria de impacto com o uso de diferentes factores peso .....</i>                   | <i>58</i> |
| <i>Figura 13 Consumo de materiais em relação à quantidade de vidro reciclado .....</i>                               | <i>61</i> |
| <i>Figura 14 Consumo de energia de fusão em relação à quantidade de vidro reciclado.....</i>                         | <i>62</i> |
| <i>Figura 15 Emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado.....</i>                                    | <i>63</i> |
| <i>Figura 16 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado .....</i>                | <i>64</i> |
| <i>Figura 17 Volume crítico de ar em função da quantidade de vidro reciclado.....</i>                                | <i>65</i> |
| <i>Figura 18 Consumo de materiais de embalagem em função da percentagem de garrafas retornáveis.....</i>             | <i>66</i> |
| <i>Figura 19 Consumo de produtos de limpeza e desinfecção em função da percentagem de garrafas retornáveis .....</i> | <i>67</i> |
| <i>Figura 20 Consumo de água em função da percentagem de garrafas retornáveis.....</i>                               | <i>68</i> |
| <i>Figura 21 Consumo de electricidade em função da percentagem de garrafas retornáveis .....</i>                     | <i>69</i> |
| <i>Figura 22 Água residuais em função da percentagem de garrafas retornáveis .....</i>                               | <i>70</i> |
| <i>Figura 23 Volume crítico de água em função da percentagem de garrafas retornáveis .....</i>                       | <i>71</i> |
| <i>Figura 24 Emissões gasosas em função da percentagem de garrafas retornáveis.....</i>                              | <i>72</i> |
| <i>Figura 25 Volume crítico de ar em função da percentagem de garrafas retornáveis.....</i>                          | <i>73</i> |
| <i>Figura 26 Resíduos sólidos gerados em função da percentagem de garrafas retornáveis .....</i>                     | <i>74</i> |

---

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Figura 27 Esquema teórico do procedimento para a metodologia de Análise de Ciclo-de-vida (SETAC 1991, 1993 e 1994).....</i> | <i>105</i> |
| <i>Figura 28 Representação esquemática de um sistema simples (SETAC, 1991).....</i>                                            | <i>108</i> |
| <i>Figura 29 Definição da fronteira de um sistema de embalagem (CEN/TC 261/SC4/WG1 N 44, 1994). ....</i>                       | <i>109</i> |
| <i>Figura 30 Representação da viscosidade do vidro de embalagem em função da temperatura. ....</i>                             | <i>141</i> |
| <i>Figura 31 Representação esquemática de uma fornecedora, indicando as principais áreas .....</i>                             | <i>156</i> |
| <i>Figura 32 Processo soprado-soprado do fabrico de garrafas de vidro.....</i>                                                 | <i>159</i> |
| <i>Figura 33 Processo prensado-soprado de fabrico de potes de vidro.....</i>                                                   | <i>161</i> |
| <i>Figura 34 Representação esquemática da curva temperatura versus tempo de recozimento de embalagens de vidro ....</i>        | <i>165</i> |
| <i>Figura 35 Esquema do processo de tratamento superficial a quente e a frio para embalagens de vidro.....</i>                 | <i>166</i> |

---

---

# **Capítulo 1 – Fundamentos**

---

## **1.1 Introdução**

A tomada de consciência, na década de 80, dos impactos ambientais associados ao condicionamento de bens e serviços, renovou o interesse pelo desenvolvimento e aplicação de métodos para melhor compreender e reduzir as consequências negativas das actividades humanas no ambiente.

Nos anos mais recentes, foi aceite a ideia de que os métodos e técnicas têm de encorajar uma avaliação abrangente dos efeitos de todas as correntes da actividade ou produto sob estudo. O conceito de ciclo-de-vida, também chamado “do berço à sepultura”, influenciou e fez ganhar forma muitas técnicas de aproximação e cálculo, estudo e melhoria do desempenho ambiental dos produtos e sistemas de produção.

A análise de ciclo-de-vida (ACV) também referida como eco-balanço, é definida pela SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, EUA e Europa) como uma metodologia objectiva para a avaliação dos impactos ambientais associados ao uso de um produto, a um processo produtivo, a actividades ou a um sistema em geral, dentro de limites bem definidos. O estudo compreende o ciclo-de-vida completo do produto, processo, ou actividade, incluindo a extracção e processamento de matérias-primas, manufactura, transporte, distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem e rejeição final (Consoli et al, 1993). A ordem de trabalhos para o método de ACV compreende a definição do objectivo e do âmbito, a análise de inventário, a análise de impacto e a análise de melhorias.

Actualmente a metodologia de ACV é descrita pela norma ISO 14040 e normas complementares 14041, 14042 e 14043, que ainda se encontram em desenvolvimento. Segundo esta norma, a metodologia de ACV deve ser flexível ao ponto de permitir melhorias no seu “estado-da-arte”.

A Figura 1 representa a interligação existente entre as várias fases da metodologia de ACV, tal como é descrita pela norma ISO 14040. Esta representação ilustra o carácter interactivo e iterativo das várias fases da metodologia de ACV.

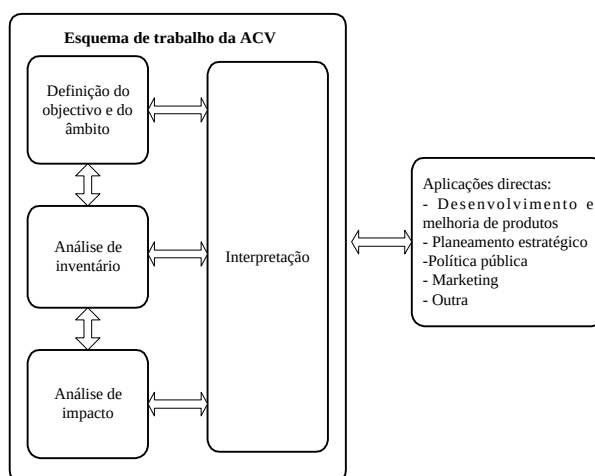


Figura 1 Fases da metodologia de ACV (ISO 14040, 1997).

A embalagem e em particular a embalagem para alimentos e bebidas, é considerada um factor de desenvolvimento sócio-económico das sociedades, com inúmeros benefícios, nomeadamente a minimização de perdas dos produtos, a sua conservação e acessibilidade. No entanto, o impacto ambiental e a gestão dos resíduos de embalagem são uma preocupação crescente dos fabricantes, comerciantes, distribuidores, consumidores e órgãos legislativos. A nível Europeu a Directiva EC/62/94 estabelece medidas para prevenir e reduzir o impacto das embalagens no ambiente e medidas para a gestão adequada dos seus resíduos. Esta Directiva foi transposta para a legislação nacional pelo Decreto-Lei 322/95 e Portaria 313/96, recentemente substituído pelo Decreto-Lei 366-A/97. A Directiva prevê (entre outros) a elaboração de normas europeias para a padronização de critérios e metodologias de ACV que sustentem medidas de prevenção do impacto ambiental das embalagens. Os objectivos de valorização e reciclagem previstos, são os seguintes:

- valorizar um mínimo de 25% em peso dos resíduos de embalagem até 31/12/2001;

- valorizar um mínimo de 50% em peso dos resíduos de embalagem, reciclar um mínimo de 25% em peso da totalidade dos materiais de embalagem contidos nos resíduos de embalagem, reciclar um mínimo de 15% para cada material de embalagem até 31/12/2005.

Cada vez mais existe a necessidade de as empresas se comprometerem com uma política ambiental, integrada na sua visão estratégica, em consequência das pressões da legislação e do mercado. Tal, reforça a necessidade de se desenvolver e usar metodologias de análise, com critérios objectivos e com fundamento científico. Estas metodologias constituem ferramentas de suporte à tomada de decisões em aspectos ambientais e particularmente adequadas ao contexto nacional.

Apesar da embalagem ser na sociedade moderna um elemento de essencial importância no desempenho das suas funções, esta vê-se envolvida muitas vezes, no meio de mitos, factos e realidades. Exemplos de alguns mitos existentes e que fazem parte das percepções públicas em relação às embalagens são os seguintes: “quantidade a aumentar; tratamento dos resíduos com métodos poluentes; desperdício de energia e de materiais; não é reutilizada nem reciclada; deve ser biodegradável; contribui para a poluição”. Estes mitos adquirem muitas vezes maior importância do que os benefícios que a embalagem comporta. Por vezes os mitos sobrepõem-se aos factos e realidades quando os dados existentes, conhecidos e quantificados são incompletos. Em diversas áreas nas quais a embalagem tem impacto no ambiente, só existe uma quantidade limitada de dados factuais. As opiniões e perspectivas subjectivas abundam e são interpretadas como factos. Muitas vezes quando existem factos, estes são ignorados e conduzem a percepções erradas, por exemplo a percepção do consumidor quanto à contribuição para os resíduos totais, dos resíduos domésticos, ou a percepção de que a recuperação e a reciclagem são benéficas para o ambiente. Até aos anos 80, a indústria preocupava-se com aspectos particulares, como: lixo, embalagem retornável versus não-retornável. Agora há a necessidade de uma abordagem integrada e confrontada com uma consciência limitada dos benefícios e das funções que a embalagem comporta (Levy, 1993).

A ACV localiza os impactos ambientais do sistema em estudo nas áreas da saúde ecológica, saúde humana e depleção dos recursos. Tal como outros modelos científicos, a ACV é uma simplificação de um sistema físico e não pode providenciar uma representação completa e absoluta de todas as interacções ambientais (Jönson, 1996). Não existe uma metodologia única, científica e de aplicabilidade e aceitação gerais. A credibilidade dos estudos de ACV reside na definição correcta das fronteiras do sistema considerado, na fiabilidade dos dados e na metodologia de avaliação usada.

## **1.2 Objectivos**

O presente trabalho tem como principal objectivo, usar a metodologia de ACV, para comparar a reutilização e a reciclagem das garrafas de cerveja de 0,33 litros de tara retornável e de tara perdida. Numa primeira fase, este trabalho visa encontrar as mais relevantes disfunções, comparando os dois processos (reutilização e reciclagem), segundo o ciclo-de-vida dos dois tipos de embalagens de vidro envolvidos.

Como objectivos secundários pretende-se:

- providenciar uma representação o mais completa possível das interacções de uma actividade com o ambiente,
- contribuir para a compreensão da natureza global e interdependente das consequências ambientais das actividades humanas,
- fornecer a quem toma decisões, informação que defina os efeitos no ambiente dessas actividades e identifique oportunidades de melhorias a nível ambiental,
- testar a fiabilidade e a aplicabilidade da metodologia de ACV como instrumento de gestão ambiental,
- aprofundar o conhecimento da situação nacional no que respeita às garrafas de vidro para cerveja,
- compreender as principais diferenças entre os dois processos, reutilização e reciclagem.

Para tal, pretende-se desenvolver neste trabalho, as seguintes etapas do método de ACV:

- elaborar um inventário de ciclo-de-vida, identificando e quantificando todas as correntes de entrada e saída do sistema em estudo, em termos de energia ou de materiais necessários associados a cada etapa de produção, uso e tratamento final de um produto,
- elaborar uma avaliação dos impactos ambientais mais relevantes de todo o ciclo-de-vida, associados às correntes de entrada e saída do sistema,
- interpretar os resultados do inventário efectuado e das análises de impacto ambiental, de modo a permitir que no futuro próximo se possam implementar medidas que reduzam os impactos ambientais, introduzam melhorias no produto, processo ou actividade, ou de forma geral, que cumpram os objectivos propostos para o sistema em estudo.

A escolha da embalagem de vidro para estudo neste trabalho deve-se à grande versatilidade do material (vidro) para os processos de reutilização e reciclagem. Esta é mesmo considerada a embalagem ideal para estes processos, uma vez que a composição química do vidro quase não sofre alterações quando submetido a fusões sucessivas.

## 1.3 Estado da Arte

Uma das metodologias mais reconhecidas e aceite internacionalmente para examinar o desempenho ambiental é a metodologia de Análise de Ciclo-de-vida. Durante mais de 20 anos, várias organizações desenvolveram estudos de ACV com aplicações diversas. Uma das aplicações originais da ACV era a de suporte à tomada de decisão na escolha de produtos, sistemas ou serviços através da análise da respectiva eficiência energética ou do consumo de materiais e, em alguns casos, poderia abranger a deposição de resíduos sólidos (Barnthouse, 1998).

Os primeiros estudos reconhecidos como estudos de Análise de Ciclo-de-Vida datam do final dos anos 60 e princípio dos anos 70 nos EUA. Neste período, questões ambientais tais como a depleção dos recursos naturais e das fontes de energia, controlo da poluição e dos resíduos sólidos, tornaram-se preocupações de domínio público. Os estudos de ACV começaram a ser efectuados como estudos comparativos entre embalagens de um determinado material e de materiais alternativos, com o mesmo fim. Estes estudos basearam-se na compilação do maior conjunto possível de dados relevantes sobre todo o ciclo-de-vida dos materiais, desde a produção das matérias-primas até à eliminação completa da embalagem usada. Estas comparações ecológico/económicas ofereceram a primeira oportunidade de determinar, fundamentada em argumentos objectivos e não apenas emocionais, quais os materiais mais adequados para certos tipos de embalagens.

Actualmente, a ACV tem inúmeras aplicações devido ao seu grande desenvolvimento e experiência adquirida (Allen, 1995). Algumas das possíveis aplicações da ACV são listadas a seguir:

- desenvolver estratégias ambientais numa empresa,
- avaliar alguns dos efeitos da reciclagem e dos componentes reciclados,
- estabelecer uma base sustentável para desenvolvimento ambiental,
- comparar produtos já existentes a alternativos,
- seleccionar projectos alternativos para produtos ou processos
- estudar propostas de novos produtos, processos ou sistemas de embalagem,
- estudar mudanças em produtos,
- comparar diferentes projectos alternativos,
- avaliar propostas de mudança em processos,
- considerar os efeitos da reciclagem ou da reutilização,
- avaliar a situação ambiental da empresa do ponto de vista competitivo,
- assistir na implementação de objectivos ambientais na empresa,
- providenciar uma base de dados para comparação em futuras operações empresariais,
- educar os fornecedores e os utilizadores dos produtos,
- estabelecer comunicação com os fornecedores,
- estabelecer comunicação com os utilizadores,
- estabelecer comunicação com os regulamentadores.

Para a maior parte das aplicações, o facto de não existir ainda um consenso internacional ou normas internacionais para aplicação da metodologia de ACV, tornou os resultados de muitos estudos não comparáveis e variáveis. O desenvolvimento de um consenso internacional para conduzir estudos de ACV iniciou-se em 1990 pela “Society of Environmental Toxicology and Chemistry” (SETAC) e tem sido desde então seu objectivo, harmonizar estes métodos. Devido ao interesse crescente em conduzir estudos de ACV, foram editadas pelo SETAC algumas regras ou guias no seu livro “Code of Practice” (Consoli et al, 1993) providenciando uma metodologia para conduzir estudos ACV. Além da SETAC, a “Environmental Protection Agency” (EPA) e a “International Standard Organization” (ISO) têm desenvolvido manuais e procedimentos para a execução de ACV aplicados à área da embalagem (Fava et al, 1991, 1993, 1994; Consoli et al, 1993; EPA, 1993, 1994, 1995a, b e c; CEN, 1994; ISO, 1997). A metodologia de ACV encontra-se descrita no Anexo B deste trabalho.

Como todas as técnicas têm limitações é importante entender as que estão presentes na metodologia de ACV. Algumas dessas limitações encontram-se listadas a seguir:

- a natureza das escolhas e hipóteses assumidas na ACV (p.ex. definição da fronteira do sistema, selecção das fontes dos dados e das categorias de impacto) podem ser subjectivas,
- o esquema de trabalho científico e metodológico para a efectuar a etapa de análise de impactos ainda se encontra em discussão e desenvolvimento entre os vários grupos de trabalho,
- os vários modelos existentes para se efectuar a análise de impactos encontram-se em diferentes etapas de desenvolvimento,
- não existe uma metodologia globalmente aceite, para traduzir os dados do inventário em medidas de impacto ambiental,
- existe ainda muita subjectividade na fase de análise de impactos no que se refere à natureza das escolhas, modelo adoptado e avaliação das categorias de impacto,
- os modelos usados para a análise de inventário e para a avaliação dos impactos ambientais são limitados pelas suas hipóteses e não estão disponíveis para todos os impactos potenciais ou aplicações, por isso a transparência é um ponto crítico na análise de impactos para garantir que todas as hipóteses são claramente descritas e transmitidas,
- os resultados da ACV com aplicação global ou regional podem não ser apropriados para aplicação local, i.e., as condições locais podem não ser representadas de forma adequada por condições regionais ou globais,
- a exactidão dos estudos de ACV pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados relevantes e de boa qualidade, p.ex., falhas de dados, tipos de dados, estimativas, médias e dependência local,
- a falta das dimensões espacial e temporal dos dados de inventário usados na análise de impacto introduz incertezas nos resultados. Estas incertezas variam de acordo com as características espaciais e temporais de cada categoria de impacto,
- os resultados do estudo de ACV por si só não são suficientes para se tomarem decisões. Devem-se sempre ter em atenção considerações ambientais, técnicas, económicas e sociais.

Não é possível basear uma metodologia em regras estanques, em todos os seus aspectos. A ACV é um método complexo e multidimensional que ainda se encontra em desenvolvimento, ganhando forma e experiência nas novas aplicações que vêm sendo efectuadas. Nenhum sistema de

actividade industrial pode ser facilmente estudado sem que se procedam a simplificações de modo a manter a análise em proporções manuseáveis. A forma correcta de se efectuarem estas simplificações ou, o nível de detalhe correcto que se pretende atingir, dependerá do objectivo de cada estudo de forma independente.

A remodelação actual no projecto de um produto não faz parte da ACV, é apenas uma das suas aplicações. Os resultados de todas as etapas de ACV providenciam, ao projectista do processo/produto, informação dos impactos ambientais do sistema e frequentemente posicionam o utilizador nas partes da operação, em que existe uma melhor oportunidade de melhorar o seu desempenho ambiental. A metodologia de ACV é muitas vezes aplicada em estudos de natureza mais restrita, por exemplo, para estudar um parâmetro ambiental em particular, tal como a energia através do ciclo-de-vida ou, alternativamente, para examinar os impactos ambientais originados pelas etapas seleccionadas do ciclo-de-vida. A ACV é um instrumento de gestão ambiental tal como a análise de riscos, a análise de tecnologias, auditorias ambientais, transporte de produtos e gestão de sistemas, etc.; cada uma destas técnicas deve ser usada apenas quando for apropriada (EPA, 1995a).

A metodologia de ACV desenvolve-se nas seguintes etapas (Consoli et al., 1993):

- definição do objectivo e do âmbito;
- análise de inventário;
- análise de impacto, que compreende as subcomponentes: classificação, caracterização e avaliação;
- síntese de melhorias.

A definição do objectivo e do âmbito é parte integrante do procedimento a seguir. O estudo deve ser conduzido de forma compreensível, devendo-se previamente definir os requisitos necessários para a elaboração do relatório e da comunicação dos resultados. O objectivo e o âmbito do estudo condicionam a sua orientação e profundidade, assim como os requisitos do relatório e apresentação dos resultados.

A fase de análise de inventário envolve a compilação completa da informação quantitativa e qualitativa dos dados de todas as correntes de entrada e saída de um sistema em estudo. Esta fase da metodologia de ACV é a que se encontra mais bem documentada e melhor compreendida. Isto porque durante mais de 20 anos várias empresas e instituições efectuaram estudos, elaboraram bases de dados e versões electrónicas com dados normalizados das correntes de entrada e saída de vários processos de fabrico (BUWAL, 1991; BUWAL, 1997; Hunt, 1974; Franklin Associates Ltd., 1978, 1989, 1990; Hagerop, 1990; Jönson, 1996; Lox, 1994; Lundholm, 1986, 1989). Muita

informação útil provém dos resultados da fase de inventário e muitos estudos são conduzidos até ao limite dos dados disponíveis. As bases de dados podem servir de ponto de partida para estudos de ACV, quando não existam dados disponíveis ou dada a morosidade na obtenção destes. No entanto, para estudos efectuados com objectivos muito específicos, é imprescindível a recolha de dados reais. Não existem bases de dados completas e é também muito importante a fiabilidade e qualidade dos dados usados.

A análise de impacto posiciona os dados do inventário, entradas e saídas e outra informação, em perspectiva. Sem uma análise dos impactos ambientais, das emissões gasosas, líquidas e sólidas, assim como dos consumos de recursos é difícil de entender a relevância do ponto de vista ambiental, das correntes de entrada e saída do sistema ou a vantagem de efectuar melhorias no sistema. A fase de Análise de Impactos foi definida conceptualmente mas ainda não se encontra completa, i.e., não se chegou ainda a um acordo quanto à metodologia para transpor os resultados do inventário em medidas dos impactos ambientais, sendo para tal, correntemente usados diferentes métodos e aproximações, como por exemplo o método dos volumes críticos (Habersatter, 1991) ou o sistema EPS (Steen & Ryding, 1992; Steen, 1994,1995,1996) entre outros. A análise da importância relativa dos impactos ambientais envolve inevitavelmente julgamento de valores os quais, pela sua natureza, não podem ser expressos segundo regras ou critérios universais. As áreas de protecção abrangidas pela componente do método, análise de impactos, são (SETAC, 1993):

- escassez de recursos não-renováveis,
- escassez de recursos renováveis,
- aquecimento global ou "efeito de estufa",
- depleção da camada de ozono,
- toxicidade para o Homem,
- toxicidade para o ambiente,
- acidificação,
- eutrofização,
- formação de oxidantes fotoquímicos,
- descargas de CQO,
- ocupação do solo,
- resíduos sólidos perigosos,

- águas residuais,
- ruído,
- odores.

Na análise de melhorias são interpretados os resultados das fases anteriores permitindo não só reconhecer possibilidades de minimização dos impactos ambientais gerados, como também possibilitando a identificação, avaliação e selecção de opções de preferência ambiental nos produtos ou processos. Tanto a melhoria da eficiência das entradas e saídas (tal como a necessidade de pouca energia ou bons resultados de produção) e opções de preferência ambiental (tal como uso de menos recursos e redução de emissões) podem oferecer oportunidades de protecção ambiental. Ainda não se chegou a um consenso no método da análise de melhorias. Foram efectuadas apenas algumas análises de melhorias fundamentadas em estudos de ciclo-de-vida (Consoli et al., 1993).

Existe um número considerável de estudos efectuados segundo a metodologia de ACV, muitos dos quais, aplicados à embalagem com objectivos variados (BUWAL, 1991; BUWAL, 1997; Bousted, 1995; Curran, 1996; Franklin Associates Ltd., 1978, 1989, 1990; Fink, 1991; Habersatter, 1991; Hagerop, 1990; Hudo de Haes, 1996; Kooijman, 1993, 1994, 1996; Lox, 1994; Lundholm & Sundström, 1986, 1989; Mekel, 1990; Schaltegger, 1996; Tellus Institute for Council of State Government, 1991; UNEP, 1996; Vignon, 1988). Ainda não existe referência a estudos deste tipo efectuados em Portugal.

Um grande número de instituições governamentais, regulamentares e de normalização encontram-se activas na área da ACV e sua aplicação à embalagem, com publicações e bases de dados, devendo ser referidos:

- EPA - U.S. Environmental Protection Agency, EUA (Internet: <http://www.epa.gov>),
- EMAS - European Community's Eco-Management & Audit Scheme (Comissão da Comunidade Europeia),
- ISO - International Organization for Standardization, Suíça (Internet: <http://www.iso14000.com>),
- CEN - Comité Européen de Normalisation (Bélgica),
- SETAC - Society of Environmental Toxicology And Chemistry, EUA e Europa (Internet: <http://www.setac.org>),
- SPOLD – Society for the Promotion of LCA Development,

- Nordic Council of Ministers (Copenhaga)
- BSI-British Standards Institution, Technical Committee on Life Cycle Assessment, Reino Unido (Internet: <http://www.bsi.org.uk>).
- Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape, FOEFL ou BUWAL e o SVI-Swiss Packaging Institute (Suíça; Email: BUWAL [250@ecosite.co.uk](mailto:250@ecosite.co.uk)),
- EUROPEN- European Organization for Packaging and the Environment (Bélgica),
- INCPEN-Industry Council for Packaging and the Environment (Reino Unido),
- FhILV-Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (Alemanha),
- Franklin Associates, Ltd. ( Kansas - EUA; Email: [franklin@qni.com](mailto:franklin@qni.com)),
- Pira International (Surrey - Reino Unido, <http://www.pira.co.uk>),
- TNO-Centre for Packaging and Polymer Research (Delft, Holanda),
- CML-Centre for Environmental Science at the University of Leiden (Leiden, Holanda, <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lcanet/hp22.htm>),
- SB Young Consulting (CA) (<http://www.io.org/~lca>),

Estes são apenas alguns exemplos da grande diversidade de organismos, instituições e grupos activos na área da análise de ciclo-de-vida e com tendência ao seu número vir a aumentar. O que só prova que a metodologia de ACV é universalmente reconhecida e aceite como possuidora de inúmeras potencialidades, numa perspectiva de desenvolvimento e aplicações úteis em vastas áreas.

## **1.4 Resíduos Sólidos Urbanos**

É no amplo terreno das mudanças económicas e nos hábitos e padrões de consumo, que surge o debate contemporâneo em torno da necessidade de repensar todo o problema dos impactos ambientais gerados por uma sociedade. Em virtude da sua relação predatória e consumista para com os recursos naturais, a sociedade não poderia deixar de ser uma fonte de elevadas e perigosas quantidades de resíduos. Mundialmente, a produção de grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos, RSU, a sua deposição e/ou eliminação em condições inadequadas, tem provocado gravíssimos problemas ambientais e de saúde pública. No sentido de tentar corrigir essa situação, levaram-se a cabo experiências, em particular nos países mais industrializados, fomentando tanto a redução como uma mais conveniente gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Os resíduos provenientes da Embalagem são cada vez mais vistos como uma ameaça à qualidade do ambiente. Apesar da Embalagem desempenhar um papel fundamental no transporte, distribuição e venda de produtos, esta constitui uma percentagem considerável dos RSU, sendo também uma das principais fontes de lixo. Os aspectos ambientais associados têm recebido uma atenção crescente por parte dos fabricantes, comerciantes, distribuidores, consumidores e órgãos legislativos. A União Europeia reconheceu este facto ao constatar que a percentagem de resíduos de embalagens, na totalidade da corrente dos resíduos urbanos, se aproxima dos 30%, chegando em alguns países a ultrapassar os 40%. A redução dos resíduos é uma condição necessária para o crescimento sustentável expressamente mencionado no Tratado da União Europeia, reduzindo ou mesmo evitando, o seu impacto ambiental. Deste modo, na Directiva EC/62/94 do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Dezembro de 1994, relativa à gestão de embalagens e resíduos de

embalagens, foi incluído como princípio fundamental, a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização dos resíduos. Nesta, estabelecem-se metas de reciclagem:

- valorizar um mínimo de 25% em peso dos resíduos de embalagem até 31/12/2001;
- valorizar um mínimo de 50% em peso dos resíduos de embalagem, reciclar um mínimo de 25% em peso da totalidade dos materiais de embalagem contidos nos resíduos de embalagem, reciclar um mínimo de 15% para cada material de embalagem até 31/12/2005.

De acordo com esta directiva europeia, Portugal goza de uma situação privilegiada, juntamente com a Grécia e a Irlanda, e a sua meta de reciclagem dos resíduos de embalagens poderá variar desde 12,5% até 29,3% da quantidade total de resíduos de embalagens, com uma quota mínima de 15% para cada material individualizado (vidro, papel, plástico, metal ferroso, alumínio). Refere ainda o estudo de análise do ciclo-de-vida da embalagem com o fim de estabelecer uma hierarquia bem definida entre embalagens reutilizáveis, recicláveis e valorizáveis. Esta directiva foi posteriormente transposta para o ordenamento jurídico nacional, com o Decreto-Lei 322/95 e Portaria 313/96, recentemente substituídos pelo Decreto-Lei 366-A/97 e Portaria 29-B/98, que aponta para o cumprimento da exigência mais baixa, permitida pela directiva e define dois sistemas de manuseamento e gestão das embalagens, o sistema de consignação e o sistema integrado. O sistema de consignação será o mais apropriado para os casos de reutilização e deve ser preferido, por razões de prevenção primária, em pontos fixos e espaços afins, bem como em situações individualizadas ou como opção de marketing. O sistema integrado englobará a maior parte das embalagens do mercado e vai necessitar de um empenhamento especial da parte dos Municípios e das empresas recicladoras. A Portaria das embalagens aprovada pelo Governo, disciplina este importante aspecto da gestão de resíduos.

O estudo “Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos e Inventariação dos Locais de Deposição em Portugal” de 1993 (adiante denominado estudo Característico dos RSU) realizado pela QUERCUS - Associação Nacional de Conservação da Natureza em Outubro de 1995, revelou as estimativas da Tabela 1 para o total da produção de RSU.

Tabela 1 Produção de RSU (DGA, 1996)

| Características da População | População (habitantes) | Produção (toneladas) | Capitação (g/hab.dia) |
|------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| População com recolha        | 8 739 734              | 2 949 308            | 925                   |
| População total              | 9 371 346              | 3 148 772            | 925                   |

De acordo com o mesmo estudo, a distribuição percentual dos diversos constituintes dos RSU foi estimada como se mostra na Tabela 2. Do total dos RSU, 42,8% são materiais de embalagem, o que já constitui uma percentagem considerável.

Tabela 2 Distribuição percentual dos diversos constituintes dos RSU  
(DGA; 1996)

| Materiais nos RSU      | %    |
|------------------------|------|
| Papel / Cartão         | 22,3 |
| Vidro                  | 4,9  |
| Plástico               | 12,7 |
| Metais                 | 2,9  |
| Materiais fermentáveis | 36,0 |
| Têxteis                | 3,7  |
| Finos                  | 12,9 |
| Outros                 | 4,6  |

Numa perspectiva evolutiva, tem-se verificado um aumento significativo da produção de RSU, segundo dados da DGA (1980 a 1990) e dados do estudo Característico dos RSU (1993), como mostra na Tabela 3.

Tabela 3 Estimativas de produção de RSU em Portugal  
(DGA, 1996)

| Ano                             | 1980  | 1987  | 1990  | 1993  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Produção (10 <sup>6</sup> ton.) | 1,946 | 2,627 | 2,969 | 3,149 |
| Capitação (kg/hab. dia)         | 0,573 | 0,707 | 0,766 | 0,925 |

Os dados da Tabela 4 permitem verificar que há diferenças significativas ao nível das percentagens de papel e cartão, consideravelmente mais elevadas no caso das populações definidas como litorais (cerca de 4,5%) e variações menos significativas, nos componentes matérias fermentáveis (cerca de 1,2% inferior), plásticos (cerca de 1,5% superior), metais e têxteis (cerca de 2,5% e 1% inferior, respectivamente).

A reciclagem dos vários tipos de materiais, à excepção do vidro que tem apresentado uma evolução mais favorável, continua a apresentar valores muito reduzidos.

Tabela 4 Composição percentual dos RSU entre diferentes tipos de concelhos  
(DGA, 1993)

| Região                 | Interior        | Litoral           |
|------------------------|-----------------|-------------------|
|                        | Baixa densidade | Elevada densidade |
| Papel / Cartão         | 18,5            | 23,0              |
| Vidro                  | 4,8             | 4,9               |
| Plástico               | 11,4            | 13,0              |
| Metais                 | 4,9             | 2,5               |
| Materiais fermentáveis | 37,1            | 35,9              |
| Têxteis                | 4,4             | 3,5               |
| Finos                  | 14,0            | 12,7              |
| Outros                 | 4,8             | 4,5               |

O princípio poluidor-pagador é invocado por vezes de forma errada quando endereça para a indústria a total responsabilidade do descarte dos resíduos. Na verdade, desde o fornecedor das matérias-primas até ao que trata os resíduos, incluindo o produtor de embalagem, o embalador, o fabricante do produto, o distribuidor, o vendedor e o consumidor, estão todos envolvidos. A responsabilidade partilhada tem vindo a ganhar força a nível legislativo e na mentalidade de todos os intervenientes no ciclo-de-vida da embalagem. Os custos da prevenção e controlo da poluição devem ser reflectidos no custo dos bens ou serviços que causam poluição na produção ou consumo (Levy, 1993). A qualidade do ambiente não é grátis devendo os produtos suportar os custos dos seus impactos ambientais, o que ainda não acontece por serem difíceis ou quase impossíveis de quantificar em medidas monetárias. Isto deve-se à existência de muitos juízos de valor, ou porque não são revelados os verdadeiros custos de muitos factores envolvidos, ou pela existência de problemas que continuam sem solução.

A indústria de embalagem opera e produz em resposta a pressões de mercado. A história mostra que a evolução tem sido em função das exigências do consumidor. O facto da indústria se adaptar às exigências do mercado coloca-a em boa posição para lidar com as questões ambientais, dado esta característica ser uma marca de evolução e muitas vezes de revolução, face a todas as dificuldades envolvidas. Uma vez que os problemas ambientais têm impacto local, regional e global, deve haver parceria entre as empresas. Destas parcerias são exemplos as actividades da ERRA - European Recovery and Recycling Association (sediada em Bruxelas), assim como os vários fóruns nacionais e europeus de embalagem e ambiente, nos quais os competidores, fornecedores e clientes procuram em conjunto, resolver os problemas ambientais mais comuns, que estão acima das interacções económicas normais, assim como das diferenças sectoriais. Exemplos de algumas destas organizações são:

- EUROPEN - the European Organization for Packaging and the Environment, Bélgica.
- AGVU - Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt, Alemanha.
- EMSA - Emballage & Samfund, Dinamarca.
- INCPEN - Industry Council for Packaging and the Environment, Reino Unido.
- SVM - Stichting Verpakking en Milieu, Holanda.

Os esforços que têm sido efectuados, quer quanto aos objectivos do Quinto Programa Comunitário de Acção para o Ambiente, quer no que diz respeito à Directiva EC/62/94 sobre embalagens continuam a prosseguir no sentido de melhorar a situação ambiental. O Quinto Programa considera como objectivo para o ano 2000 uma percentagem média comunitária de reciclagem e reutilização de materiais de embalagem da ordem, dos 50%, continuando a considerar a incineração como uma das modalidades de “eliminação segura” dos resíduos que não podem ser reutilizados ou reciclados, apesar de todos os conhecidos problemas sanitários e ambientais, associados à produção de dioxinas e metais pesados (Comissão das Comunidades Europeias, 1992).

A consciência dos problemas ambientais traduz-se na exigência de enfrentar o problema da gestão dos resíduos gerados. Os objectivos fundamentais de uma política integrada de gestão de resíduos traduzem-se prioritariamente na prevenção da sua produção, na redução do seu peso e volume, na maximização das quantidades recuperadas para valorização, bem como na adopção de métodos e processos de eliminação adequados, tendo em vista a minimização dos resíduos depositados em aterro. Todos os resíduos produzidos numa comunidade urbana, com excepção das pequenas quantidades de resíduos perigosos domésticos e dos resíduos hospitalares, deverão passar a ser identificados também pelas suas características de reciclabilidade, a fim de permitir uma mais fácil triagem na origem e dar lugar a um mais alargado emprego dos tratamentos biológicos da fracção orgânica, mediante processos aeróbios ou anaeróbios. Estes objectivos são válidos para a generalidade dos resíduos e, especialmente, para os resíduos de embalagens, dado que a redução desses resíduos é uma condição necessária para um crescimento sustentável. Importa por isso reduzir a produção de resíduos de embalagens e estimular procedimentos vocacionados prioritariamente, e sempre que tecnicamente possível, para a reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização, bem como desencorajar a sua eliminação por via do simples depósito em aterro.

A utilização de bens e serviços tem como consequência a produção excessiva de resíduos que põem em risco o equilíbrio ecológico. Como forma de dominar esse problema surgiu uma política

vulgarmente chamada dos 3R, i.e., redução, reutilização e recuperação. Na recuperação ou valorização inclui-se a reciclagem dos materiais e a incineração.

Entende-se por “reutilização”, qualquer operação pela qual uma embalagem, concebida e projectada para perfazer um número mínimo de viagens ou rotações no seu ciclo-de-vida, é enchida de novo, com ou sem apoio de produtos auxiliares, que permitam que esta seja reutilizada para o mesmo fim para que foi concebida; as embalagens reutilizáveis passarão a resíduos de embalagens ao deixarem de ser reutilizadas.

Entende-se por “reciclagem”, o reprocessamento, num processo de produção, dos resíduos para o fim inicial ou para outros fins, incluindo a reciclagem orgânica, mas não a valorização energética. Do ponto de vista ambiental, a reciclagem deve constituir uma parte importante da valorização, principalmente para reduzir o consumo de energia e de matérias-primas primárias e a eliminação final de resíduos. A palavra “reciclagem” refere-se sempre à valorização dos RSU por reciclagem de materiais recuperados da sua corrente global ou de determinados fluxos que a compõem ou, em alternativa, recolhidos selectivamente nos produtores (habitantes, famílias, escritórios, etc.) em contentores individuais ou colectivos. A ligação tecnológica entre a produção dos resíduos destinados à reciclagem e a sua entrada num novo ciclo industrial a cargo do reciclador denomina-se fileira. Em Portugal, têm-se obtido resultados muito bons nas fileiras do vidro e do papel, resultados que são consequência da maior facilidade em recolher estes materiais selectivamente.

Para que os objectivos da reciclagem sejam alcançados, torna-se necessário criar circuitos de recolha selectiva e triagem. É indispensável que as embalagens sejam concebidas de forma a facilitar a reciclagem e outras formas de tratamento ambientalmente adequado. Por outro lado, é também indispensável favorecer a utilização de materiais provenientes da reciclagem, garantindo sempre os níveis adequados de higiene e segurança e definir os requisitos essenciais relacionados com a composição e natureza das embalagens reutilizáveis e recicláveis, limitando paralelamente, a presença de metais pesados e outras substâncias nocivas, como medida prioritária no sentido da sua redução nos resíduos de embalagens. O cumprimento destes objectivos passa inevitavelmente pela responsabilização dos operadores económicos, devidamente articulada com as atribuições e as competências dos próprios municípios.

O conceito de “redução” é abrangido pelo de “prevenção” que, em matéria de resíduos sólidos urbanos, reúne todo o género de actividades ou grupos de actividades (iniciativas, programas, projectos) que tenham por finalidade evitar consequências nefastas, para a saúde e para o ambiente, provenientes dos resíduos em si mesmos e de qualquer operação ou processo do seu tecnossistema

de gestão (que consiste na criação e exploração técnica e gestonária de sistemas de engenharia relativos aos resíduos). Assim se podem distinguir três níveis de prevenção (GSEAMA, 1996):

- prevenção primária, que reduz a quantidade e/ou a perigosidade dos resíduos;
- prevenção secundária, que se ocupa da análise e solução dos problemas reais ou potenciais dentro do tecnossistema (saúde ocupacional da força do trabalho, saúde pública da população, impacte ambiental das tecnologias de recolha, transporte e destino final);
- prevenção terciária, cujo principal objectivo é não permitir que sejam confinados (i.e., depositados em aterro ou lixeira), resíduos valorizáveis e resíduos que ofereçam perigo para o homem e o ambiente, principalmente no que se refere às águas subterrâneas e aos solos envolventes.

A obtenção de resultados neste domínio não poderá deixar de ser conseguida sem a contribuição da indústria produtora dos resíduos potenciais e a corresponsabilização dos consumidores, a quem cabe sempre a última palavra. São apresentadas como medidas favoráveis (GSEAMA, 1996):

- produção de produtos limpos;
- aplicação de tecnologias mais limpas;
- modificação de atitudes e comportamentos do público em prol da prática do consumo e utilização dos produtos e tecnologias indicadas.

Outros aspectos relacionados com a recolha selectiva dos resíduos sólidos urbanos e normas ambientais encontram-se descritos no Anexo A deste trabalho.

## 1.5 Recuperação do Vidro de Embalagem

Para os fabricantes de vidro, a Directiva EC/62/94 da Comunidade Europeia, sobre embalagem e gestão dos resíduos de embalagem não veio proporcionar grandes alterações, devido às medidas que a indústria do vidro foi tomando ao longo de vários anos.

O contínuo melhoramento e modernização da indústria do vidro, é impulsionado pela competitividade do mercado e pela introdução de novos materiais de embalagem em vários segmentos onde o vidro era quase absoluto.

Como resultado, importantes inovações têm sido implementadas no processo de fabrico das embalagens de vidro, especialmente nas últimas duas décadas. Algumas das medidas tomadas pela indústria vidreira incidem em estudos relativos aos padrões de qualidade do vidro produzido, redução do peso da garrafa, sem diminuição da sua resistência mecânica e redução dos resíduos de embalagem.

Nos últimos anos conseguiram-se progressos notáveis no campo da redução da espessura, tendo a garrafa de vidro sofrido uma diminuição de 20% do seu peso e ao mesmo tempo um aumento de 40% da sua resistência mecânica.

Como atributos indispensáveis para a produção de embalagens mais leves, destacam-se (Ortiz, 1996):

- obtenção de um vidro homogéneo e de alta qualidade;
- equipamento com controlo electrónico;

- distribuição uniforme da espessura do vidro;
- superfícies da embalagem uniformes e sem defeitos e/ou contaminantes;
- uso de tratamentos superficiais combinados;
- manuseamento adequado durante todo o processo de fabrico e utilização;
- controlo rigoroso de todas as fases do processo e do produto acabado.

Além dessas importantes inovações ocorridas no processo de fabrico, outras têm sido introduzidas, visando o desenvolvimento de embalagens de melhor qualidade, com menor custo. Cabe também mencionar, os progressos verificados na reciclagem de embalagens de vidro.

O vidro é o resultado da fusão de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, as quais após serem submetidas a um processo de arrefecimento controlado, transformam-se num material rígido, homogêneo, estável, inerte, amorfo e isotrópico. A sua principal característica é ser moldável a uma determinada temperatura, sem qualquer tipo de degradação (Ortiz, 1996).

A maior parte das matérias-primas e produtos utilizados no fabrico do vidro inorgânico são minerais existentes na natureza, cujas características atendem aos requisitos de composição, desde que perfeitamente conhecidas. As matérias-primas normalmente utilizadas na produção do vidro sodo-cálcico são a areia, o cálcario, a dolomita, o feldspato, o cianito nefelínico, a alumina calcinada, a barrilha, a lixívia de soda cáustica, os afinantes, corantes ou descorantes e vidro reciclado.

A incorporação de vidro reciclado às matérias primas naturais tem adquirido grande importância no processo de fabrico, devido a questões ambientais e económicas. Do ponto de vista ambiental, a adição de “casco” (vidro para reciclagem) permite uma considerável redução na produção de resíduos sólidos por embalagens descartáveis e promove em simultâneo a redução das dificuldades na extracção e utilização dos minerais que constituem as matérias-primas do vidro. Também é possível reduzir o consumo de combustíveis na geração de energia, minimizando os problemas de poluição ambiental.

O material (casco de vidro recuperado e tratado) proveniente dos resíduos dos processos de fabrico ou de outras fontes, constitui uma matéria-prima que apresenta vantagens tecnológicas, pois melhora sensivelmente o processo de fusão, gerando economia no consumo de energia, além de aumentar a extracção do forno sem incrementar o consumo de energia (Ortiz, 1996).

A percentagem de casco usada, varia consoante o fabricante. Normalmente usa-se entre 25 e 30%, mas em geral, existe tendência para aumentar, sendo objectivo de muitos fabricantes atingir os 50% (Lund, 1993).

O vidro que vai ser reciclado é correntemente designado pela indústria como casco. Além do casco proveniente do consumidor final, casco doméstico, há ainda que considerar outro casco, o que resulta de quebras nas linhas de enchimento ou da inutilização das embalagens retornáveis que já excederam a vida útil e que os engarrafadores remetem para a indústria do vidro de embalagem, casco industrial.

Assim, podemos classificar o casco de vidro em três grupos quanto à sua origem:

- i) material gerado na própria fábrica ou no mesmo forno, possuindo a mesma composição química, podendo portanto ser integrado na mistura sem qualquer correcção;
- ii) material proveniente de outra fonte geradora, como por exemplo um outro forno de fusão, devendo ser considerado no cálculo da composição na qual será incorporado;
- iii) material estranho de origem desconhecida (proveniente de um processo de reciclagem), o qual deve neste caso ser considerado como uma matéria-prima qualquer, realizando-se análises químicas que assegurem a compatibilidade com a composição na qual será agregado.

A Figura 2 representa um esquema do processo industrial de produção de garrafas de vidro.

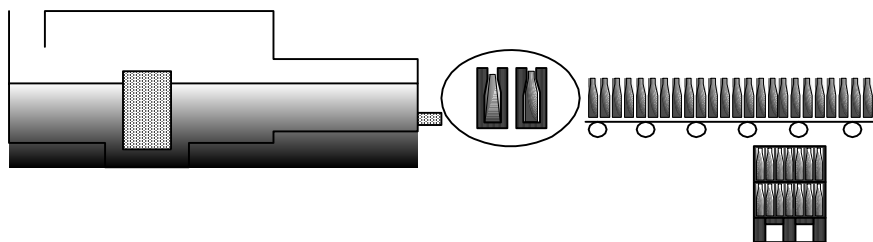


*Figura 2 Processo industrial de fabrico de garrafas de vidro*

O vidro é o material que melhor e mais facilmente se presta a ser recuperado, tendo sido a indústria vidreira a primeira a dinamizar uma campanha de recolha de vidro usado contando com a colaboração directa do público. Portugal tem tido grandes progressos em termos da recolha do vidro usado. Face ao panorama europeu, em 1995, e no que diz respeito à reciclagem de vidro, Portugal já estava acima de alguns países, mas a indústria prossegue sempre com o objectivo de melhorar o seu desempenho.

Entre 1993 e 1995, a indústria portuguesa do vidro de embalagem recolheu e reciclou as quantidades de casco indicadas na Tabela 5.

Tabela 5 Evolução da taxa de reciclagem de vidro em Portugal (AIVE, 1997).

| Ano  | Toneladas Recolhidas | Taxa de Reciclagem (%) |
|------|----------------------|------------------------|
| 1989 | 40 426               | 29,6                   |
| 1990 | 46 463               | 26,8                   |
| 1991 | 50 368               | 29,3                   |
| 1992 | 62 036               | 31,3                   |
| 1993 | 70 562               | 29,2                   |
| 1994 | 70 847               | 32,2                   |
| 1995 | 90 952               | 42,0                   |

É de referir que a taxa de reciclagem apresentada é calculada envolvendo o casco de origem industrial (embalagens de retorno) e resultante de perdas no controlo de qualidade. A taxa de reciclagem relativa ao vidro presente nos RSU deve ser actualmente de cerca de 15%. Tem-se verificado igualmente que a recolha no destino, em particular na triagem existente em estações de compostagem (caso de Setúbal), pode permitir aumentar a taxa de reciclagem do casco doméstico para valores da ordem dos 50% (AIVE, 1997).

Pelas suas qualidades naturais e excelente protecção que faculta aos produtos que com ele estão em contacto, o vidro tem sido preferido desde há séculos, como material de embalagem. Também, desde há séculos, o vidro é reciclado. Volta a ser fundido e com ele são produzidas novas embalagens. Um processo que pode ser repetido indefinidamente. Para recolha do vidro de embalagem usado (casco) existe uma rede nacional de vidrões, explorada em colaboração com os órgãos centrais e as autarquias e está montado um esquema de envio do casco recolhido às unidades fabris do vidro de embalagem para reciclagem.

Por toda a Europa, como ponto culminante de um processo de consciencialização pública, a reciclagem é vista como o sistema mais eficaz em termos ambientais para a recuperação das embalagens de vidro. Na directiva EC/62/94, relativa a Embalagens e Resíduos de Embalagem, foi estabelecida uma taxa mínima de reciclagem de 15% para cada material (art.&6). No entanto, em Portugal o vidro já ultrapassa largamente essa taxa, ao atingir actualmente os 42 por cento. Além disso, a reciclagem de vidro significa menor volume de lixo municipais, maior limpeza nos locais públicos e ao nível nacional, economia de energia e de matérias-primas.

Na Tabela 6 estão indicadas as quantidades de vidro em 1994 e em 1995, proveniente de colecta pós-consumo do público em geral e de engarrafadores, às quais correspondem as taxas de vidro reciclado sobre o total colectado em cada país da União Europeia (17 países).

Tabela 6 Recolha e reciclagem de Vidro na União Europeia  
(Federação Europeia de Vidro de Embalagem, FEVE, 1995 e 1996)

| País        | Ano de 1994              |                             | Ano de 1995              |                             |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|             | Toneladas Colectadas (1) | Taxa Nacional de Reciclagem | Toneladas Colectadas (1) | Taxa Nacional de Reciclagem |
| Áustria     | 203 000                  | 76%                         | 199 000                  | n.a.(2)                     |
| Bélgica     | 235 000                  | 67%                         | 225 000                  | 67%                         |
| Dinamarca   | 108 000                  | 67%                         | 104 000                  | 63%                         |
| Finlândia   | 28 000                   | 50%                         | 30 000                   | 50%                         |
| França      | 1 300 000                | 48%                         | 1 400 000                | 50%                         |
| Alemanha    | 2 763 000                | 75%                         | 2 784 000                | 75%                         |
| Grécia      | 37 000                   | 29%                         | 38 000                   | 35%                         |
| Irlanda     | 28 000                   | 31%                         | 38 000                   | 39%                         |
| Itália      | 890 000                  | 54%                         | 869 000                  | 53%                         |
| Holanda     | 367 000                  | 77%                         | 372 000                  | 80%                         |
| Noruega     | 36 000                   | 72%                         | 39 000                   | 75%                         |
| Portugal    | 71 000                   | 32%                         | 91 000                   | 42%                         |
| Espanha     | 371 000                  | 31%                         | 402 000                  | 32%                         |
| Suécia      | 95 000                   | 56%                         | 96 000                   | 61%                         |
| Suíça       | 242 000                  | 84%                         | 263 000                  | 85%                         |
| Turquia     | 54 000                   | 22%                         | 36 000                   | 12%                         |
| Reino Unido | 492 000                  | 28%                         | 501 000                  | 27%                         |
| Total       | 7 320 000                |                             | 7 487 000                |                             |

(1) colecta pós consumo do público em geral e de engarrafadores

(2) não foi avaliado

A reciclagem de vidro em Portugal é já uma realidade com êxito. A dois níveis: aceitação da população e participação das autarquias, que viram nesta área uma boa forma de promoverem a imagem ambiental, para além de constituir uma fonte de receitas e redução de custos. Aliás, as receitas obtidas com as vendas do casco são geralmente aplicadas em acções de carácter social, o que contribui para uma boa participação da população. Esta preocupação permitirá melhorar a qualidade do ambiente e, assim, a qualidade de vida, cuja importância e prioridade são bem conhecidas.

Actualmente, apesar de já se reciclarem 42% do consumo nacional de vidro de embalagem, pretende-se aumentar este indicador através do reforço das redes dos vidrões, embora já existam actualmente 8717 vidrões em 244 freguesias (dados de Outubro de 1996), o que representa um vidrão para cada 1005 habitantes (AIVE, 1997). O objectivo estratégico definido pela AIVE, é

alcançar a taxa de 70% de reciclagem na passagem do século, o que só será possível com a colaboração de todos, indústria, autoridades e cidadãos, que não devem deitar fora o vidro mas entregá-lo ao vidrão. Para além de tudo isto, o vidro é o material que menos contribui para os problemas ambientais em termos de resíduos sólidos urbanos, dado ser inerte.

A qualidade dos bens comercializados é cada vez mais importante numa sociedade de consumo. O mercado procurando satisfazer os seus clientes, tornou-se mais exigente com os seus fornecedores. Em termos de embalagem, aceita-se normalmente que os consumidores identifiquem a embalagem de vidro com a elevada qualidade do produto que esta contém. Segue-se então que as garrafas e outros recipientes de vidro devem ser eles mesmos de elevada qualidade. Em muitos países, as indústrias vidreiras usam casco de vidro como “ingrediente chefe”. Por isso, a sua qualidade é de suma importância.

O início do processo de reciclagem é um ponto de recolha, no qual o consumidor é convidado a depositar recipientes de vidro vazios, sem qualquer forma de supervisão ou controlo. Seria esperar muito, que outros materiais estranhos não fossem depositados juntamente com o vidro. No entanto, devido aos muitos avisos e educação, o nível de contaminantes existentes é geralmente aceitável. Se assim não fosse, a reciclagem do vidro não teria progredido tanto nestes últimos vinte anos. Os sistemas de recolha de vidro não apareceram de forma espontânea. O sector vidreiro atravessou numerosas dificuldades, de forma que adquiriu grande experiência no assunto. Uma das conclusões a que chegou foi a de que a separação ou triagem do material a ser reciclado deve ser feita o mais cedo possível e portanto, desde a sua colecta por deposição nos locais especialmente estabelecidos para esse fim. Este sistema foi implementado nos anos 70 na Holanda, com pontos de recolha de vidro chamados “GLASBAK” (FEVE, 1996). Em Portugal e à semelhança de outros países da comunidade, a separação e recolha das embalagens de vidro para reciclar é efectuada em pontos específicos através do sistema do “Vidrão”.

O maior problema relativo à utilização de vidro reciclado é a presença de contaminantes, mais frequentemente no casco colectado fora da fábrica. Como por exemplo, metais que atacam os refractários dos fornos e materiais que não fundem que poderão constituir inclusões sólidas no produto final. Outra questão relativamente ao material reciclado é a necessidade de separação por cor, uma vez que na produção do vidro incolor só é possível adicionar casco de vidro incolor. Aos poucos e graças a uma educação intensiva, o público vai aprendendo a distinguir o que deve ou não deve deitar nos depósitos de recolha de vidro. Alguns contaminantes mais comuns que são encontrados com o vidro são: tampas metálicas e plásticas, louça ou detritos cerâmicos, vidro

“pyrex”, vidro “cristal”, vidros planos de materiais de construção, resíduos orgânicos ou domésticos.

O transporte e armazenagem do casco de vidro também podem ser fontes de contaminação. Muitas empresas transportadoras usam os mesmos veículos para o transporte de outros materiais. É importante que os veículos estejam limpos e livres de contaminantes para o transporte do vidro, assim como, os locais de armazenagem do casco. Existem padrões de qualidade do vidro de embalagem estabelecidos pelos membros da FEVE - “The European Container Glass Federation”. A melhor forma de se ter casco de vidro de elevada qualidade é evitar a entrada de contaminantes no sistema. A chave para uma prevenção efectiva é a educação. Devido ao aumento da quantidade de vidro a reciclar, a educação só pode tornar-se mais importante.

O casco recolhido, vai primeiro para uma estação de tratamento. Aí, são usadas um conjunto de técnicas de separação para remover os materiais estranhos ao vidro, os quais só poderiam causar problemas na produção deste, ou contribuir para a existência de defeitos nas embalagens de vidro.

A composição das matérias-primas do vidro de embalagem é semelhante em todos os países, mas o vidro usado para outros fins que não a embalagem pode ser muito diferente. Por exemplo, os recipientes de vidro usados para ir ao forno ou resistentes a elevadas temperaturas podem trazer sérios problemas quando incorporados junto do casco de vidro para embalagem. Existe por isso, uma atenta inspecção prévia do casco. Os contaminantes mais comuns são facilmente separados. Aspiradores de vácuo removem os papeis e os plásticos. Sistemas magnéticos retiram as tampas e recipientes metálicos. O alumínio por não ser magnético requer especial atenção. Materiais não-fusíveis como os pedaços de cerâmica ou gravilha podem trazer problemas sérios uma vez que não fundem no forno. O vidro colectado encontra-se geralmente contaminado com materiais ferrosos e não-ferrosos, pedras, rolhas, garrafas de plástico e outros. As necessidades da indústria vidreira são normalmente diferentes de empresa para empresa. No entanto, é sempre necessário proceder à limpeza do casco de vidro numa estação de tratamento, de forma a obter um nível de qualidade aceitável.

No início do tratamento, o vidro é transportado num veículo carregador até ao silo de alimentação, a partir do qual se vai extraíndo o casco numa correia transportadora. O alimentador é regulado manualmente determinando a velocidade de saída, consoante a quantidade de contaminantes do casco. Para a remoção de materiais ferrosos existe um separador magnético junto da correia transportadora. De seguida é removido manualmente, o material de maior tamanho, como pedras, tijolos, potes cerâmicos e outros. O casco entra num moinho onde é esmagado, podendo-se controlar as dimensões pretendidas para o casco, ajustando a velocidade de rotação do moinho. À

saída do moinho é efectuada nova separação magnética, para separar os metais que estavam presos ao casco. O passo seguinte é a separação dos materiais leves tais como, papeis, plásticos, alumínio, rolhas, etc. através de uma corrente de ar proveniente de um ventilador. De seguida é efectuada nova separação manual e finalmente nova separação dos metais.

A maioria dos processos de separação que se usam na Europa podem ser descritos Como se evidencia na Figura 3 (Maltha, 1993).

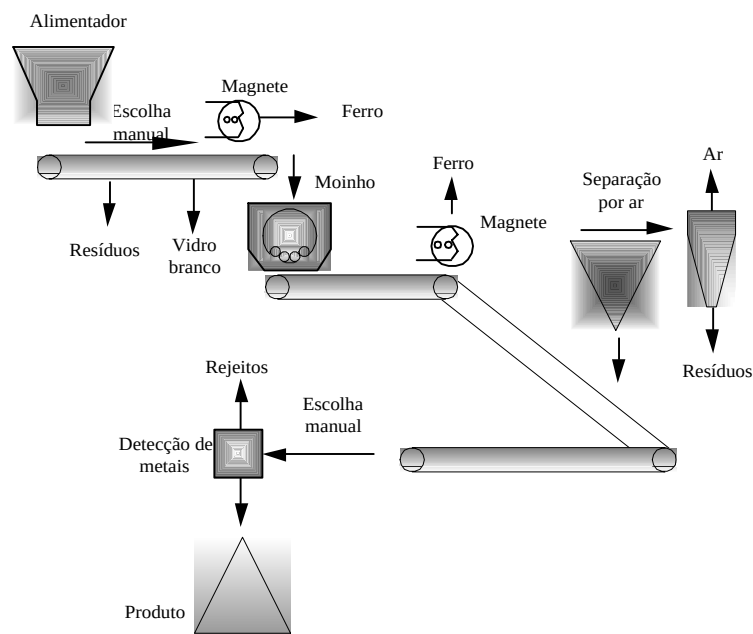


*Figura 3 Diagrama de uma Estação de Tratamento de casco (Maltha, 1993)*

## 1.6 Importância da Questão Ambiental

A experiência tem demonstrado que o empreendimento e a criatividade, a forma de pensar a inovação visando produtos e processos mais saudáveis, poderão proporcionar para a empresa, uma boa oportunidade de lucro. As melhorias e inovações no processo produtivo permitem o uso dos recursos de forma mais eficiente diminuindo as perdas e consequentemente diminuindo tanto os consumos de materiais como de energia. Desta forma os gastos efectuados para melhorar o processo acabam por ser compensados, ao mesmo tempo que se está a preservar o meio ambiente.

As emissões poluentes podem ser um sinal do uso ineficiente dos recursos durante o processo produtivo. Assim, a prevenção da poluição através de tecnologias limpas, além de apresentar vantagens ambientais e redução dos gastos com o tratamento dos resíduos e dos efluentes, representa acima de tudo uma prevenção das emissões e dos resíduos durante o processo produtivo.

A resistência aos investimentos para melhoria ambiental nas empresas, na maior parte das vezes, reflecte uma má informação por parte dos executivos. Com a intervenção dos órgãos ambientais as empresas acabam por tomar consciência de que a poluição representa evidentes perdas económicas resultantes de ineficiências no processo. Produção através de tecnologias mais limpas pode dar início a uma série de vantagens como a diminuição do custo total de um produto.

Muitas vezes o retorno dos investimentos ambientais não é imediato ou a sua avaliação é mais complexa. A maximização do lucro deve ser vista num contexto de longo prazo. A curto prazo o comprometimento com problemas sociais pode resultar num menor lucro como também se pode transformar em condições mais favoráveis no futuro para a melhoria económica e sobrevivência da

empresa. Na verdade, pode não haver nenhuma esperança de existir uma organização viável economicamente numa sociedade deteriorada socialmente.

As empresas que assumem uma responsabilidade social e entende-se aqui incluída a questão ambiental, ganham melhor imagem institucional conquistando maior número de consumidores, mais vendas, melhores empregados e fornecedores, facilitando o acesso ao mercado de capitais.

Embora a opção por investimentos de protecção ambiental nem sempre seja fruto do nível de consciência por parte dos empresários, muitos dos quais são motivados unicamente pelo lucro, por certo será um dado positivo para o meio ambiente e para o aumento da qualidade de vida das populações. Porém, as empresas que procurem na questão ambiental unicamente benefícios financeiros, vendendo uma falsa “imagem verde”, certamente não sobreviverão, pois, além da vigilância cada vez mais intensa por parte da sociedade e dos seus concorrentes, encontrarão mais cedo ou mais tarde, evidências que as denunciem.

A melhor maneira de estimular a indústria a adoptar medidas que minimizem os impactos ambientais dos seus produtos ou processos é oferecendo-lhes vantagens económicas. Se os preços forem fixados para reflectir o custo real da utilização dos recursos naturais, as empresas começarão a valorizá-los como valorizam o trabalho e o capital e a aumentarem a produtividade em consonância com o meio ambiente, como se empenham na maior produtividade do trabalho e do capital.

A melhor maneira de estimular a indústria a adoptar tecnologias mais limpas, é oferecendo-lhe vantagens económicas. Sempre que se fala em protecção ambiental voltada para as actividades empresariais, predomina o preconceito de despesas, ou seja, investimentos sem retorno.

A questão da atribuição de um valor aos recursos naturais tem sido motivo de controvérsias entre economistas e ambientalistas, existindo correntes que se opõem à ideia de que se possa atribuir um valor a esses recursos. A necessidade da determinação correcta dos custos de utilização dos recursos naturais tem solicitado uma nova forma de avaliação económica do processo produtivo. Nesse contexto surge a necessidade de estimar economicamente as questões ambientais o que actualmente ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento.

Grande parte da resistência das organizações em introduzir programas de qualidade ambiental é muitas vezes, consequência do baixo nível de informação ou da dificuldade em interpretar e processar adequadamente as informações obtidas. A capacidade de descortinar e antever horizontes futuros, quer sob a perspectiva tecnológica, económica e social, está intimamente associada à

capacidade de processar informações, tanto no seu sentido quantitativo como, mais importante ainda, no qualitativo. Essas informações necessárias dizem respeito tanto ao ambiente interno da empresa, quanto ao externo.

Portanto, é extremamente necessário o conhecimento das variáveis internas, como ramo de actividade e seus danos ao meio ambiente; características do processo produtivo, tais como padrões de emissões, resíduos, consumo de energia, risco para os trabalhadores; capital disponível; etc. Da mesma forma, as informações externas possibilitam à empresa acompanhar e adaptar-se às rápidas transformações em curso no ambiente externo. Estes dados incluem informações sobre a percepção dos clientes quanto aos produtos e serviços da empresa, inovações tecnológicas e organizacionais recentes, actividades e desempenho dos concorrentes, fontes alternativas de fornecimento, legislação em vigor (saúde, segurança e meio ambiente), normas técnicas nacionais e internacionais.

À medida que as informações internas e externas são obtidas, cresce o nível de consciência em relação às questões ambientais e conseqüentemente, surgem as primeiras iniciativas. Mesmo nos países desenvolvidos, a decisão de investimentos ambientais depende do sector ao qual a empresa pertence, das pressões exercidas pelos movimentos ambientalistas, bem como das políticas ambientais implementadas pelos governos.

As respostas da indústria ao novo desafio ocorrem em três fases, dependendo do grau de consciencialização da questão ambiental dentro da empresa: controlo das emissões poluentes, integração do controlo ambiental nas práticas e processos industriais e integração do controlo ambiental na gestão administrativa. Na primeira fase, o controlo ambiental é feito no final do processo produtivo, utilizando-se tecnologias de final de linha, ou seja, estações de tratamento, chaminés, etc. Na segunda fase, o controlo ambiental é integrado nas práticas e processos, utilizando-se tecnologias limpas, novas matérias-primas, novos produtos, incluindo o reaproveitamento da água utilizada no processo e a economia de energia. Na terceira fase, a variável ambiental atinge as altas esferas de decisão, chegando a interferir no planeamento estratégico da empresa.

Como consequência dessas pressões, surge um processo de consciencialização que se apresenta sobre três fases: a fase da percepção, a fase do compromisso e a fase da acção. Na fase da percepção, a consciência da necessidade de assimilar a variável ambiental restringe-se apenas à administração da empresa. Embora a mesma já perceba a necessidade de uma assessoria especializada, esse discurso não encontra apoio nos níveis hierárquicos mais baixos das empresas. Na fase do Compromisso já ocorre a contratação de uma assessoria especializada onde o

comprometimento ambiental começa a ampliar e a atingir os gerentes de linha, preparando o terreno para a fase da acção. Na fase da acção ocorre a incorporação da variável ambiental nas actividades de linha do processo produtivo.

De notar que nas funções produtiva e administrativa, a modificação dos processos e produtos necessita de recursos e interfere na estrutura organizacional, tornando-se um agente na cultura da empresa. Esta fase é perceptível apenas nas empresas que procuram a excelência ambiental.

---

## **Capítulo 2 – Estudo de Caso**

---

## 2.1 Introdução

Em 1987, com a publicação do relatório encomendado pela Assembleia das Nações Unidas à Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, denominado "Nosso Futuro Comum", surge o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Este apoia-se em três bases fundamentais (Comissão das Comunidades Europeias, 1992):

- o crescimento económico,
- a equidade social,
- o equilíbrio ecológico.

Assim, desenvolvimento não é apenas crescimento económico mas também a satisfação das necessidades básicas, da qualidade de vida, a equalização das oportunidades e os direitos da cidadania e a qualidade do ambiente. O crescimento económico é apenas uma parte integrante e indispensável mas não suficiente para o desenvolvimento.

Muitas vezes, o posicionamento das empresas em relação às questões ambientais é o reflexo de um desinteresse e conseqüente falta de informação a respeito dos impactos ambientais, directos e indirectos provenientes das suas actividades, processos e serviços e, acima de tudo, do desconhecimento das emissões que ocorrem durante o processo produtivo.

As emissões gasosas, as águas residuais, os resíduos sólidos, o ruído, os odores, o consumo de matérias-primas, entre outros, constituem os principais impactos ambientais associados às indústrias. A pressão da sociedade, actualmente mais sensibilizada, visando uma melhoria da qualidade de vida, as normas ambientais cada vez mais rígidas no combate à poluição, e um

mercado competitivo forçando a equalização dos custos de produção, são algumas das razões para que as empresas considerassem também as variáveis sociais e ambientais, caso contrário poderiam ver afectada negativamente a sua imagem, estratégia e negócios. Assim como as actuais preocupações com a Qualidade Total na empresa visam atender principalmente a satisfação do cliente, também a preocupação ambiental deve ter o mesmo fim.

Os meios de comunicação contribuíram para aumentar do nível de informação dos consumidores acerca das questões ambientais. A opinião pública, em última análise a opinião do consumidor, exerce cada vez mais influência sobre o mercado, fomentando pesquisas para a identificação dos níveis de preocupação ambiental da população.

O objectivo de integrar a protecção ambiental em todas as fases do ciclo-de-vida do produto tem levado os cientistas e engenheiros nos países desenvolvidos, a desenvolverem novas tecnologias, onde a criatividade e a imaginação abrem novas perspectivas económicas. Embora no mundo empresarial a preocupação principal seja o mercado, as exigências de protecção ambiental serão atendidas desde que solicitadas pelos consumidores e simultaneamente incorporadas pelo estado.

De seguida são apresentadas algumas definições de termos que serão usados neste trabalho:

- BUWAL: sigla em língua alemã da “Agência Suíça do Ambiente, Florestas e Paisagens”. Esta agência elaborou uma base de dados de processos de fabrico de embalagens de vários materiais, obtida essencialmente de empresas suíças;
- ciclo-de-vida: conjunto de etapas consecutivas e interligadas do sistema de um produto, desde a aquisição das matérias-primas até à fase final de pós-consumo;
- dados de entrada e saída: quantificação dos débitos de entrada e saída de cada processo unitário de materiais ou energia;
- fronteira do sistema: interface entre o sistema de um produto e o ambiente ou outros sistemas de produtos;

Os aspectos da metodologia de análise de ciclo-de-vida seguida neste trabalho encontram-se descritos em detalhe no Anexo B deste trabalho.

## 2.2 Definição do objectivo e do âmbito

### 2.2.1 Definição do objectivo do estudo

O objectivo deste estudo de ACV é efectuar uma comparação entre a reutilização de garrafas de cerveja de tara retornável e a reciclagem de garrafas de cerveja de tara perdida (vidro âmbar, 0,33 litros). O estudo visa avaliar e comparar os impactos ambientais de ambos os tipos de garrafas.

### 2.2.2 Definição do âmbito do estudo

#### *Unidade funcional*

A unidade funcional que é usada como referência neste estudo é “uma garrafa de cerveja”, correspondente à “distribuição de 0,33 litros de cerveja”.

#### *Fronteira do sistema*

A Figura 4 representa a fronteira do sistema. Esta inclui a aquisição de matérias-primas, a produção de garrafas de vidro, o transporte de garrafas vazias para encher, as operações de limpeza, enchimento, capsulagem, pasteurização, rotulagem, condicionamento de transporte, distribuição, reutilização e reciclagem.

Uma vez que o objectivo é comparar entre reutilização e reciclagem de garrafas de cerveja, a análise pode ser consideravelmente simplificada excluindo os impactos comuns a ambas as embalagens. Não foram considerados no cálculo dos impactos ambientais o transporte de matérias primas, a produção e distribuição de energia, o transporte de resíduos para deposição final, a

construção de vias de comunicação, de veículos e de infra-estruturas, a produção de materiais auxiliares (materiais de embalagem, colas, tintas, etc.), a extracção e processamento de recursos naturais, a extracção e pré-tratamento de água potável, o que ocorre no aterro ou lixeira, o uso do produto final e o comportamento do consumidor em casa (refrigeração de bebidas, etc.).

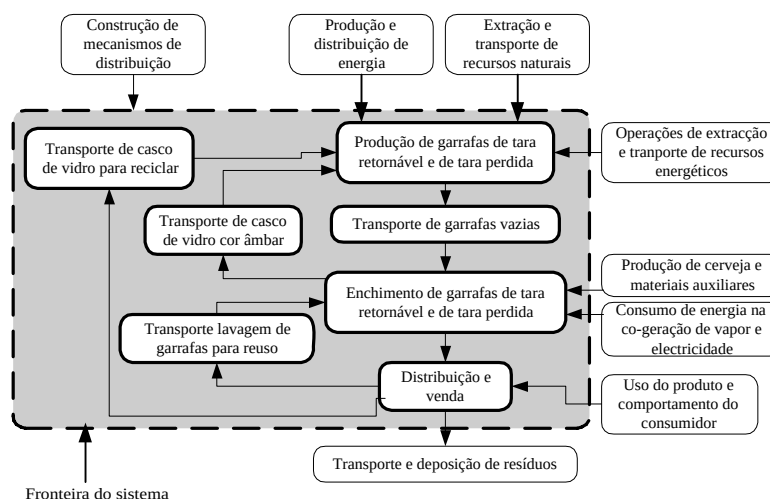


Figura 4 Fronteira do sistema representando o ciclo-de-vida das garrafas retornável e não-retornável

### **Cobertura geográfica**

As empresas que contribuíram para este estudo encontram-se localizadas na área metropolitana do Porto, na região norte de Portugal. Apenas as actividades de transporte efectuadas nesta área são consideradas.

### **Cobertura temporal**

O período de tempo escolhido são 12 meses. A escolha deve-se a ser neste período que as indústrias fazem o seu ciclo anual de produção, que se mantém razoavelmente estável todos os anos. Também, é um período suficientemente longo para atenuar qualquer comportamento atípico como: paragens e arranques das máquinas, diferenças sazonais, etc.

### **Fontes na obtenção de dados**

Os dados foram fornecidos por duas empresas portuguesas: uma produtora de garrafas de vidro e outra uma cervejeira. Algumas falhas de dados destas empresas foram colmatadas com dados da literatura (BUWAL, 1991, 1997; Habersatter, 1991) e de cálculos de engenharia efectuados.

## 2.3 Análise de Inventário

A análise de inventário foi considerada separadamente para a produção das garrafas de vidro, para os processos respeitantes à cervejeira e para o transporte. A Tabela 7 apresenta a caracterização do sistema de embalagem em estudo.

Tabela 7 Caracterização do sistema de embalagem usado para garrafas retornáveis e não-retornáveis  
(Fonte: Cervejeira portuguesa, 1997)

|                      | Embalagem                                | Especificação do tipo de Material | Garrafa retornável | Garrafa não-retornável |
|----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------|
|                      |                                          |                                   | (kg)               | (kg)                   |
| Embalagem primária   | Garrafa de 33cl                          | Vidro                             | 0,287              | 0,225                  |
|                      | Cápsula                                  | Folha Flandres e PVC              | 0,00235g           | 0,00235                |
|                      | Rótulo                                   | Papel couché                      | 0,00028            | 0,00032                |
|                      | Gargantilha                              | Papel couché                      | 0,00028            | 0,00032                |
|                      | Contra-Rótulo                            | Papel couché                      | -                  | 0,000206               |
|                      | Cola para rótulos                        | Caseína                           | 0,0000849          | 0,0000849              |
|                      | Cola Hot-Melt (caixas)                   | produto sintético                 | -                  | 2,64g                  |
| Embalagem secundária | Grade de plástico                        | HDPE                              | 1,715              | -                      |
|                      | Caixa de cartão                          | Cartão canelado                   | -                  | 0,260                  |
|                      | Six-Pack                                 | Cartolina                         | 0,027*             | 0,047                  |
|                      | Ten-Pack                                 | Cartolina                         | 0,045*             | 0,029                  |
|                      | Tabuleiro-T                              | Cartão canelado                   | -                  | 95g                    |
|                      | Filme Retrátil                           | LDPE                              | -                  | 34,8g                  |
| Embalagem terciária  | Paleta                                   | Madeira de pinho                  | 35                 | 27                     |
|                      | Filme de Envolvimento (Paleta tabuleiro) | LLDPE c/ 3 camadas                | -                  | 0,168                  |
|                      | Filme de Envolvimento (Paleta de caixa)  | LLDPE c/ 3 camadas                | -                  | 0,185                  |
|                      | Filme de Topo                            | -                                 | -                  | 0,200                  |
|                      | Cordão para atadora                      | Algodão                           | 0,002              | -                      |
|                      | Nº de caixas por paleta                  | -                                 | 0,048              | 0,064                  |

\* vendido apenas para grandes superfícies

As Tabelas de 8 a 13 indicam os dados mais relevantes dos débitos de entrada e saída do processo de produção das garrafas de vidro. As Tabelas de 14 a 22 indicam os dados mais relevantes dos débitos de entrada e saída das operações ocorrentes na cervejeira. A Tabela 23 indica os dados de consumo de combustível nas operações de transporte. Estes dados referem-se a consumo de materiais, consumo de água, consumo de energia, emissões gasosas, águas residuais e resíduos sólidos gerados durante os vários processos.

### *Produção de garrafas de vidro*

Na Figura 5 estão representados os débitos de entrada e saída de materiais e de energia associados aos processos de produção de garrafas de vidro.

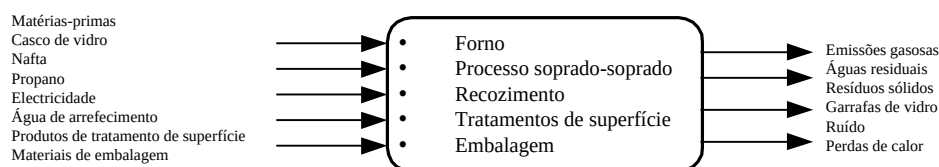


*Figura 5 Débitos de entrada e saída dos processos associados à produção de garrafas de vidro*

Na Figura 6 é ilustrado o processo industrial de fabrico de garrafas de vidro. Este processo encontra-se descrito em detalhe no Anexo C deste trabalho.

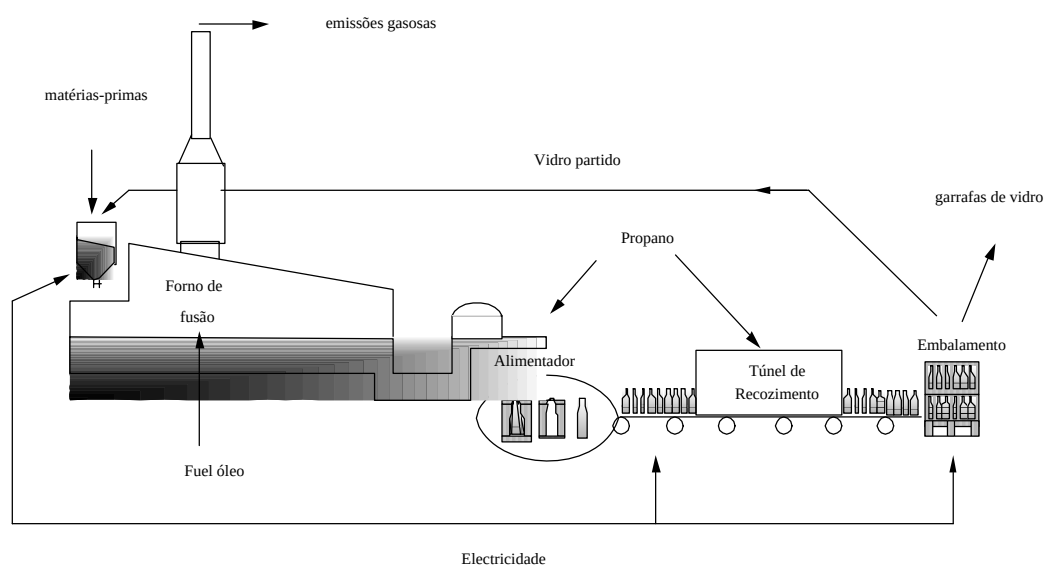


*Figura 6 Representação do processo de fabrico de garrafas de vidro*

O processo de fabrico das garrafas de vidro inicia-se com a entrada de matérias-primas no forno de fusão. Juntamente com as matérias-primas de base, é incorporado cerca de 20% de casco de vidro. Na Tabela 8 são apresentadas as quantidades de matérias-primas para o fabrico de garrafas de cerveja retornáveis e não-retornáveis e o consumo de materiais de embalagem para o transporte dessas garrafas. As garrafas retornáveis produzidas têm 287g de massa e as não-retornáveis têm 225g de massa. Os valores totais de matérias-primas por garrafa são superiores devido à existência de perdas, como é explicado na Secção 2.6 deste trabalho.

Tabela 8 Consumo de matérias-primas e de materiais de embalagem para o processo de fabrico de garrafas de vidro (Fonte: vidreira portuguesa, 1997)

| Descrição                 | Consumo de matérias-primas<br>(kg/ garrafa)       |                |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------|
|                           | Retornável                                        | Não-retornável |
| Areia amarela             | 0,1693                                            | 0,1328         |
| Carbonato de sódio        | 0,0472                                            | 0,0370         |
| Dolomite                  | 0,0301                                            | 0,0236         |
| Calcário                  | 0,0221                                            | 0,0173         |
| Sulfato de sódio          | 0,0011                                            | 0,0009         |
| Carvão                    | 0,0004                                            | 0,0003         |
| Óxido de ferro            | 0,0002                                            | 0,0001         |
| Casco de vidro            | 0,0676                                            | 0,0530         |
| Descrição                 | Consumo de materias de embalagem<br>(kg/ garrafa) |                |
|                           | Retornável                                        | Não-retornável |
| Paleta de madeira         | 0,0286                                            | 0,0210         |
| Tabuleiro cartão canelado | 0,0004                                            | 0,0003         |
| Intercalares de plástico  | 0,0824                                            | 0,0492         |
| Manga PEBD retráctil      | 0,0009                                            | 0,0006         |

Para o fabrico de vidro não é necessária água, no entanto existem grandes consumos de água de arrefecimento do equipamento. Esta água sofre perdas contínuas por evaporação e outras, sendo necessário adicionar constantemente água ao depósito de alimentação do circuito de arrefecimento. Na Tabela 9 é apresentado o consumo de água de arrefecimento. O consumo específico de água, ou seja por garrafa, foi calculado de forma proporcional à massa da garrafa, uma vez que era apenas conhecido o valor total do consumo de água por unidade de massa de vidro produzido.

Tabela 9 Consumo de água de arrefecimento no processo de fabrico das garrafas  
(Fonte: vidreira portuguesa, 1997)

| Descrição             | Consumo de água<br>(dm <sup>3</sup> /garrafa) |                |
|-----------------------|-----------------------------------------------|----------------|
|                       | Retornável                                    | Não-retornável |
| Água de arrefecimento | 0,4879                                        | 0,3825         |

O forno de fusão é formado por material refractário, sendo o fundo e paredes constituídos por tijolos de zircónio, sílica e alumina, e o tecto ou abóbada, por tijolos de sílica. A durabilidade destes materiais é de cerca de 8 anos, durante os quais o forno funciona ininterruptamente. Para além das elevadas temperaturas (superiores a 1500°C), estes materiais estão sujeitos a uma erosão permanente e ao choque térmico derivado do contacto da massa vitrificável com as paredes.

Na parte superior das paredes do forno, acima do nível do vidro, encontram-se instalados queimadores de nafta. À saída do forno, no alimentador, existem outros queimadores que usam gás propano, que também é usado no túnel de recozimento das garrafas.

Na Tabela 10 são apresentados os consumos de energia para ambas as garrafas. O consumo específico de energia foi calculado de forma proporcional à massa da garrafa, uma vez que era conhecido o valor total do consumo de energia por unidade de massa de vidro produzido.

Tabela 10 Consumo de energia no processo de fabrico das garrafas de vidro  
(Fonte: vidreira portuguesa, 1997)

| Descrição     | Consumo de energia<br>(MJ/ garrafa) |                |
|---------------|-------------------------------------|----------------|
|               | Retornável                          | Não-retornável |
| Nafta         | 1,9758                              | 1,5489         |
| Gás propano   | 0,2365                              | 0,1854         |
| Electricidade | 0,4335                              | 0,3398         |

Na Tabela 11 apresentam-se as águas residuais provenientes da vidreira. Estas englobam as perdas de água de arrefecimento do equipamento, a água usada na lavagem de pavimentos, cantina, chuveiros, escritórios e outras. A caracterização das águas residuais não era totalmente conhecida na vidreira portuguesa, de modo que foi necessário recorrer a dados publicados pelo BUWAL.

Tabela 11 Águas residuais do processo de fabrico das garrafas de vidro  
(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Descrição                             | Águas residuais<br>(kg/ garrafa) |                |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------|
|                                       | Retornável                       | Não-retornável |
| Efluente                              | 0,48216000                       | 0,37800000     |
| Sólidos suspensos totais, SST         | 0,00056702                       | 0,00044453     |
| Carência bioquímica de oxigénio, CBO5 | 0,00000029                       | 0,00000023     |
| Carência química de oxigénio, CQO     | 0,00000212                       | 0,00000166     |
| Óleos, gorduras                       | 0,00001049                       | 0,00000822     |

Na Tabela 12 são apresentados os dados de emissões gasosas provenientes do processo de fabrico das garrafas de vidro. Estes são devidos à queima de combustíveis e também das matérias-primas. Os dados de emissões gasosas foram obtidos através da média de duas medições efectuadas na

vidreira portuguesa e comparados com dados publicados pelo BUWAL, verificando-se que havia concordância entre as duas fontes.

Tabela 12 Emissões gasosas do processo de fabrico das garrafas de vidro  
(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Descrição                           | Emissões gasosas<br>(kg/ garrafa) |                |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|                                     | Retornável                        | Não-retornável |
| Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub> | 0,04913440                        | 0,03852000     |
| Partículas                          | 0,00063714                        | 0,00049950     |
| Monóxido de carbono, CO             | 0,00002751                        | 0,00002157     |
| Óxidos de enxofre, SO <sub>2</sub>  | 0,00138660                        | 0,00108705     |
| Óxidos de azoto, NO <sub>x</sub>    | 0,00065608                        | 0,00051435     |
| Óxidos de azoto, N <sub>2</sub> O   | 0,00002421                        | 0,00001898     |
| Ácido clorídrico, HCl               | 0,00001980                        | 0,00001553     |
| Ácido fluorídrico, HF               | 0,00000208                        | 0,00000163     |
| Chumbo, Pb                          | 0,00001155                        | 0,00000905     |
| Cádmio, Cd                          | 0,00000022                        | 0,00000017     |
| Compostos orgânico voláteis, COV    | 0,00001176                        | 0,00000922     |
| Zinco, Zn                           | 0,00000205                        | 0,00000160     |

Na Tabela 13 são apresentados os resíduos sólidos mais comuns na empresa produtora de garrafas de vidro. Estes são: sucata, latas de óleo vazias, peças e equipamentos velhos, óleos queimados e resíduos da estação de tratamento de casco, por exemplo, plásticos, metais, têxteis, cerâmicos, vidros de janela, tijolos, rolhas de cortiça, tampas de alumínio e folha-de-flandres, etc.

O consumo específico de resíduos sólidos foi calculado de forma proporcional à massa de cada garrafa, uma vez ser conhecido o valor total de resíduos sólidos gerados por unidade de massa de vidro produzido.

Tabela 13 Resíduos sólidos do processo de fabrico das garrafas de vidro  
(Fonte: vidreira portuguesa, 1997)

| Descrição                                  | Resíduos sólidos<br>(kg/ garrafa) |                |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|                                            | Retornável                        | Não-retornável |
| Sucata                                     | 0,0003                            | 0,0002         |
| Óleos                                      | 0,0008                            | 0,0007         |
| Resíduos da estação de tratamento de casco | 0,0009                            | 0,0007         |

### *Lavagem, enchimento, fecho, pasteurização, rotulagem e condicionamento de garrafas de vidro*

A Figura 7 representa os principais débitos de entrada e saída dos processos considerados na cervejeira: lavagem, enchimento, fecho, pasteurização, rotulagem e condicionamento de garrafas de vidro.

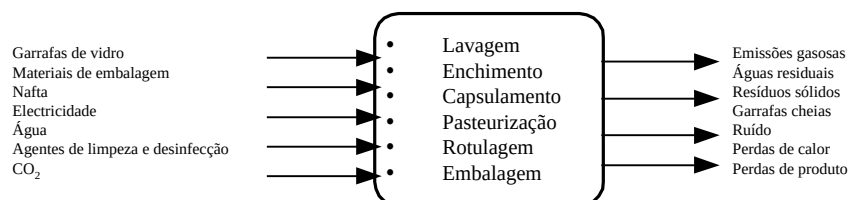


Figura 7 Débitos de entrada e saída dos processos considerados na cervejeira

A fim de se poderem visualizar melhor as diferenças, são apresentadas nas Figuras 8 e 9 as linhas de enchimento de garrafas de tara retornável e de tara perdida, respectivamente.

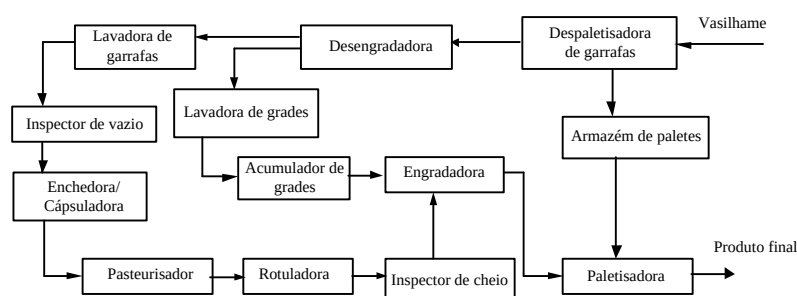


Figura 8 Linha de enchimento de garrafas de tara retornável

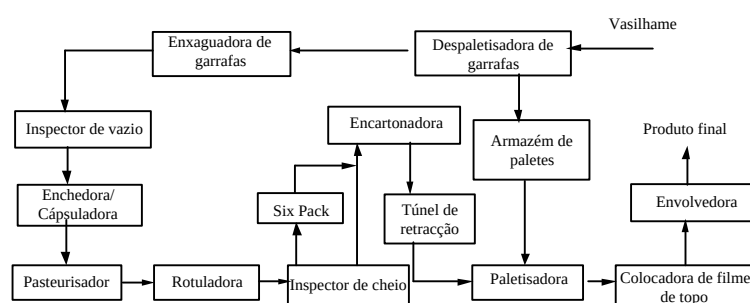


Figura 9 Linha de enchimento de garrafas de tara perdida

Tanto o transporte de garrafas cheias como o transporte de garrafas vazias é efectuado com as garrafas em paletes. As garrafas retornáveis são distribuídas em grades de 24 garrafas e as garrafas não-retornáveis são distribuídas em caixas de cartão canelado de 24 garrafas e/ou tabuleiros de cartolina de 6 ou de 10 garrafas.

As garrafas retornáveis quando são reutilizadas têm de ser bem lavadas com água quente e soda cáustica e da mesma forma as grades de plástico que lhes estão associadas. As garrafas não-retornáveis apenas são enxaguadas pois são usadas apenas uma vez. Após a lavagem, todas as garrafas têm de ser inspeccionadas em vazio para verificar se existem potenciais pontos de quebra na parede de vidro da garrafa. As garrafas retornáveis têm normalmente uma inspecção mais rigorosa pois como são reutilizadas várias vezes, acabam por ficar com a superfície do vidro muito riscada. Apesar deste facto poder não afectar a sua resistência mecânica é um ponto desfavorável do ponto de vista comercial. Além da inspecção em vazio também existe a inspecção em cheio para verificar a existência de deficiências que possam colocar a garrafa em risco de ruptura durante o transporte e distribuição.

A cervejeira reutiliza cerca de 85% destas garrafas, sendo as restantes não-retornáveis. Do total destas garrafas que quebram acidentalmente ou que são rejeitadas na inspecção em vazio e em cheio, cerca de 93% são retornáveis e as restantes não-retornáveis.

As garrafas são cheias sob pressão, usando-se dióxido de carbono, não só para o processo enchimento mas também para garantir que o nível recomendável deste gás na cerveja. Logo após o enchimento as garrafas são capsuladas. De seguida todas as garrafas são pasteurizadas usando-se para isso, vapor de água. Após a pasteurização as garrafas são rotuladas e novamente inspeccionadas. Finalmente, as garrafas retornáveis são dispostas em grades de 24 unidades e as garrafas não-retornáveis são colocadas em caixas de 24 unidades, podendo ser previamente ou não, agrupadas em tabuleiros de 6 garrafas e a seguir todas são paletizadas para seguirem para a distribuição.

Comparando as linhas de enchimento das garrafas retornável e não-retornável, é de referir, que da linha de enchimento das garrafas retornáveis resultam grandes quantidades de águas residuais provenientes essencialmente das lavadoras de garrafas e de grades, que têm de ser tratadas na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) da cervejeira. Nas águas residuais destas lavadoras há sempre resíduos de papeis dos rótulos velhos, lama, soda cáustica, restos de cerveja e outros líquidos que o consumidor guarda temporariamente dentro destas garrafas. A ETAR possui apenas a fase de tratamento primário das águas residuais. Nesta existe um rector anaeróbio após o qual não existe qualquer tipo de tratamento secundário. Assim o tipo de efluente que se obtém contém um elevado teor de sólidos e cargas orgânicas ainda muito elevadas.

Nas Tabelas 14 a 22 são apresentados os consumo de materiais, energia e emissões poluentes resultantes dos processos mencionados. Os consumos de materiais de embalagem e de agentes químicos para lavagem de garrafas e desinfecção são bem conhecidos por garrafa. Os valores dos

consumos de água, energia, CO<sub>2</sub>, de águas residuais e de resíduos sólidos são conhecidos por linha de enchimento, por repartição ou no total da cervejeira. Nas linhas de enchimento de garrafas retornáveis e não-retornáveis podem-se encher outros tipos de garrafas diferentes das deste estudo (p.ex. de outras marcas comerciais). Assim, foi necessário determinar a quantidade de garrafas em estudo cheias em cada linha, para se calcularem os respectivos valores específicos de forma proporcional a essa quantidade.

As emissões gasosas provêm da central de co-geração de electricidade e vapor, usando-se nafta como combustível. Estes valores foram determinados através da base de dados do BUWAL, que fornece valores de emissões gasosas em unidades de massa por unidade de electricidade produzida. Assim, conhecendo os consumos específicos totais de electricidade das garrafas retornável e não-retornável são calculados os respectivos valores específicos de emissões gasosas de forma directa.

Tabela 14 Consumo de materiais de embalagem para o enchimento e condicionamento de garrafas  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                                  | Consumo de materiais de embalagem<br>(kg/ garrafa) |                |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|
|                                            | Retornável                                         | Não-retornável |
| Garrafa 0,33 litros                        | 0,2870                                             | 0,2250         |
| Cápsulas                                   | 0,0024                                             | 0,0024         |
| Rótulos                                    | 0,0006                                             | 0,0006         |
| Cola de Caseína                            | 0,0002                                             | 0,0006         |
| Cordão para atadora de grades              | 0,0060                                             | -              |
| Tabuleiros de cartolina e caixas de cartão | -                                                  | 0,0088         |
| Filme retráctil e filme de topo            | -                                                  | 0,0009         |
| Cola Hot-Melt                              | -                                                  | 0,0001         |

Tabela 15 Consumo de CO<sub>2</sub> para o enchimento de garrafas e produção de cerveja  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição  | Consumo de CO <sub>2</sub><br>(kg/ garrafa) |                |
|------------|---------------------------------------------|----------------|
|            | Retornável                                  | Não-retornável |
| Adegas     | 0,0013                                      | 0,0008         |
| Enchimento | 0,0020                                      | 0,0014         |

Tabela 16 Consumo de agentes químicos  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                        | Consumo de agentes químicos<br>(kg/ garrafa) |                |
|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------|
|                                  | Retornável                                   | Não-retornável |
| Agentes de limpeza e desinfecção | 1,5288                                       | 0,9804         |
| Lubrificante à base de sabão     | 0,0123                                       | 0,0058         |
| HCl e NaOH para a ETAR           | 0,0007                                       | 0,0004         |

Tabela 17 Consumo de água nos processos descritos  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                         | Consumo de água<br>(dm <sup>3</sup> / garrafa) |                |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|----------------|
|                                   | Retornável                                     | Não-retornável |
| Vapor                             | 0,3087                                         | 0,2058         |
| CO <sub>2</sub>                   | 0,1151                                         | 0,1151         |
| Salas de fabrico                  | 0,8899                                         | 0,8899         |
| Adegas                            | 0,3317                                         | 0,3317         |
| Enchimento                        | 1,3736                                         | 0,9158         |
| Outros (logística, cantina, etc.) | 0,1900                                         | 0,1900         |
| ETAR                              | 0,0087                                         | 0,0058         |
| Administração e serviços sociais  | 0,0470                                         | 0,0470         |

Tabela 18 Consumo de electricidade nos processos descritos  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                         | Consumo de electricidade<br>(MJ/ garrafa) |                |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
|                                   | Retornável                                | Não-retornável |
| Água                              | 0,0200                                    | 0,0067         |
| Vapor                             | 0,0087                                    | 0,0029         |
| Frio                              | 0,1272                                    | 0,1272         |
| CO <sub>2</sub>                   | 0,0113                                    | 0,0113         |
| Ar                                | 0,0264                                    | 0,0264         |
| Salas de fabrico                  | 0,0132                                    | 0,0132         |
| Adegas                            | 0,0214                                    | 0,0214         |
| Enchimento                        | 0,0784                                    | 0,0261         |
| Outros (logística, cantina, etc.) | 0,0161                                    | 0,0161         |
| ETAR                              | 0,0046                                    | 0,0015         |
| Administração e serviços sociais  | 0,0216                                    | 0,0216         |

Tabela 19 Consumo de nafta nos processos descritos  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição        | Consumo de nafta<br>(MJ/ garrafa) |                |
|------------------|-----------------------------------|----------------|
|                  | Retornável                        | Não-retornável |
| Salas de fabrico | 0,1605                            | 0,1605         |
| Adegas           | 0,0031                            | 0,0031         |
| Enchimento       | 0,1160                            | 0,0387         |

Tabela 20 Quantidade e composição das águas residuais  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                             | Águas residuais<br>(kg/ garrafa) |                |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------|
|                                       | Retornável                       | Não-retornável |
| Efluente                              | 0,9845                           | 0,6563         |
| Sólidos suspensos totais, SST         | 0,0002                           | 0,0001         |
| Carência bioquímica de oxigénio, CBO5 | 0,0005                           | 0,0003         |
| Carência química de oxigénio, CQO     | 0,0009                           | 0,0006         |
| Óleos, gorduras                       | 0,0007                           | 0,0005         |

Tabela 21 Emissões gasosas da central de co-geração, para uma eficiência térmica de 92,5% e 84,4% na produção de electricidade e vapor respectivamente, usando nafta como combustível  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Descrição                           | Emissões gasosas<br>(kg/ garrafa) |                |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|                                     | Retornável                        | Não-retornável |
| Partículas                          | 0,00000330                        | 0,00000296     |
| Óxidos de enxofre, SO <sub>2</sub>  | 0,00010125                        | 0,00009082     |
| Compostos orgânicos voláteis, COV   | 0,00000124                        | 0,00000111     |
| Óxidos de azoto, NO <sub>x</sub>    | 0,00002670                        | 0,00002395     |
| Óxidos de azoto, N <sub>2</sub> O   | 0,00000231                        | 0,00000207     |
| Monóxido de carbono, CO             | 0,00000094                        | 0,00000084     |
| Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub> | 0,01199265                        | 0,01075706     |

Tabela 22 Resíduos sólidos inerentes dos processos de enchimento de garrafas e da ETAR  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Descrição                                 | Resíduos sólidos<br>(kg/ garrafa) |                |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|                                           | Retornável                        | Não-retornável |
| Garrafas de cerveja partidas*             | 0,0083                            | 0,0028         |
| Kieselgur, matéria seca, lama             | 0,0008                            | 0,0006         |
| Papel, cartão, cartolina, plástico, metal | 0,0002                            | 0,0003         |

\*Casco de vidro com destino à reciclagem

### Transporte e distribuição de garrafas de vidro

Na figura 10 estão representadas as etapas do transporte de garrafas consideradas no cálculo do consumo de combustível.

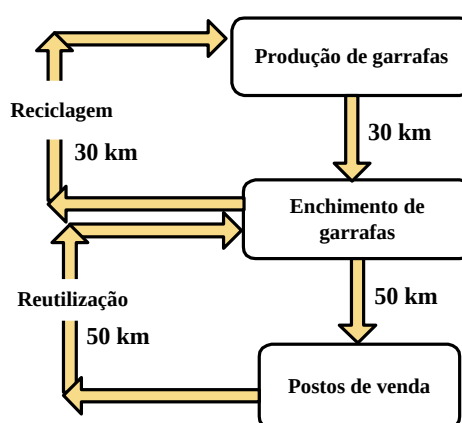


Figura 10 Transporte considerado para o cálculo do consumo de combustível

Como meio de transporte são usados camiões a gasóleo que consomem cerca de 10,08MJ/km para uma carga transportada de 10 toneladas (BUWAL, 1991 e 1997). Não foi considerado o transporte

do consumidor para os vidrões e deste para a empresa produtora de garrafas, pois todo o casco de vidro que entra na reciclagem e produção de novas garrafas provém da cervejeira, resultante das quebras nas linhas de enchimento. O vidro que é recolhido nos vidrões é uma mistura de vidro verde, âmbar e branco e normalmente esta mistura entra apenas na produção de vidro de cor verde. Na produção de garrafas de cor âmbar apenas é usado casco de vidro desta cor, por isso o vidro dos vidrões não entra na sua produção.

Estimam-se cerca de 250 toneladas mensais de garrafas que quebram nas linhas de enchimento e que são vendidas à empresa produtora de garrafas para reciclar. Destas garrafas cerca de 93% são retornáveis e as restantes não-retornáveis. Este facto deve-se apenas ao sistema de inspecção automática de garrafas em vazio que está programado para rejeitar garrafas que estejam muito riscadas pelo uso e que por isso podem prejudicar a sua imagem comercial.

Assim o transporte considerado foi:

- o transporte de garrafas do produtor para a cervejeira (transporte 1);
- o transporte da cervejeira para o consumidor (transporte 2);
- o transporte de garrafas para novo enchimento (transporte 3);
- o transporte de casco da cervejeira para o produtor (transporte 4).

A distância entre as duas empresas é conhecida mas a distância considerada na distribuição de garrafas para os postos de venda teve que ser assumida. A exactidão desta hipótese não é relevante uma vez que o objectivo é comparar o consumo de combustível pela garrafa retornável e não-retornável. Assim considerando que ambas as garrafas vão para os mesmos postos de venda, i.e., a distância percorrida na distribuição é igual, a única diferença é a carga do camião que vai influenciar o consumo específico de combustível por cada quilómetro percorrido.

Tabela 23 Consumo de gasóleo no transporte de garrafas e casco de vidro

(Fonte: vidreira e cervejeira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Descrição                        | Transporte 1 |                | Transporte 2 |                | Transp.3   | Transporte 4* |                |
|----------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|------------|---------------|----------------|
|                                  | Retornável   | Não-retornável | Retornável   | Não-retornável | Retornável | Retornável    | Não-retornável |
| Carga do camião (kg)             | 9860         | 9200           | 16550        | 13830          | 8947       | 12720         |                |
| Número de garrafas transportadas | 33300        | 36720          | 23040        | 23040          | 23040      | 41850         | 3150           |
| Número de paletes por camião     | 20           | 20             | 20           | 15             | 20         | -             | -              |
| Distância percorrida (km)        | 30           |                | 50           |                | 50         | 30            |                |
| Consumo de gasóleo (MJ/ garrafa) | 0,0090       | 0,0076         | 0,0362       | 0,0303         | 0,0196     | 0,0087        | 0,0068         |

\* o mesmo camião transporta ambas as garrafas, sendo 93% de garrafas retornáveis.

De referir que além dos consumos de combustível, também advêm das actividades de transporte, as emissões gasosas (p.ex. da queima dos combustíveis), os resíduos sólidos (de sucata, manutenção e

substituição de peças), o consumo de água e as águas residuais (p.ex. resultante das lavagens do camião).

Um camião pode produzir quantidades diferentes de emissões gasosas na queima da mesma quantidade de combustível, dependendo do tipo de percurso, das condições atmosféricas, temperatura do motor, etc.

As emissões gasosas, os resíduos sólidos, as águas residuais e o consumo de água, também dependem muito da idade do camião, da marca, do historial do camião (p.ex. o tipo de manutenção que é efectuada), etc.

Devido aos motivos apresentados não foi possível quantificar as emissões e os resíduos resultantes das actividades de transporte, o que pressupõe que estes são iguais no caso de ambas as garrafas. De referir ainda, que caso tivessem sido quantificados os valores específicos para a garrafa retornável seriam mais elevados. Assim, não é esta hipótese que vai alterar as conclusões gerais deste estudo.

## 2.4 Análise de impactos

As categorias de impactos ambientais podem ser classificadas em diferentes grupos consoante sejam impactos de âmbito global, continental, regional e local. Por vezes podem existir categorias de impactos que se adequam aos três grupos, como por exemplo, a toxicidade ambiental. No entanto, há sempre um grupo ao qual uma categoria de impacto se adequa mais (p.ex. um local ou região pode estar mais exposto a esse impacto do que outros locais).

Até à data ainda não se chegou a um consenso acerca da adopção nos estudos de ACV, de um único conjunto de categorias de impactos ambientais. A escolha das categorias de impacto tem sido deixada ao critério do responsável por cada estudo. Assim, existem selecções efectuadas pelos principais grupos de trabalho activos nesta área (Jensen et al., 1997). Estas encontram-se apresentadas na Tabela 24 e são apenas um exemplo de muitas outras que existem.

Tabela 24 Lista de categorias de impacto seleccionadas por vários grupos de trabalho (Jensen et al., 1997)

| <b>“Leiden List”<br/>SETAC-Europe (1992)</b> | <b>SETAC “default list”<br/>Udo de Haes (1996)</b> | <b>“Nordic list”<br/>Lindfors et al. (1995)</b>          | <b>ISO (1997)<br/>Preliminary list</b>       |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Não-renováveis                               | Recursos abióticos                                 | Energia e materiais                                      | Recursos abióticos                           |
| Escasso renovável                            | Recursos bióticos                                  | Água                                                     | Recursos bióticos                            |
| Aquecimento global                           | Solo                                               | Solo                                                     | Utilização do solo                           |
| Toxicidade humana                            | Aquecimento global                                 | Aquecimento global                                       | Aquecimento global/<br>alterações climáticas |
| Segurança ocupacional                        | Depleção do ozono estratosférico                   | Depleção do ozono estratosférico                         | Depleção do ozono estratosférico             |
| Toxicidade ambiental                         | Impactos toxicológicos humanos                     | Saúde humana toxicológica excl. ambiente de trabalho     | Toxicidade humana                            |
| Formação de foto-oxidantes                   | Impactos ecotoxicológicos                          | Saúde humana não-toxicológica excl. ambiente de trabalho | Ecotoxicidade                                |
| Acidificação                                 | Formação de foto-oxidantes                         | Impactos na saúde humana no ambiente de trabalho         | Formação de oxidantes fotoquímicos (“smog”)  |
| Eutrofização                                 | Acidificação                                       | Impactos ecotoxicológicos                                | Acidificação                                 |
| Descargas, CQO                               | Eutrofização (incl. CBO e calor)                   | Formação de foto-oxidantes                               | Eutrofização                                 |
| Efeitos do calor residual na água            | Odor                                               | Acidificação                                             |                                              |
| Odor e ruído                                 | Ruído                                              | Eutrofização                                             |                                              |
| Necessidade de espaço                        | Radiação                                           | Alterações no habitat e na diversidade biológica         |                                              |
| Resíduos sólidos finais (perigosos)          | casualidades                                       |                                                          |                                              |
| Resíduos sólidos finais (não-perigosos)      |                                                    |                                                          |                                              |

Também na avaliação dos impactos ambientais as opiniões divergem. Existem vários métodos para avaliação dos impactos, como por exemplo o método dos “volumes críticos” de Habersatter (1991), o método do sistema EPS desenvolvido por Steen e Ryding em 1992 e o método dos “potenciais de formação dos impactos” para o qual contribuíram vários autores (Jensen et al., 1997). Muitos dos métodos que existem entram com diferentes considerações e medidas de avaliação dos impactos (Jensen et al., 1997).

### **2.4.1 Classificação**

Nesta etapa as quantidades de emissões geradas, o consumo de energia e matérias-primas (débitos de entrada e saída do sistema) foram agrupados em categorias de impacto. As categorias de impacto que foram seleccionadas neste estudo tem efeito apenas à escala local. Estas são:

- Consumo de materiais
- Consumo de água
- Consumo de energia
- Emissões gasosas
- Águas residuais
- Produção de resíduos sólidos

Além das categorias de impacto com efeitos à escala local, também existem outras à escala regional e global, tais como, potencial de depleção da camada do ozono, biotoxidade, potencial de aquecimento global, barulho, odores, etc., que não foram consideradas.

O motivo de se terem escolhido estas categorias de impacto deve-se ao facto de estas serem as que melhor traduzem os dados de inventário e as que melhor se adaptam ao método de avaliação escolhido. Para se estudarem outras categorias já era necessário recolher outro tipo de dados, de âmbito regional ou global, tornando o estudo ainda mais complexo.

### 2.4.2 Caracterização

Na caracterização estimam-se as contribuições relativas de cada dado de entrada e saída para os impactos globais. Neste estudo adoptou-se o “método dos volumes críticos” desenvolvido por Habersatter em 1991. A razão da escolha deste método deve-se ao facto de este caracterizar bem as categorias de impacto seleccionadas na etapa de classificação e também por este ser um método já bastante antigo e que já foi testado muitas vezes em estudos anteriores (SETAC, 1992). Outros métodos existentes abrangem outras categorias de impacto que não foram seleccionadas na etapa de classificação. O método dos volumes críticos caracteriza cada emissão em termos do volume de ar e água necessários para a diluir até um limite estabelecido. O resultado expressa-se em termos do volume total, representando a soma dos volumes individuais de diluição.

Os valores correspondentes a cada categoria de impacto foram agregados de forma a quantificar as seguintes cargas ambientais:

- i) o consumo total de materiais é a soma de todas as quantidades de materiais que são consumidas no sistema e é expresso em termos de unidades de massa por unidade de garrafa [kg/garrafa];
- ii) o consumo total de água é a soma de toda a água necessária para o sistema, expresso em termos de volume por unidade de garrafa [dm<sup>3</sup>/garrafa];
- iii) o consumo total de energia é estabelecido como um “valor de energia equivalente”,  $E_{eq}$  (equação 1). Este é simplesmente a soma da energia necessária para todo o sistema, expressa em termos de energia por unidade de garrafa [MJ/garrafa],

$$E_{eq}[\text{MJ}] = E_t[\text{MJ}] + \frac{3,6}{\eta} E_{el}[\text{kWh}] \quad (1)$$

em que  $E_{eq}$  é a energia equivalente,  $E_t$  é a energia térmica,  $E_{el}$  é a energia eléctrica e  $\eta$  é a eficiência ( $\eta=0,378$ ) de acordo com a UCPTE (BUWAL, 1991);

- iv) os valores correspondentes às quantidades de emissões gasosas e de águas residuais geradas no sistema são agregados pelo “método dos volumes críticos”, a partir do qual se calculam os volumes críticos de água e ar poluídos. As unidades são expressas em volume de ar e água poluídos por unidade de garrafa [m<sup>3</sup>/garrafa].

Segundo um estudo realizado por Habersatter em 1991, os valores de emissões de cada espécie, “i”, são qualificados pelos seus padrões de qualidade para a saúde humana, em unidades apropriadas,

de modo a se ter a concentração crítica para cada espécie de substância, “ $c_{a,i}$ ”, i.e., a partir da qual se causam danos na saúde humana.

O volume de ar poluído por substância emitida, também designado por volume crítico, “ $V_{a,i}$ ”, é calculado dividindo o valor da quantidade emitida de cada substância, “ $e_{a,i}$ ”, pela concentração máxima aceitável por substância emitida “ $c_{a,i}$ ”, do seguinte modo:

$$V_{a,i} = 10^6 \frac{e_{a,i}}{c_{a,i}} \left[ m^3 / garrafa \right] \quad (2)$$

O volume total de ar poluído é obtido adicionando os volumes críticos de todos os poluentes emitidos no sistema (Tabelas 25 e 26).

$$V_a = \sum_i V_{a,i} = \sum_i 10^6 \frac{e_{a,i}}{c_{a,i}} \left[ m^3 / garrafa \right] \quad (3)$$

em que “ $c_{a,i}$ ” é a concentração crítica de substância “i” na atmosfera expressa em unidades de massa de substância emitida por volume de ar [ $mg/m^3$ ] e “ $e_{a,i}$ ” é a quantidade de substância, “i”, emitida para a atmosfera expressa em unidades de massa por unidade de garrafa [ $kg/garrafa$ ].

Tabela 25 Volume crítico de ar associado à produção de garrafas de vidro (Habersatter, 1991)

| Emissões gasosas*                  | Concentrações críticas<br>( $mg/m^3$ ) | Volume Crítico de ar ( $m^3/garrafa$ ) |                |
|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------|
|                                    |                                        | Retornável                             | Não-retornável |
| Partículas                         | 0,07                                   | 9102                                   | 7136           |
| Monóxido de carbono, CO            | 8                                      | 3,4                                    | 2,7            |
| Óxidos de enxofre, SO <sub>2</sub> | 0,03                                   | 46220                                  | 36235          |
| Óxidos de azoto, NO <sub>x</sub>   | 0,03                                   | 21869                                  | 17145          |
| Óxidos de azoto, N <sub>2</sub> O  | 0,03                                   | 807                                    | 633            |
| Ácido clorídrico, HCl              | 0,1                                    | 198                                    | 155            |
| Ácido fluorídrico, HF              | 0,05                                   | 42                                     | 33             |
| Chumbo, Pb                         | 0,0001                                 | 115463                                 | 90520          |
| Cádmio, Cd                         | 0,00001                                | 21656                                  | 16978          |
| Compostos orgânico voláteis, COV   | 15                                     | 0,78                                   | 0,61           |
| Total                              |                                        | 215362                                 | 168838         |

\* Não existe concentração crítica para o CO<sub>2</sub>

Tabela 26 Volume crítico de ar associado às operações efectuadas na cervejeira (Habersatter, 1991)

| Emissões gasosas*                  | Concentrações críticas<br>( $mg/m^3$ ) | Volume Crítico de ar ( $m^3/garrafa$ ) |                |
|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------|
|                                    |                                        | Retornável                             | Não-retornável |
| Partículas                         | 0,07                                   | 47,17                                  | 42,31          |
| Óxidos de enxofre, SO <sub>2</sub> | 0,03                                   | 3375,01                                | 3027,29        |
| Compostos orgânico voláteis, COV   | 15                                     | 0,08                                   | 0,07           |
| Óxidos de azoto, NO <sub>x</sub>   | 0,03                                   | 889,98                                 | 798,29         |
| Óxidos de azoto, N <sub>2</sub> O  | 0,03                                   | 76,90                                  | 68,98          |
| Monóxido de carbono, CO            | 8                                      | 0,12                                   | 0,11           |
| Total                              |                                        | 4389                                   | 3937           |

\* Não existe concentração crítica para o CO<sub>2</sub>

Um procedimento semelhante é usado para calcular o “volume crítico de água poluída” (Tabelas 27 e 28):

$$V_w = \sum_i V_{w,i} = \sum_i 10^6 \frac{e_{w,i}}{c_{w,i}} \left[ dm^3 / garrafa \right] \quad (4)$$

em que “ $c_{w,i}$ ” é a concentração crítica de substância “i” na água expressa em unidades de massa de substância emitida por volume de água [ $mg/dm^3$ ] e “ $e_{w,i}$ ” é a quantidade de substância, “i”, emitida para a água expressa em unidades de massa por unidade de garrafa [ $kg/garrafa$ ].

Tabela 27 Volume crítico de água associado à produção de garrafas de vidro (Habersatter, 1991)

| Emissão                               | Concentração crítica<br>( $mg/dm^3$ ) | Volume crítico de água ( $dm^3/garrafa$ ) |                |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
|                                       |                                       | Retornável                                | Não-retornável |
| Sólidos suspensos totais, SST         | 20                                    | 28,351                                    | 22,226         |
| Carência bioquímica de oxigênio, CBO5 | 20                                    | 0,014                                     | 0,011          |
| Carência química de oxigênio, CQO     | 30                                    | 0,071                                     | 0,055          |
| Óleos, gorduras                       | 20                                    | 0,525                                     | 0,411          |
| Total                                 |                                       | 28,90                                     | 22,70          |

Tabela 28 Volume crítico de água associado às operações efectuadas na cervejeira (Habersatter, 1991)

| Emissão                               | Concentração crítica<br>( $mg/dm^3$ ) | Volume crítico de água ( $dm^3/garrafa$ ) |                |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
|                                       |                                       | Retornável                                | Não-retornável |
| Sólidos suspensos totais, SST         | 20                                    | 9,77                                      | 6,51           |
| Carência bioquímica de oxigênio, CBO5 | 20                                    | 22,53                                     | 15,02          |
| Carência química de oxigênio, CQO     | 30                                    | 31,57                                     | 21,05          |
| Óleos, gorduras                       | 20                                    | 34,39                                     | 22,93          |
| Total                                 |                                       | 98,26                                     | 65,51          |

v) os resíduos sólidos são calculados como a soma de todos os resíduos sólidos gerados pelo sistema e exprimem-se em unidades de massa por unidade de garrafa [ $Kg/garrafa$ ].

### 2.4.3 Avaliação

Nesta etapa as contribuições das diferentes categorias de impacto foram “pesadas” e comparadas entre si, de forma a se poder obter alguma interpretação dos dados do inventário. O procedimento que se usa normalmente na comparação de embalagens é através da determinação das contribuições percentuais de ambas as garrafas por categoria de impacto, tal como mostra a Tabela 29. Deste modo a comparação é efectuada por percentagens e não por unidades de impacto. Este método apesar de ter sido adoptado em vários estudos, não é muito correcto, mas até existir um melhor ou normas internacionais padronizadas para se efectuarem estas avaliações, este procedimento é uma boa alternativa.

Tabela 29 Comparação das duas garrafas por categoria de impacto

| Categoria de impacto     | Retornável | Não-retornável | $\Sigma$ |
|--------------------------|------------|----------------|----------|
| Consumo de materiais     |            |                |          |
| kg/garrafa               | 2,1793     | 1,4922         | 3,6715   |
| %                        | 59,36      | 40,64          |          |
| Consumo de água          |            |                |          |
| dm <sup>3</sup> /garrafa | 3,753      | 3,087          | 6,8400   |
| %                        | 54,87      | 45,13          |          |
| Consumo de energia       |            |                |          |
| MJ/garrafa               | 3,3391     | 2,6001         | 5,9392   |
| %                        | 56,22      | 43,78          |          |
| Volume crítico de ar     |            |                |          |
| m <sup>3</sup> /garrafa  | 219751     | 172775         | 392526   |
| %                        | 55,98      | 44,02          |          |
| Volume crítico de água   |            |                |          |
| dm <sup>3</sup> /garrafa | 127,161    | 88,214         | 215,3750 |
| %                        | 59,04      | 40,96          |          |
| Resíduos sólidos gerados |            |                |          |
| kg/garrafa               | 0,0114     | 0,0052         | 0,0166   |
| %                        | 68,67      | 31,33          |          |

A comparação entre diferentes categorias de impacto é efectuada pela atribuição de valores ou factores peso, pois não se pode fazer uma comparação directa entre categorias com dimensões diferentes. Estes factores peso são baseados por exemplo, em análises de risco ambiental (Lox, 1994; Allen, 1997) ou na maioria das vezes são apenas valores sociais e preferências. Deste modo neste estudo foram utilizados os seguintes factores peso por forma a quantificar e agregar as categorias de impacto: consumo de materiais, 0,2; consumo de água, 0,3; consumo de energia, 0,05; volume crítico de ar, 0,05; volume crítico de água, 0,1; resíduos sólidos gerados, 0,3, tal como mostra na Tabela 30.

Segundo o procedimento habitual de se efectuar a comparação, os factores peso foram multiplicados pelas percentagens da Tabela 29 e representados na Tabela 30 e Figura 11. Este método permite fácil e rapidamente avaliar alternativas através de indicadores (valores sem significado físico). É no entanto necessário efectuar uma análise de sensibilidade para averiguar a influencia dos factores peso escolhidos nos resultados do estudo. Neste estudo introduz-se uma pequena variante, ao multiplicarem-se os factores peso pelos valores específicos de cada garrafa (Tabela 30). Assim, supondo que os factores peso são medidos em unidades de “impacto” por unidade de massa, unidade de volume ou unidade de energia, dependendo da categoria de impacto que se está a considerar, ao serem multiplicados pelos valores específicos de cada garrafa, obtêm-se unidades de “impacto por garrafa”. Com este procedimento pretendeu-se melhorar o método habitual e estabelecer-se uma base para efectuar a comparação entre categorias de impacto.

Tabela 30 Avaliação das diferentes categorias de impacto

| Categoria de impacto     | Factor peso | Retornável |                     | Não-retornável |                     |
|--------------------------|-------------|------------|---------------------|----------------|---------------------|
|                          |             | %          | Impacto/<br>garrafa | %              | Impacto/<br>garrafa |
| Consumo de materiais     | 0,20        | 11,87      | 0,44                | 8,13           | 0,30                |
| Consumo de água          | 0,30        | 16,46      | 1,13                | 13,54          | 0,93                |
| Consumo de energia       | 0,05        | 2,81       | 0,17                | 2,19           | 0,13                |
| Volume crítico de ar     | 0,05        | 2,80       | 10988               | 2,20           | 8639                |
| Volume crítico de água   | 0,10        | 5,90       | 12,72               | 4,10           | 8,82                |
| Resíduos sólidos gerados | 0,30        | 20,60      | 0,00342             | 9,40           | 0,00156             |
| Total                    | 1.00        | 60,45%     | 11002               | 39,55%         | 8649                |

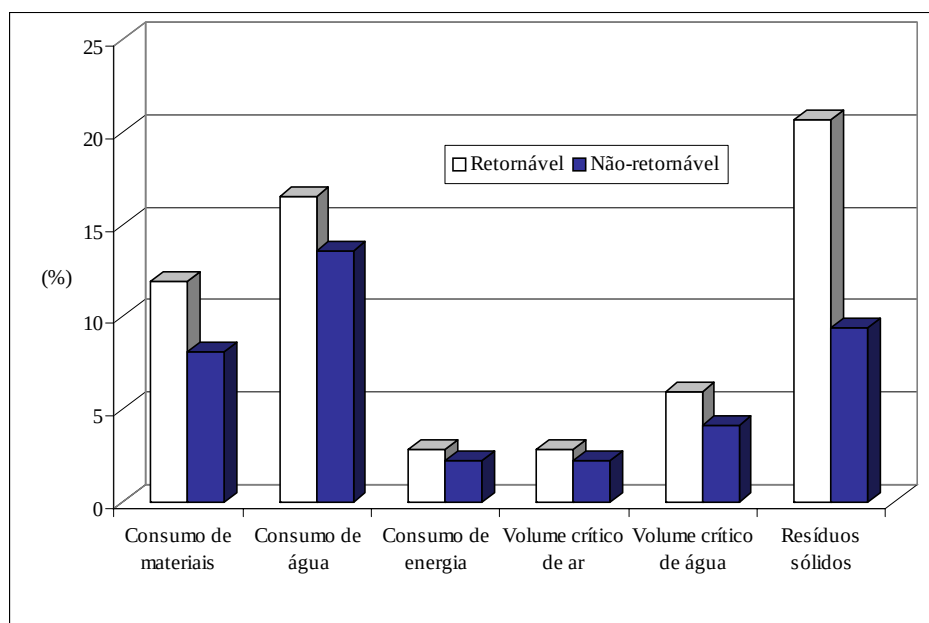


Figura 11 Dimensão de cada categoria de impacto

## 2.5 Interpretação dos resultados

De modo a avaliar a sensibilidade dos factores peso usados, foi seleccionado o conjunto de factores peso usados nos anos 70 pelo Midwest Research Institute, MRI, (Tabela 31). Esta sociedade que foi uma das pioneiras na área da ACV, usava os seguintes factores peso de acordo com SETAC, 1992: consumo de materiais, 0,05; consumo de água, 0,05; consumo de energia, 0,4; volume crítico de ar, 0,2; volume crítico de água, 0,2 e resíduos sólidos gerados, 0,1. Estes factores peso reflectem os problemas dessa altura, tendo sido atribuído à energia o valor mais alto por causa da crise do petróleo existente. Actualmente, o aumento da quantidade de resíduos sólidos é considerado um problema muito importante. Neste caso, além de se ter seguido o procedimento habitual, também se multiplicaram os factores peso pelos valores específicos de cada garrafa para se efectuar a comparação em unidades de “impacto por garrafa”. Este procedimento permite obter indicadores (valores sem significado físico, uma vez que não existem unidades de “impacto”) e de forma fácil e rápida compararem-se alternativas.

Tabela 31 Avaliação das diferentes categorias de impacto usando diferentes factores peso (SETAC, 1992)

| Categoria de impacto     | Factor peso | Retornável |                     | Não-retornável |                     |
|--------------------------|-------------|------------|---------------------|----------------|---------------------|
|                          |             | %          | Impacto/<br>garrafa | %              | Impacto/<br>garrafa |
| Consumo de materiais     | 0,05        | 2,97       | 0,11                | 2,03           | 0,07                |
| Consumo de água          | 0,05        | 2,74       | 0,19                | 2,26           | 0,15                |
| Consumo de energia       | 0,40        | 22,49      | 1,34                | 17,51          | 1,04                |
| Volume crítico de ar     | 0,20        | 11,20      | 43950               | 8,80           | 34555               |
| Volume crítico de água   | 0,20        | 11,81      | 25,43               | 8,19           | 17,64               |
| Resíduos sólidos gerados | 0,10        | 6,87       | 0,00114             | 3,13           | 0,00052             |
| Total                    | 1,00        | 58,07%     | 43977               | 41,93%         | 34574               |

A Figura 12 mostra a dimensão de cada categoria de impacto, comparando a garrafa de tara retornável com a garrafa de tara perdida.

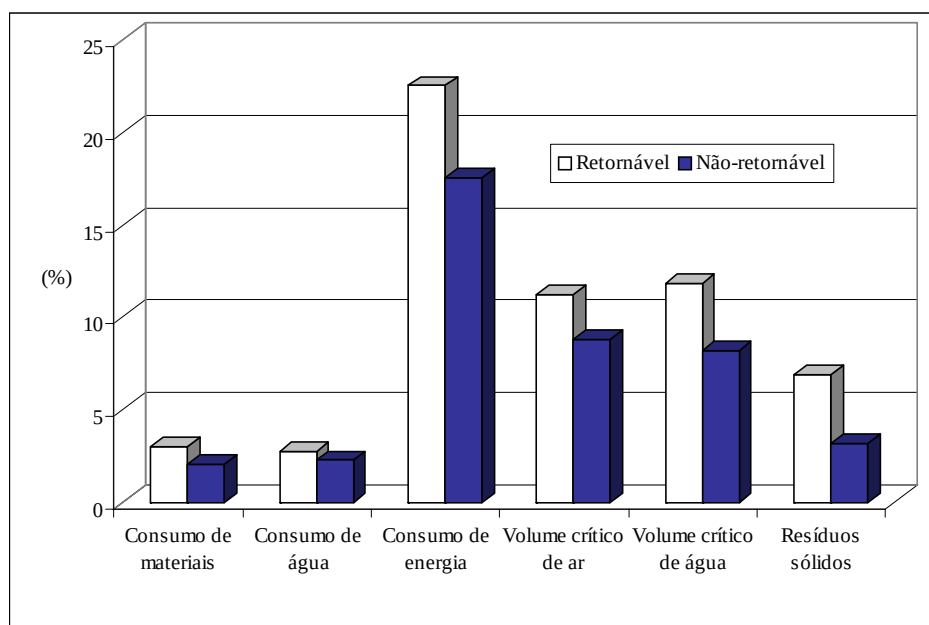


Figura 12 Dimensão de cada categoria de impacto com o uso de diferentes factores peso

Comparando as garrafas de cerveja de tara retornável e as de tara perdida a Tabela 30 mostra uma diferença de 21% enquanto que a Tabela 31 mostra uma diferença de 16%. Tal como seria de esperar, a dimensão de cada categoria de impacto varia, uma vez que a sua importância relativa também varia. O uso de diferentes factores peso depende muito de cada situação. Estes reflectem mais uma opinião pessoal do que uma aproximação científica, introduzindo subjectividade quando as categorias de impacto são relacionadas entre si.

Da Tabela 29, a comparação entre a garrafa de tara retornável e a garrafa de tara perdida revela diferenças consideráveis. A garrafa de tara retornável consome, por unidade de garrafa, 19% mais materiais, 10% mais água, 12% mais energia, tem um volume crítico de ar 12% mais elevado, tem um volume crítico de água 18% mais elevado e gera 11% mais de resíduos sólidos. Note-se que este estudo foi efectuado considerando apenas uma utilização da garrafa retornável. No entanto será de esperar que a partir de um determinado número de reutilizações (ou ciclos) a garrafa retornável se torne mais vantajosa do ponto de vista ambiental.

A análise de impactos ambientais deve ser específica de cada local. Por exemplo, os resíduos sólidos podem trazer mais problemas numa cidade do que num local não habitado. Algumas

categorias são menos dependentes da localização do que outras. No entanto, as opções locais ou regionais podem diferir das opções e políticas internacionais.

Podemos concluir da interpretação dos resultados que o uso de diferentes factores peso afecta apenas a dimensão de cada categoria de impacto. Quanto à comparação entre as duas garrafas, a retornável possui sempre impactos ambientais mais elevados independentemente dos factores peso usados. Assim podemos ainda concluir que apesar da escolha dos factores peso poder ser subjectiva e sujeita a opiniões diferentes, os resultados que se obtêm na comparação das duas garrafas e que dizem respeito ao objectivo deste estudo não se alteram. Note-se que este estudo foi efectuado considerando apenas uma utilização da garrafa retornável. No entanto será de esperar que a partir de um determinado número de reutilizações (ou ciclos) a garrafa retornável se torne mais vantajosa do ponto de vista ambiental.

## 2.6 Análise dos Processos de Reutilização e Reciclagem

De acordo com a Directiva EC/62/94 “reutilização e reciclagem devem ser formas preferenciais de recuperação dos resíduos de embalagem”.

As garrafas de vidro produzidas em Portugal, contêm cerca de 20 a 25% de casco misturado com as restantes matérias-primas. A seguir será apresentada uma análise da influência do uso de diferentes percentagens de vidro reciclado, no consumo de matérias-primas, energia e emissões gasosas.

Actualmente a cervejeira reutiliza 85,5% de garrafas de cerveja de 0,33 litros. Pretendeu-se estudar a influência do uso de maior ou menor quantidade de garrafas de tara retornável e de tara perdida, seguindo-se os processos usados no enchimento dessas garrafas. A seguir são apresentados os valores referentes aos consumos de materiais, energia e água assim como de emissões poluentes em função da percentagem de reutilização de garrafas. Ilustra-se também o efeito da variação da percentagem de reutilização nos impactos ambientais. O número total de garrafas (retornável e não-retornável) foi mantido constante e fez-se variar as percentagens de reutilização.

### 2.6.1 Reciclagem

Na Tabela 32 e Figura 13 mostra-se a influência do uso de vidro reciclado no consumo de matérias-primas primárias.

Tabela 32 Consumo de materiais em relação à quantidade de vidro reciclado

(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Vidro reciclado<br>(%) | Consumo de Materiais (kg/kg vidro) |                 |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|
|                        | Matérias-primas                    | Vidro reciclado |
| 11,90                  | 1,057                              | 0,143           |
| 20,00                  | 0,947                              | 0,237           |
| 35,00                  | 0,767                              | 0,413           |
| 56,20                  | 0,501                              | 0,642           |
| 74,80                  | 0,272                              | 0,809           |
| 99,40                  | 0,006                              | 1,000           |

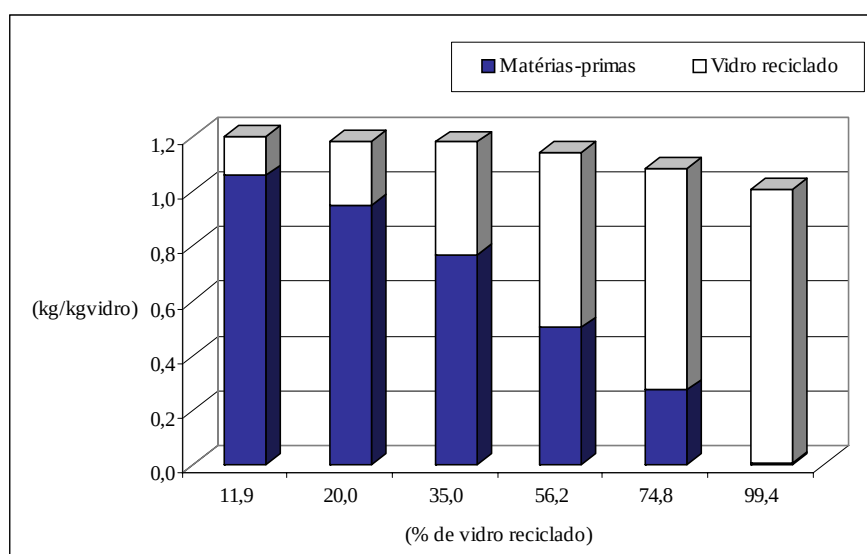


Figura 13 Consumo de materiais em relação à quantidade de vidro reciclado

Segundo a empresa portuguesa produtora de garrafas de vidro, para produzir um quilo de vidro é necessário cerca de 1,18 kg de matérias-primas (valor correspondente a 20% de casco de vidro). O que significa que cerca de 18% das matérias-primas que entram no forno são perdidas em grande parte como emissões gasosas. Segundo Lox (1994) as perdas são de 18,5%. Segundo Lund (1993) e um autor anónimo (1989) para produzir uma tonelada de vidro é suficiente uma tonelada de casco em vez de cerca de 1,2 toneladas de matéria-prima base. Considera-se normalmente que o casco de

vidro não sofre perdas. Portanto estas perdas referem-se apenas às matérias-primas e não ao casco de vidro que é novamente fundido, para dar origem a novas embalagens.

Também é possível reduzir a energia de fusão do vidro, através da adição de casco (Tabela 33 e Figura 14).

Tabela 33 Consumo de energia de fusão em relação à quantidade de vidro reciclado

(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Vidro reciclado<br>(%) | Energia de fusão<br>(MJ/kg vidro) |
|------------------------|-----------------------------------|
| 11,90                  | 7,23                              |
| 20,00                  | 6,88                              |
| 35,00                  | 6,38                              |
| 56,20                  | 5,88                              |
| 74,80                  | 5,56                              |
| 99,40                  | 5,13                              |

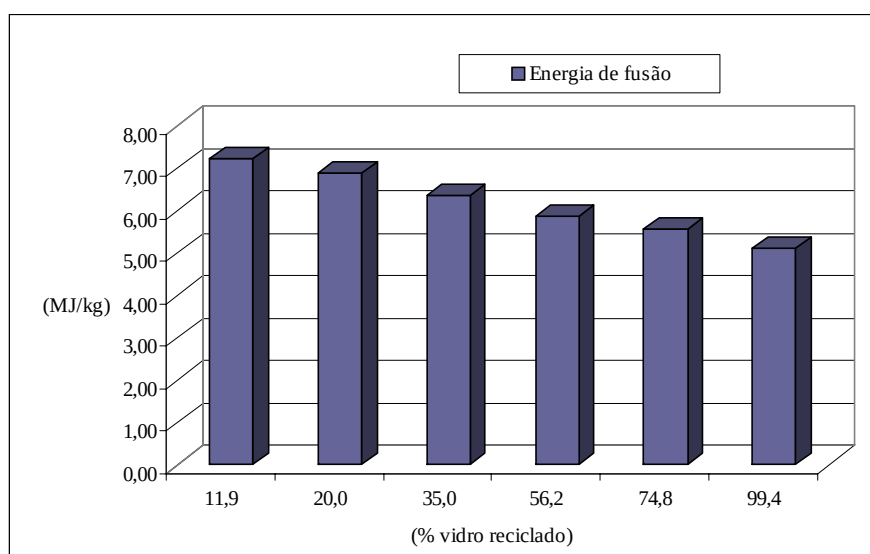


Figura 14 Consumo de energia de fusão em relação à quantidade de vidro reciclado

Verifica-se que por cada 10% a mais de casco gasta-se em média menos 3% de energia. Significa que para 100% de casco apenas se economiza cerca de 30% de energia de fusão quando comparado com o uso de 0% de casco de vidro.

Segundo Vigon (1988) pode-se economizar no máximo 33% de energia ao reciclar vidro, correspondente a 100% de casco em vez de 0%. Segundo um autor anónimo (1989) essa economia é de 22% e segundo Lund (1993) é de 25%, estimando-se no total que, por cada tonelada de casco incorporado em substituição de areia se economiza mais de 100Kg de combustível. Isto porque o

casco de vidro tem um ponto de fusão mais baixo do que as matérias-primas de base. Além de se poupar energia, consegue-se prolongar o tempo de vida útil do forno. Segundo Lund dependendo da quantidade de casco, a vida útil do forno pode-se prolongar em média, mais 15 a 20% do que sem vidro reciclado.

A análise da Tabela 34 e Figura 15, indica que com o aumento de vidro reciclado a quantidade de emissões gasosas por quilo de vidro produzido diminui.

Tabela 34 Emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado

(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Vidro reciclado<br>(%) | Emissões gasosas<br>(kg/kg vidro) |
|------------------------|-----------------------------------|
| 11,90                  | 0,196                             |
| 20,00                  | 0,181                             |
| 35,00                  | 0,175                             |
| 56,20                  | 0,140                             |
| 74,80                  | 0,078                             |
| 99,40                  | 0,009                             |

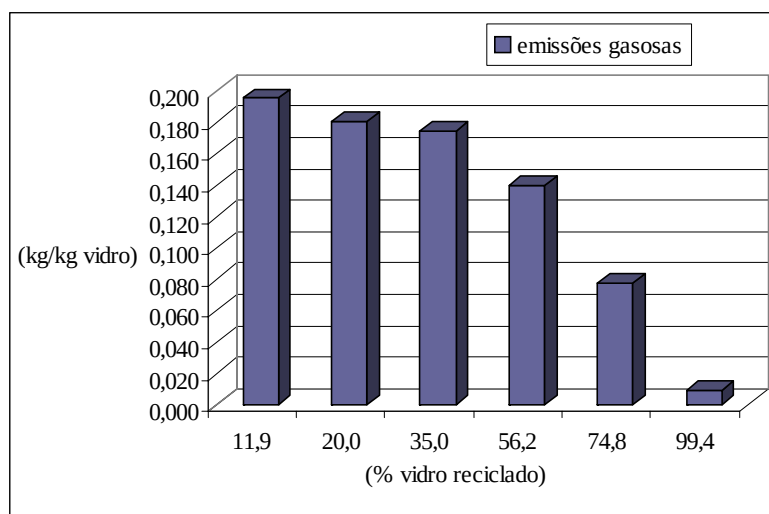


Figura 15 Emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado

Por vezes é difícil separar todos os contaminantes do casco de vidro, por serem de dimensões muito reduzidas e por não terem sido detectados na estação de tratamento de casco. Pequenos materiais cerâmicos que não fundem no forno e restos de metais, além de irem deteriorando o material refractário do forno, também podem causar incrustações sólidas nas paredes da garrafa, aumentando a probabilidade de quebra desta. Outro dos contaminantes mais comuns e que é normalmente confundido com o vidro de embalagem são os artigos em vidro de chumbo,

normalmente designados por “cristal”. Artigos de uso doméstico (copos, taças, cálices, etc.) são produzidos com este tipo de vidro. A introdução de casco de vidro com vidro “cristal” misturado, eleva o teor de chumbo nas emissões gasosas.

A Tabela 35 e a Figura 16 mostram que com o aumento da reciclagem de vidro, aumenta a quantidade de metais pesados nas emissões gasosas.

Tabela 35 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado

(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Vidro reciclado<br>(%) | Emissões gasosas (g/kg vidro) |        |       |
|------------------------|-------------------------------|--------|-------|
|                        | Chumbo                        | Cádmio | Zinco |
| 11,90                  | 0,033                         | 0,001  | 0,006 |
| 20,00                  | 0,040                         | 0,001  | 0,007 |
| 35,00                  | 0,055                         | 0,001  | 0,010 |
| 56,20                  | 0,078                         | 0,001  | 0,014 |
| 74,80                  | 0,100                         | 0,002  | 0,018 |
| 99,40                  | 0,133                         | 0,002  | 0,024 |

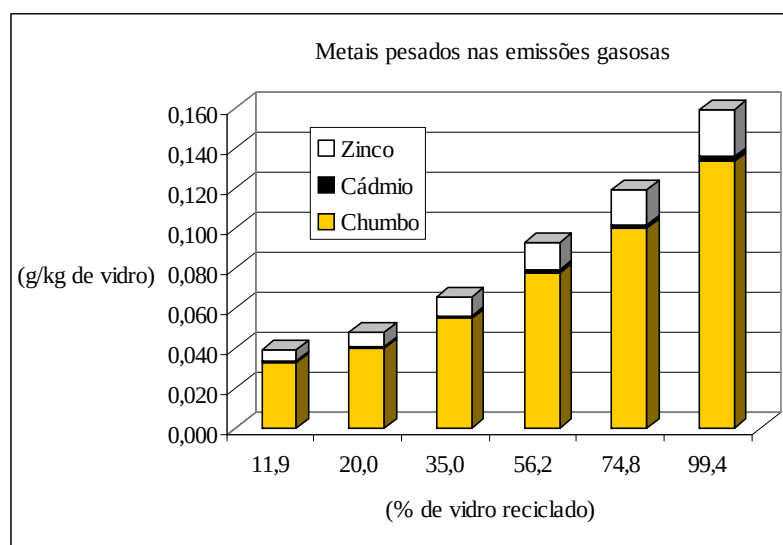


Figura 16 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado

Do ponto de vista da quantidade total de emissões gasosas a quantidade de metais pesados presentes não é significativa. Em termos mássicos a quantidade de metais emitidos representa apenas cerca de 0,1% do total, a quantidade de CO<sub>2</sub> representa cerca de 93,8% e as restantes emissões representam cerca de 6,1%. No entanto, de ponto de vista dos impactos ambientais, usando o “método dos volumes críticos” (Habersatter, 1991) o que assume maiores proporções são os metais pesados, uma vez que as suas concentrações críticas são muito pequenas.

Na Figura 17 podemos ver que o volume crítico de ar aumenta à medida que mais casco de vidro é reciclado. É bastante evidente a diferença existente entre a quantidade de ar necessária para diluir a “toxicidade” provocada pela emissão de metais pesados (Pb, Zn, Cd) até uma concentração aceitável (volume crítico de ar) e a quantidade de ar necessária para diluir todas as restantes emissões (partículas, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, HCl, HF, VOC) para uma concentração aceitável. Não foi contabilizado o volume crítico de ar referente à emissão de CO<sub>2</sub>, porque não existe concentração crítica para este.

Tabela 36 Metais pesados nas emissões gasosas em relação à quantidade de vidro reciclado

(Fonte: vidreira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Vidro reciclado<br>(%) | Volume crítico de ar (m <sup>3</sup> /kg vidro) |         |
|------------------------|-------------------------------------------------|---------|
|                        | metais pesados                                  | outros  |
| 11,90                  | 974 435                                         | 319 075 |
| 20,00                  | 1 190 958                                       | 272 621 |
| 35,00                  | 1 621 834                                       | 234 113 |
| 56,20                  | 2 297 046                                       | 189 065 |
| 74,80                  | 2 953 345                                       | 172 358 |
| 99,40                  | 3 937 793                                       | 148 337 |

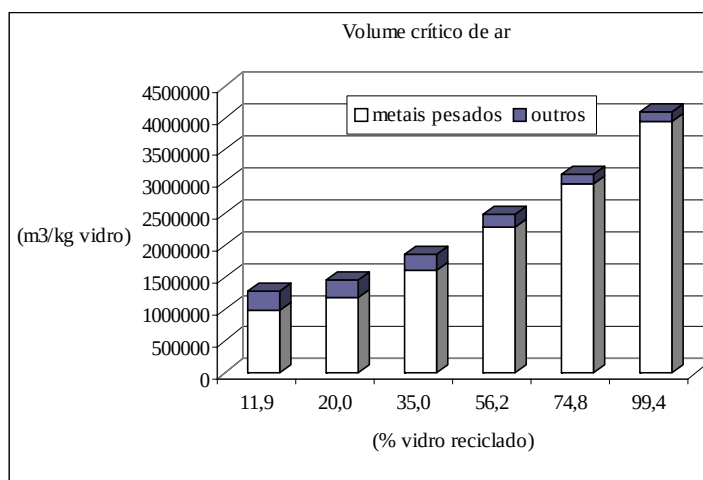


Figura 17 Volume crítico de ar em função da quantidade de vidro reciclado

Podemos concluir que a reciclagem de vidro apresenta vantagens do ponto de vista da redução das emissões gasosas geradas se for usado casco de vidro de boa qualidade, i.e., livre de contaminantes.

## 2.6.2 Reutilização

Os valores específicos são os valores normalizados em relação à unidade funcional (i.e. por garrafa de cerveja, correspondente ao mesmo volume de 0,33 litros). Qualquer que seja a percentagem de garrafas de tara retornável e de tara perdida usadas, os valores específicos de consumos e emissões gasosas, líquidas e sólidas são sempre os mesmos. Assim foram estudados os consumos totais de ambas as garrafas e a sua variação em relação à percentagem de reutilização.

A Tabela 37 e a Figura 18 representam a variação do consumo de materiais de embalagem em função da percentagem de garrafas de tara retornável usadas.

Tabela 37 Consumo de materiais de embalagem em relação à percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização (%) | Materiais de embalagem (kg) |                |             |
|------------------|-----------------------------|----------------|-------------|
|                  | Retornável                  | Não retornável | Total       |
| 85,5             | 101 320 090                 | 1 367 5548     | 114 995 637 |
| 70,0             | 82 841 631                  | 28 518 520     | 111 360 151 |
| 60,0             | 71 007 112                  | 38 024 693     | 109 031 805 |
| 50,0             | 59 172 593                  | 47 530 867     | 106 703 460 |
| 40,0             | 47 338 075                  | 57 037 040     | 104 375 115 |
| 30,0             | 35 503 556                  | 66 543 213     | 102 046 769 |
| 20,0             | 23 669 037                  | 76 049 387     | 99 718 424  |

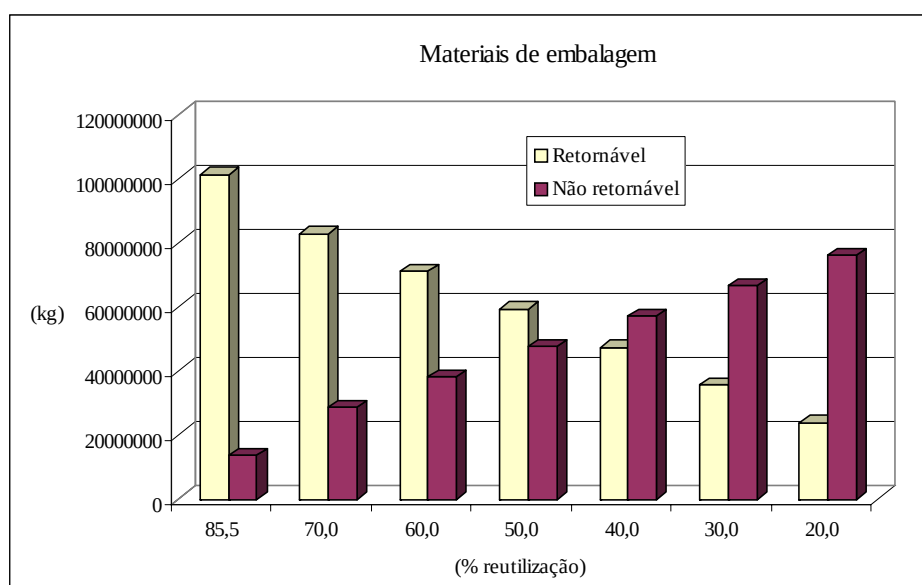


Figura 18 Consumo de materiais de embalagem em função da percentagem de garrafas retornáveis

O consumo específico de materiais de embalagem pela garrafa retornável é mais elevado. Por isso à medida que a percentagem de reutilização diminui o consumo total das duas garrafas diminui.

Na Tabela 38 e Figura 19 é apresentado o consumo de produtos de limpeza e desinfecção em função da percentagem de garrafas de tara retornável usadas.

Tabela 38 Consumo de produtos de limpeza e desinfecção em função da percentagem de garrafas retornáveis  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Produtos químicos (kg) |                |
|---------------------|------------------------|----------------|
|                     | Retornável             | Não retornável |
| 85,5                | 527 328 475            | 56 702 299     |
| 70,0                | 431 155 864            | 118 245 039    |
| 60,0                | 369 562 169            | 157 660 051    |
| 50,0                | 307 968 474            | 197 075 064    |
| 40,0                | 246 374 779            | 236 490 077    |
| 30,0                | 184 781 084            | 275 905 090    |
| 20,0                | 123 187 390            | 315 320 103    |

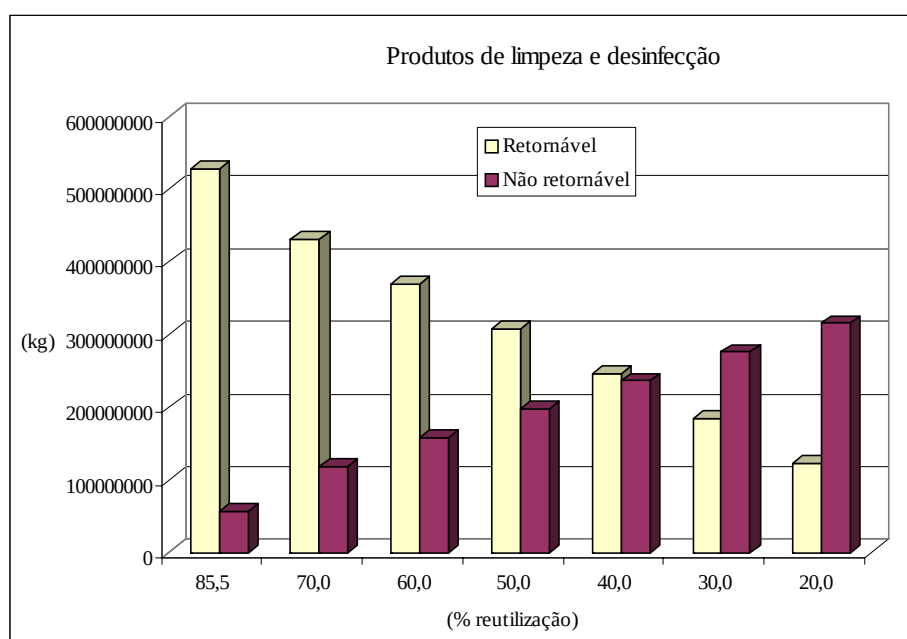


Figura 19 Consumo de produtos de limpeza e desinfecção em função da percentagem de garrafas retornáveis

Uma vez que a garrafa retornável tem um consumo específico mais elevado, à medida que a percentagem de reutilização diminui também o consumo total desses produtos diminui. Esta diferença entre consumos pelas garrafas retornáveis e não-retornáveis deve-se essencialmente à máquina de lavar garrafas e à máquina de lavar grades de plástico. Estas consomem grandes

quantidades de água com soda cáustica e outros produtos de limpeza e desinfecção, necessários à lavagem de garrafas de tara retornável e respectivas grades de plástico. A garrafa de tara perdida é apenas enxaguada com água não consumindo detergentes na sua lavagem. Além disso, os impactos gerados pela lavadora de grades são atribuídos apenas à garrafa de tara retornável. Outros consumos de detergentes e produtos de desinfecção são comuns a ambos os tipos de garrafas, para as limpezas gerais do programa CIP (“Clean in place”). O consumo total destes produtos diminui à medida que a percentagem de reutilização diminui.

Na Tabela 39 e Figura 20 é apresentado o consumo de água em função da percentagem de reutilização de garrafas.

Tabela 39 Consumo de água em função da percentagem de garrafas retornáveis  
(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Consumo de água (m <sup>3</sup> ) |                |           |
|---------------------|-----------------------------------|----------------|-----------|
|                     | Retornável                        | Não retornável | Total     |
| 85,5                | 1 184 003                         | 166 543        | 1 350 546 |
| 70,0                | 968 068                           | 347 303        | 1 315 371 |
| 60,0                | 829 773                           | 463 071        | 1 292 843 |
| 50,0                | 691 477                           | 578 838        | 1 270 316 |
| 40,0                | 553 182                           | 694 606        | 1 247 788 |
| 30,0                | 414 886                           | 810 374        | 1 225 260 |
| 20,0                | 276 591                           | 926 142        | 1 202 732 |

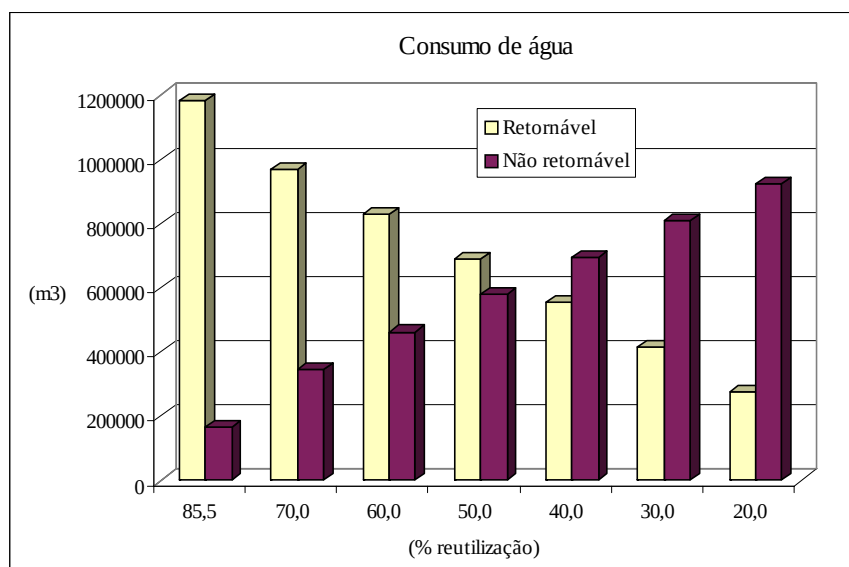


Figura 20 Consumo de água em função da percentagem de garrafas retornáveis

Da mesma forma que para os produtos de limpeza e desinfecção, o consumo de água mais elevado para as garrafas de tara retornável, deve-se essencialmente aos consumos da máquina de lavar

garrafas e da máquina de lavar grades de plástico. Assim, o consumo de água diminui à medida que a percentagem de reutilização diminui.

Na Tabela 40 e Figura 21 é apresentado o consumo de energia eléctrica em função da percentagem de reutilização de garrafas.

Tabela 40 Consumo de electricidade em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização (%) | Consumo de electricidade (MJ) |                |             |
|------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
|                  | Retornável                    | Não retornável | Total       |
| 85,5             | 119 395 298                   | 15 779 258     | 135 174 555 |
| 70,0             | 97 620 335                    | 32 905 526     | 130 525 861 |
| 60,0             | 83 674 573                    | 43 874 034     | 127 548 607 |
| 50,0             | 69 728 811                    | 54 842 543     | 124 571 354 |
| 40,0             | 55 783 049                    | 65 811 051     | 121 594 100 |
| 30,0             | 41 837 287                    | 76 779 560     | 118 616 846 |
| 20,0             | 27 891 524                    | 87 748 068     | 115 639 593 |

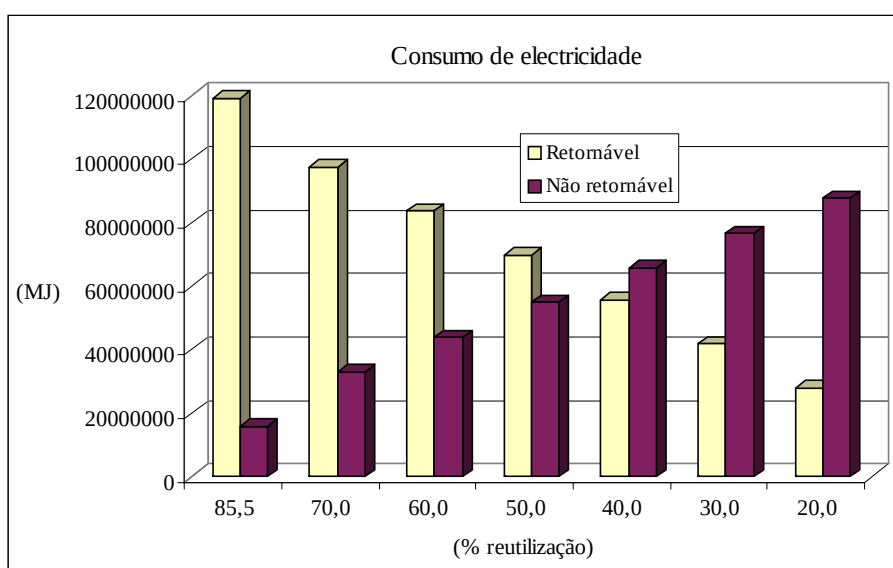


Figura 21 Consumo de electricidade em função da percentagem de garrafas retornáveis

Também o consumo de energia eléctrica é mais elevado para as garrafas de tara retornável, devido ao uso da máquina de lavar garrafas e da máquina de lavar grades de plástico.

Nas Tabelas 41 e 42, assim como nas Figuras 22 e 23 apresenta-se a quantidade de águas residuais geradas e os respectivos “volumes críticos de água” em função da percentagem de reutilização de garrafas.

Tabela 41 Águas residuais em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Águas residuais (kg) |                |             |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------|
|                     | Retornável           | Não retornável | Total       |
| 85,5                | 337 652 078          | 37 824 413     | 375 476 491 |
| 70,0                | 276 072 088          | 78 877 739     | 354 949 827 |
| 60,0                | 236 633 218          | 105 170 319    | 341 803 537 |
| 50,0                | 197 194 349          | 131 462 899    | 328 657 248 |
| 40,0                | 157 755 479          | 157 755 479    | 315 510 958 |
| 30,0                | 118 316 609          | 184 048 059    | 302 364 668 |
| 20,0                | 78 877 739           | 210 340 638    | 289 218 378 |

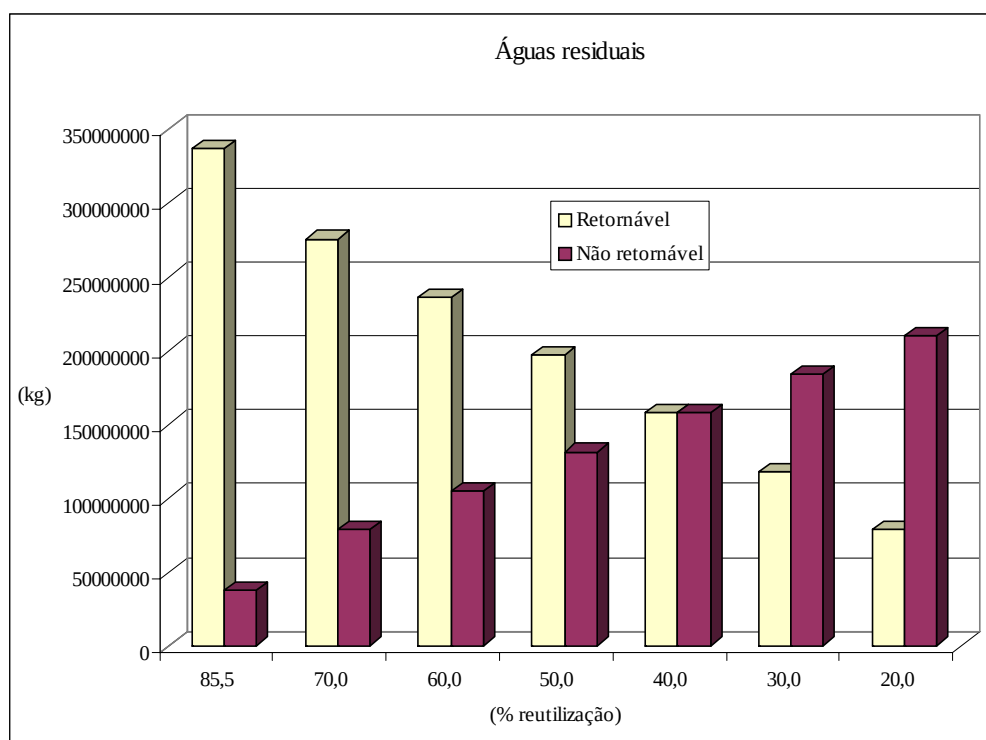


Figura 22 Água residuais em função da percentagem de garrafas retornáveis

As substâncias poluentes presentes nas águas residuais provenientes de uma cervejeira provém essencialmente das matérias-primas usadas. A quantidade de efluente depende da quantidade de água usada. Apenas a água incorporada na cerveja e a água que se evapora não acaba como água residual.

A água residual proveniente do sector de embalagem tem um elevado valor da CBO devido à cerveja residual existente nas garrafas de tara retornável quando são lavadas. A água proveniente de uma lavadora de garrafas contém substâncias provenientes da cola e dos rótulos removidos das

garrafas. Ao consumir grandes quantidades de água, energia e agentes de limpeza, a lavadora de garrafas gera consequentemente grandes quantidades de águas residuais.

Vai também para água residual a soda cáustica, ácido e detergentes provenientes dos processos de limpeza CIP, da lavadora de garrafas e da lavadora de grades. As garrafas de tara perdida consomem menos água, energia e agentes de limpeza do que as garrafas de tara retornável. Consequentemente, geram menos águas residuais.

Tabela 42 Volume crítico de água em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Volume crítico de água (m <sup>3</sup> ) |                |            |
|---------------------|------------------------------------------|----------------|------------|
|                     | Retornável                               | Não retornável | Total      |
| 85,5                | 33 623 152                               | 3 766 528      | 37 389 680 |
| 70,0                | 27 491 061                               | 7 854 589      | 35 345 650 |
| 60,0                | 23 563 767                               | 10 472 785     | 34 036 552 |
| 50,0                | 19 636 472                               | 13 090 981     | 32 727 454 |
| 40,0                | 15 709 178                               | 15 709 178     | 31 418 355 |
| 30,0                | 11 781 883                               | 18 327 374     | 30 109 257 |
| 20,0                | 7 854 589                                | 20 945 570     | 28 800 159 |

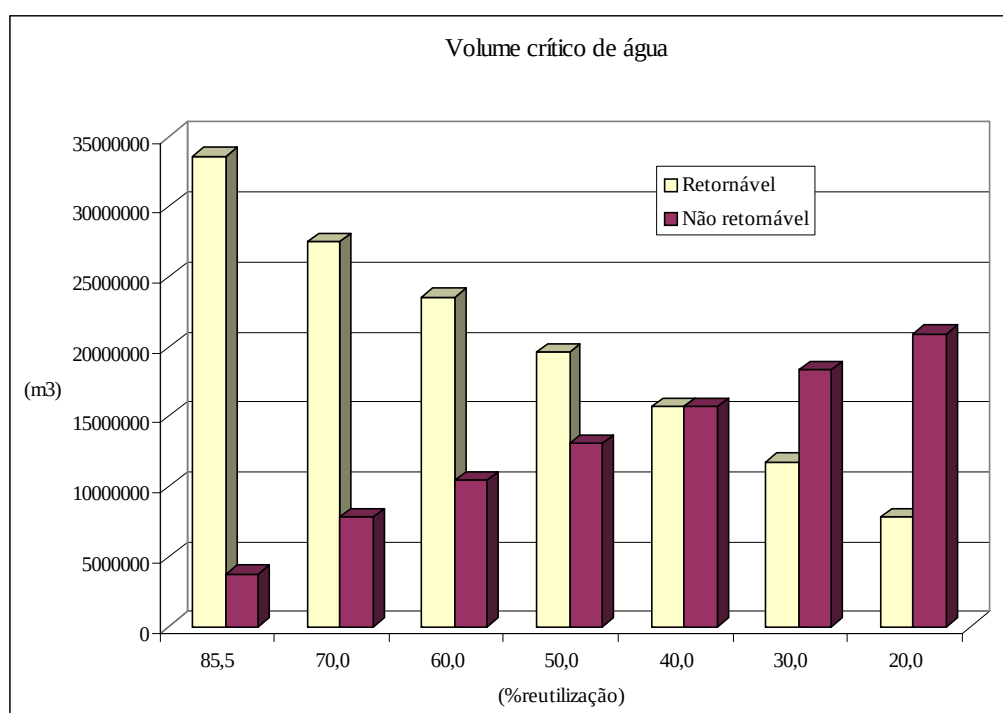


Figura 23 Volume crítico de água em função da percentagem de garrafas retornáveis

Verifica-se que de modo a minimizar o impacto ambiental gerado pelo consumo de água (Figura 22), assim como a minimizar a quantidade total de águas residuais geradas (Figura 23) deve-se praticar uma percentagem de reutilização o mais baixa possível.

A Tabela 43 e Figura 24 mostra a quantidade de emissões gasosas geradas na queima de nafta pesada, na central de cogeração de energia e vapor, pertencente à cervejeira.

Tabela 43 Emissões gasosas em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997; BUWAL, 1991)

| Reutilização (%) | Emissões gasosas (kg) |                |           |
|------------------|-----------------------|----------------|-----------|
|                  | Retornável            | Não retornável | Total     |
| 85,5             | 4 150 083             | 625 502        | 4 775 585 |
| 70,0             | 3 393 203             | 1 304 401      | 4 697 604 |
| 60,0             | 2 908 460             | 1 739 202      | 4 647 661 |
| 50,0             | 2 423 716             | 2 174 002      | 4 597 719 |
| 40,0             | 1 938 973             | 2 608 803      | 4 547 776 |
| 30,0             | 1 454 230             | 3 043 603      | 4 497 833 |
| 20,0             | 969 487               | 3 478 404      | 4 447 890 |

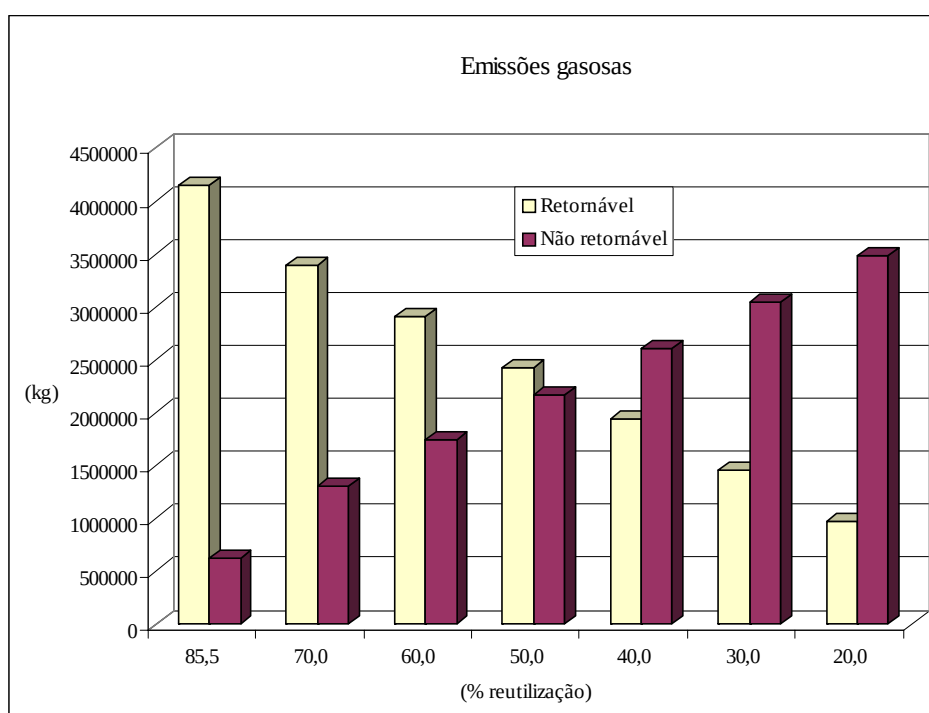


Figura 24 Emissões gasosas em função da percentagem de garrafas retornáveis

A Tabela 44 e Figura 25 mostra o volume crítico de ar em função da percentagem de reutilização.

Tabela 44 Volume crítico de ar em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Volume crítico de ar (m <sup>3</sup> ) |                   |                   |
|---------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                     | Retornável                             | Não retornável    | Total             |
| 85,5                | 1 501 915 787 510                      | 226 369 448 406   | 1 728 285 235 917 |
| 70,0                | 1 228 000 818 067                      | 472 063 118 018   | 1 700 063 936 085 |
| 60,0                | 1 052 572 129 771                      | 629 417 490 691   | 1 681 989 620 462 |
| 50,0                | 877 143 441 476                        | 786 771 863 364   | 1 663 915 304 840 |
| 40,0                | 701 714 753 181                        | 944 126 236 036   | 1 645 840 989 217 |
| 30,0                | 526 286 064 886                        | 1 101 480 608 709 | 1 627 766 673 595 |
| 20,0                | 350 857 376 590                        | 1 258 834 981 382 | 1 609 692 357 972 |

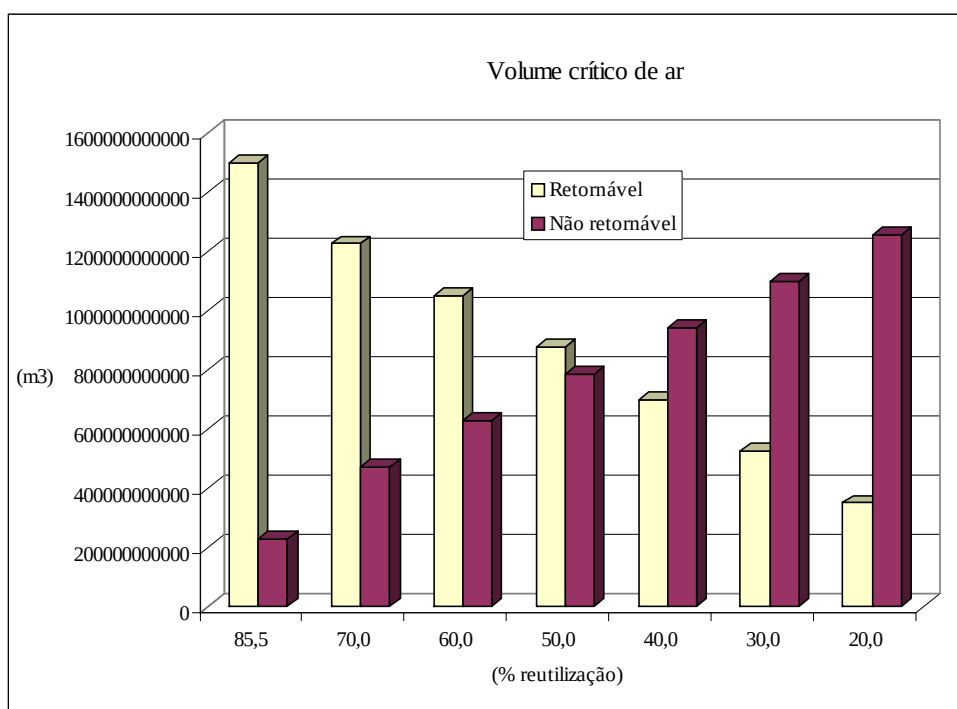


Figura 25 Volume crítico de ar em função da percentagem de garrafas retornáveis

As emissões gasosas assim como o volume crítico de ar associados à garrafa de tara retornável são mais elevados.

A Tabela 45 e Figura 26 mostra a quantidade de resíduos sólidos gerados em função da percentagem de reutilização.

Tabela 45 Resíduos sólidos gerados em função da percentagem de garrafas retornáveis

(Fonte: cervejeira portuguesa, 1997)

| Reutilização<br>(%) | Resíduos Sólidos (kg) |                |         |
|---------------------|-----------------------|----------------|---------|
|                     | Retornável            | Não retornável | Total   |
| 85,5                | 363 997               | 46 265         | 410 262 |
| 70,0                | 297 613               | 96 479         | 394 092 |
| 60,0                | 255 097               | 128 639        | 383 736 |
| 50,0                | 212 580               | 160 799        | 373 379 |
| 40,0                | 170 064               | 192 958        | 363 023 |
| 30,0                | 127 548               | 225 118        | 352 667 |
| 20,0                | 85 032                | 257 278        | 342 310 |

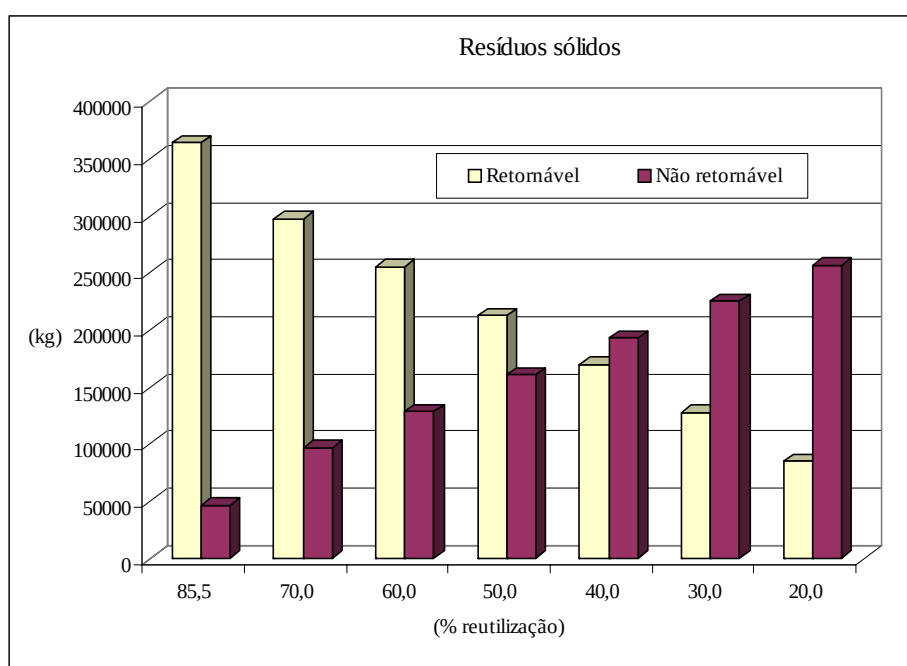


Figura 26 Resíduos sólidos gerados em função da percentagem de garrafas retornáveis

Os resíduos sólidos gerados pela garrafa retornável são mais elevados devido à lavagem e extracção de rótulos velhos na lavadora de garrafas, o que gera grandes quantidades de papeis e lamas.

Também existem os resíduos sólidos das operações de condicionamento das garrafas (metais, plásticos, cartão, cartolina, grades de plástico velhas, sucata etc.).

Igualmente da estação de tratamento de águas são extraídos do poço de recepção das águas residuais lamas, palhas, kieselgur, vidro partido, papeis, etc.. O efluente da ETAR contém também grande quantidade de sólidos a jusante do reactor anaeróbio. O vidro partido proveniente das quebras de garrafas nas linhas de enchimento é reciclado.

Relativamente a este estudo de caso e tendo em conta todas as considerações já efectuadas nas fases de análise de impactos ambientais, interpretação e análise de melhorias, conclui-se que as operações extra necessárias para a garrafa de tara retornável elevam as respectivas cargas ambientais, quando comparadas às geradas pela garrafa de tara perdida. Assim de modo a minimizar as cargas ambientais devem-se praticar percentagens de reutilização mais baixas e taxas de reciclagem mais elevadas do que aquelas que são praticadas actualmente.

Neste estudo o casco de vidro âmbar que é reciclado provém apenas da cervejeira e não dos vidrões. A maior parte deste casco é o resultado da quebra de garrafas retornáveis, portanto são essencialmente estas que alimentam o processo de reciclagem. Uma vez que deste estudo se concluiu que é vantajoso reciclar e desvantajoso reutilizar do ponto de vista ambiental, se a percentagem de garrafas reutilizáveis diminuir, automaticamente a quantidade de casco de vidro para reciclar também diminui. Este problema pode ser resolvido se em vez de se usarem apenas garrafas de cor âmbar para cerveja, também se começarem a usar garrafas verdes, pois nesse caso pode-se usar o vidro proveniente dos vidrões para o processo de reciclagem.

O facto de não existir ainda tratamento secundário das águas residuais da cervejeira, agrava não só o volume crítico de água poluída como também a quantidade de lamas que teria de ser tratada. Como trabalho futuro seria importante efectuar uma análise de melhorias para avaliar a influência do tratamento secundário nos resultados deste estudo. Seria então necessário balancear os prós e os contras. Por um lado o tratamento secundário iria diminuir o impacto causado pelas águas residuais, mas por outro iria aumentar os consumos de materiais e energia necessários no tratamento.

---

## **Capítulo 3 – Conclusões e Trabalho Futuro**

---

## 3.1 Conclusões

Quando se procede à avaliação de um sistema, a ACV é importante mas não é o único aspecto decisivo a considerar quando se pretendem tomar decisões. Estas não se devem basear apenas nos resultados do estudo de ACV mas também noutros aspectos, tais como, sociais, económicos ou políticos. Esta metodologia ainda se encontra em desenvolvimento e neste estudo foram reconhecidos alguns dos seus “pontos fracos”, i.e., aspectos da metodologia que ainda necessitam de ser melhorados.

A fase de avaliação dos impactos ambientais da ACV introduz sempre alguma subjectividade e incerteza uma vez que quase sempre reflecte preferências pessoais ou de grupos de pessoas sem qualquer base científica. No entanto, conclui-se da interpretação dos resultados que o uso de diferentes factores peso afecta apenas a dimensão de cada categoria de impacto e não a comparação entre as duas garrafas, com respeito ao objectivo deste estudo. A garrafa retornável possui sempre impactos ambientais mais elevados independentemente dos factores peso usados. Note-se aqui que este estudo foi efectuado considerando apenas uma utilização da garrafa retornável. No entanto será de esperar que a partir de um determinado número de reutilizações (ou ciclos) a garrafa retornável se torne mais vantajosa do ponto de vista ambiental.

O método que utilizado neste estudo para se efectuar a avaliação dos impactos designa-se método dos “volumes críticos”. No procedimento habitual deste método multiplicam-se os factores peso pelas contribuições percentuais de ambas as garrafas. Neste trabalho foi introduzida a variante de

se multiplicarem os factores peso pelos valores específicos de cada garrafa, supondo que os factores peso são medidos em unidades de “impacto” por unidade de massa, unidade de volume ou unidade de energia, dependendo da categoria de impacto que se está a considerar, ao serem multiplicados pelos valores específicos de cada garrafa, obtém-se unidades de “impacto por garrafa”. Desta forma determinam-se indicadores para cada caso permitindo fácil e rapidamente comparar entre as diferentes categorias de impacto

Constata-se deste estudo que a garrafa de tara retornável tem consumos mais elevados e é geradora de maior quantidade de emissões poluentes, ou seja: consome 19% mais materiais, 10% mais água, 12% mais energia, tem um volume crítico de ar 12% mais elevado, tem um volume crítico de água 18% mais elevado e gera 11% mais de resíduos sólidos. Esta diferença entre consumos e emissões geradas pelas garrafas retornável e não-retornável deve-se em primeiro lugar ao facto de a garrafa retornável ser mais pesada o que implica maior consumo de matérias-primas, energia e maior quantidade de emissões geradas. Também a garrafa retornável tem de ser lavada antes de ser novamente usada e devido à máquina de lavar garrafas e à máquina de lavar grades de plástico são maiores os consumos de água, de produtos de limpeza e de energia, assim como de resíduos sólidos gerados, emissões líquidas e gasosas. A garrafa de tara perdida é apenas enxaguada com água não consumindo detergentes na sua lavagem. Note-se que este estudo foi efectuado considerando apenas uma utilização da garrafa retornável. No entanto será de esperar que a partir de um determinado número de reutilizações (ou ciclos) a garrafa retornável se torne mais vantajosa do ponto de vista ambiental. Esta análise foi deixada como uma possibilidade de trabalho futuro.

O uso de casco de vidro juntamente com as matérias-primas oferece vantagens ambientais e económicas uma vez que se poupa energia, matérias-primas, reduz-se a quantidade de emissões gasosas, reduzem-se os custos indirectos de recolha e deposição em terrenos utilizáveis para outros fins, reduzem-se os custos indirectos de incineração do lixo uma vez que o vidro é um material não combustível, reduzindo a eficiência global de operação e manutenção destas unidades e criam-se hábitos de respeito pelo ambiente. A conservação da energia implica a conservação dos recursos, i.e., evita a depleção das fontes de combustíveis minerais ou petróleo. Também, a redução da energia e a extensão da vida útil do forno, contribui para uma melhor eficiência do equipamento, além de reduzir de forma global os custos de produção. No entanto, a qualidade do casco de vidro usado é muito importante, porque os contaminantes do vidro fazem com que o teor de metais pesados nas emissões gasosas do forno de fusão aumente.

Neste estudo o casco de vidro âmbar que é reciclado provém apenas da cervejeira e não dos vidrões. A maior parte deste casco é resultado da quebra de garrafas retornáveis, portanto são

essencialmente estas que alimentam o processo de reciclagem. Uma vez que deste estudo se concluiu que é vantajoso reciclar do ponto de vista ambiental, se a percentagem de garrafas reutilizáveis diminuir automaticamente a quantidade de casco de vidro para reciclar também diminui. Este problema pode ser resolvido se em vez de se usarem apenas garrafas de cor âmbar para cerveja, também se começarem a usar garrafas verdes, pois nesse caso pode-se usar o vidro proveniente dos vidrões para o processo de reciclagem.

Outro aspecto a considerar e que foi deixado como uma possibilidade de trabalho futuro, é a análise de melhorias. Da análise dos dados de inventário e dos impactos ambientais, conclui-se que o facto de apenas existir tratamento primário das águas residuais da cervejeira, agrava não só o volume crítico de água poluída como também a quantidade de lamas que teria de ser tratada. Numa análise de melhorias teriam de se analisar os impactos ambientais resultantes da inclusão do tratamento secundário e se as vantagens iriam compensar as desvantagens. Ou seja, as melhorias nas categorias de impacto respeitantes às águas residuais e aos resíduos sólidos, provocaria o agravamento das categorias de impacto respeitantes ao consumo de materiais e energia gastos na manutenção do tratamento secundário.

## 3.2 Trabalho Futuro

A análise de ciclo-de-vida é um método complexo, multidimensional e um instrumento de gestão ambiental bastante abrangente na determinação dos impactos ambientais, uma vez que engloba o ciclo-de-vida completo do produto ou processo em estudo. Actualmente a imagem de um produto depende em grande parte de se usarem processos menos poluentes, que gerem um menor volume de resíduos, que promovam a possibilidade de reciclagem, mimizando os impactos ambientais e com resultados de estudos de ACV favoráveis. No entanto, esta metodologia ainda se encontra em desenvolvimento ganhando forma e experiência nas novas aplicações que vêm sendo efectuadas. Possui como todas as metodologias, algumas limitações que constituem possibilidades de investigação e desenvolvimento futuros.

Os modelos usados para a análise de inventário e para a avaliação dos impactos ambientais são limitados pelas suas hipóteses e não estão disponíveis para todos os impactos potenciais ou aplicações, por isso a transparência é um ponto crítico na análise de impactos para garantir que todas as hipóteses são claramente descritas e transmitidas. Também o método usado neste estudo para avaliar os impactos ambientais é fisicamente incorrecto. Assim, como possibilidade de desenvolvimento e investigação futuros, poder-se-ia testar a fiabilidade e aplicabilidade dos vários modelos e métodos existentes ou desenvolver novos métodos com um maior significado físico de modo a transpor os dados do inventário em medidas dos seus impactos ambientais.

Também a qualidade dos dados da análise de inventário é de suma importância para uma maior segurança e fiabilidade dos resultados obtidos. A qualidade pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados relevantes e de boa qualidade, p.ex., falhas de dados, tipos de dados, estimativas, médias e dependência local. Assim, efectuar uma análise da qualidade dos dados de inventário de modo a garantir a fiabilidade dos estudos de ACV é outra possibilidade de trabalho futuro.

Os resultados da ACV com aplicação global ou regional podem não ser apropriados para aplicação local, i.e., as condições locais podem não ser representadas de forma adequada por condições regionais ou globais. Da mesma forma, o horizonte temporal também influencia os resultados de um estudo de ACV. Assim, os dados da análise de inventário devem ser recolhidos durante um período de tempo estatisticamente relevante e que possa atenuar qualquer comportamento atípico, tal como manutenção, paragens e arranques no processo produtivo, acidentes e variações sazonais.

Perspectivando acções futuras, a abordagem do processo de reciclagem ou reutilização de um determinado material deverá envolver uma análise cuidada em termos energéticos e ambientais do seu ciclo-de-vida. Verifica-se que muitas das indústrias na área da reciclagem dos vários materiais apresentam graves problemas de poluição. Devem-se realizar estudos que permitam uma avaliação mais correcta do processo de reciclagem em termos de impactos ambientais.

Pensar na embalagem e simplificação do "design" visando a uma fácil reciclagem é outro factor de grande importância na medida em que se pode beneficiar o consumidor diminuindo o custo do produto e ao mesmo tempo representando um aumento da produtividade dos recursos.

Os resultados de todas as etapas de ACV providenciam informação dos impactos ambientais do sistema e frequentemente posicionam o utilizador nas partes da operação, em que existe uma melhor oportunidade de melhorar o seu desempenho ambiental. Muitas vezes por questões económicas as empresas ignoram a possibilidade de implementação de melhorias ambientais nos seus processos de fabrico. Assim outra possibilidade de desenvolvimento futuro seria introduzir na análise efectuada, além de considerações ambientais, também considerações técnicas, económicas e sociais de modo a que os resultados do estudo de ACV possam ser usados para se tomarem decisões a um nível mais alargado.

A análise de inventário efectuada serviu para revelar os aspectos que mais contribuem com cargas ambientais e relativamente aos quais existe uma maior oportunidade de melhorar o desempenho ambiental. Um dos aspectos que mais se salientou foi o facto de não existir ainda tratamento secundário na ETAR da cervejeira. Como trabalho futuro seria importante efectuar uma análise de

melhorias para avaliar a influência do tratamento secundário nos resultados deste estudo. Seria então necessário balancear os prós e os contras. Por um lado o tratamento secundário iria diminuir o impacto causado pelas águas residuais, mas por outro iria aumentar os consumos de materiais e energia necessários no tratamento.

A metodologia de ACV é relativamente recente e vai sendo melhorada à medida que é progressivamente testada através da sua aplicação a uma grande variedade de casos. Neste trabalho a tarefa de recolha dos dados, hipóteses assumidas e cálculos efectuados de forma perceptível e ao mesmo tempo a apresentação de uma imagem clara dos resultados globais, constituiu sem dúvida um desafio considerável.

## Referências Bibliográficas

1. Allen, D.T. et al., “Public Policy Applications of Life-Cycle Assessment”, A Technical Publication of SETAC, USA, August, 1995,
2. Allen, D.T.; Rosselot, K. S., “Pollution Prevention for Chemical Processes”, Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1997.
3. AIVE - Associação dos Industriais do Vidro de Embalagem, “O vidro e a Reciclagem”, Ambiente/Qualidade-Resíduos Sólidos, p. 107-108, 1997.
4. AIP - Associação Industrial Portuguesa, Conclusões do Fórum “Indústria e Ambiente”, Organizado pela AIP, com o apoio do Ministério da Indústria e Energia e do IAPMEI - Instituto de Apoio às PME e ao Investimento Centro de Congressos da AIP, Revista AIP Informação, 11 de Dezembro de 1994,
5. Anónimo, “Making Use of Energy”, Lithoweeek, vol. 11, no. 17, p. 25, Abril, 1989.
6. Barnthouse, L. et al., “Life-Cycle Impact Assessment: The State-of-the-Art”, 2<sup>nd</sup> edition, SETAC LCA Advisory Group, Pensacola, Florida, USA, 1998.
7. British Glass, “Making Glass”, Publications of British Glass, Northumberland Road, Sheffield, UK, 1996.
8. Bousted, I., “Life Cycle Analysis”, AIChE Symposium Series, 91, p.94-99, 1995.

9. BUWAL, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage; "Inventaires Écologiques Relatifs aux Emballages", Cahier de L'environnement No 123, 1991.
10. BUWAL, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage; "Inventaires Écologiques Relatifs aux Emballages", Cahier de L'environnement No 250/I et No 250/II, 1997.
11. CEN Report, "Recommendations for Conducting Life-Cycle Inventory Analysis of Packaging Systems", Final Version, CEN/TC 261/SC4/WG1 N 44, September 1994.
12. Consoli, F.; Allen, D.; Bousted, I.; Fava, J.; Franklin, W. et al., "Guidelines for Life-Cycle Assessment : A Code of Practice", SETAC, Brussels, Belgium, 1993.
13. Comissão das Comunidades Europeias, "Em direcção a um desenvolvimento Sustentável", Um programa da Comunidade Europeia de Política e Acção em Matéria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, COM(92) 23 / II Final, p.60, 1992.
14. Curran, M. A., "Environmental Life Cycle Analysis", Mc Graw Hill, July, 1996.
15. Davidge, R. W., "Mechanical behavior of Ceramics", Cambridge: Cambridge University Press, p.165, 1979.
16. DGA - Direcção geral do Ambiente, Câmara Municipal de Oeiras, ERRA - European Recovey and Recycling Association, GIR - Grupo Intersectorial da Reciclagem; "Recolha Selectiva Multimaterial de Embalagens - Projecto Queijas I", Divisão dos Resíduos Sólidos em colaboração com o Gabinete de Relações Públicas da Câmara Municipal de Oeiras, Oeiras, Abril de 1996.
17. EC/62/94 Council Directive on Packaging and Packaging Waste, 1994
18. Fava, J., A.; Denison, R.; Jones, B.; Curran, M., A.; Vigon, B.; Selke, S.; Barnum, J.; "A Technical Framework for Life Cycle Assessment", SETAC, Brussels, Belgium, 1991.
19. Fava, J.; Consoli, F.; Denison, R.; Dickson, K.; Mohin, T.; Vigon, B., "A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment", SETAC, Brussels, Belgium, 1993.
20. Fava, J.; Jensen, A.; Lindfords, L.; Pomper, S.; Bea de Smet; Warren, J.; Vigon, B., "Life-Cycle Assessment Data Quality: A Conceptual Framework", SETAC, Brussels, Belgium, 1994.
21. FEVE - Federação Europeia do Vidro de embalagem, Glass Gazette, Brussels , 21, september 1995.
22. FEVE - Federação Europeia do Vidro de embalagem, Glass Gazette, Brussels , 22, september 1996.

23. Fink, P., "Environmental Analysis of Packaged Products", *Packaging Technology & Science*, 4, p.99-108, 1991
24. Franklin, W., E. et al., "Comparative Energy and Environmental analysis of Three Interior Packaging Materials", Franklin Associates, Ltd, Kansas, p.58, 1990.
25. Franklin Associates, Inc., "Family - Size Soft Drink Container - A comparative Energy and Environmental Impact Analysis". Prepared for Goodyear Tire & Rubber Company, Akron, OH, 1978.
26. Franklin Associates, Inc., "Comparative Energy and Environmental Impacts for the Delivery of Soft Drinks in Nine Containers". Prepared for National Association for Plastic Container Recovery (Charlotte, NC), Prairie Village, KS, 1989.
27. GSEAMA - Gabinete do Secretário de Estado Adjunto do Ministro do Ambiente, "Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos", Grupo de Tarefa para Coordenação do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos, Relatório Preliminar, Lisboa, Junho de 1996.
28. Habersatter, K., "Ecobalance of Packaging Materials State of 1990", Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape, Zurich, Switzerland, 1991
29. Hagerop van Eijs, F.G., "Comparison of Tetra Brik and tetra Rex Packages", CPM/TNO Organasation report, 90, p.14, delft, 1990.
30. Hunt, R. G.; Franklin, W. G.; Welch, R.O.; Cross, Y. A.; Woodal, A.G., "Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Containers Alternatives", Midwest Research Institute for US Environmental Protection Agency, Washington DC, EPA/530/SW-91C, 1994.
31. ISO 14040 - International Standard TC207/SC5/DIS14040, International Organization For Standardization, "Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework", 1997.
32. IPQ - Instituto Português da Qualidade, "ISO 14000 Chegam a Portugal", Volume nº11 da Revista "Opção Q", Monte da Caparica, Novembro de 1997.
33. Kooijman, J., "Environmental Assessment of Packaging: Sense and Sensibility", *Packaging Technology & Science*, 17, p.575-586, 1993.
34. Kooijman, J., "Environmental Assessment of Food Packaging: Impact and Improvement", *Packaging Technology & Science*, 7, p.111-121, 1994.
35. Kooijman, J., "The Environmental Impact of Packaging Performance in the Food Supply System", *Journal of Waste Manegement & Resource Recovery*, 3, p.73-96, 1996.

36. Jensen et al, "Life cycle Assessment – A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources", Report to the European Environment Agency concerning Service Contract no. 300/SER/9600235/96/gb1.lca, Copenhagen, 1997.
37. Jönson, G., "LCA - A Tool for Measuring Environmental Performance", Pira International, Surrey, 1996.
38. Levy, G. M., "Packaging in the Environment", p.1-33, Blackie Academic & Professional, London, 1993.
39. Lindfors, L.G. et al., "Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment", Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1995.
40. Lox, F., "Waste Management - Life Cycle Analysis of Packaging", Final Report of Contract Number B4-3040/014093 for European Commission DGXI/A/4, Belgium, 1994.
41. Lund, H.F.; "The McGraw-Hill Recycling Handbook", McGraw-Hill, 1993.
42. Lundholm, M., P; Sundström, G., "Tetra Brik Environmental Profile", Report Tetrapak, Sweden, 1986.
43. Lundholm, M., P; Sundström, G., "Tetra Brik Aseptic Environmental Profile", Report Tetrapak, Sweden, 1989.
44. Maltha, J. C.; Dalmijn, W. L.; Van Houwelingen, J. A., "Glass Recycling Towards Year 2000", Proceedings of the International Recycling Congress, v.3, p.185-198, Geneva, 1993.
45. Mekel, O. C. L.; Huppel, G., "Environmental Effects of Different Package Systems for Fresh Milk", Centrum voor Milieustudies, report 70, p.104, Leiden, The Netherlands 1990.
46. Ortiz, S.A. "O Vidro e as Embalagens de Vidro", CETEA/ITAL, Campinas, Brasil, 1996.
47. Schaltegger, S. et.al; "Life Cycle Assessment (LCA)- Quo vadis?"; Birkhauser Verlag, Germany, 1996.
48. Steen, B.; Ryding S. O.; "The EPS Enviro-Accounting Method", Swedish Environmental Research Institute (IVL), Sweden, 1992.
49. Steen, B., "Development of the EPS System - Phase II", AFR-Report 34, Swedish Environmental Protection Agency, May, 1994
50. Steen, B., "Valuation of Environmental Impacts from depletion of Metal and fossil Mineral Reserves and from emission of CO<sub>2</sub>", AFR-Report 70, Swedish Environmental Protection Agency, September, 1995.

51. Steen, B., “ The EPS-Default Valuation of Environmental Impacts from Emissions and Use of Resources”, AFR –Report 111, Swedish Environmental Protection Agency, April, 1996.
52. Tellus Institute for Council of State Government, “Impacts of Production and Disposal of Packaging Materials - Methods and Case Studies”, 1991.
53. Tooley, F. V., “The Handbook of Glass Manufacture”, 3<sup>rd</sup>, New York, Ashlee Publishing Co. Inc., 1984.
54. Udo de Haes, H., A.; “Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment”, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Europe, 1996.
55. UNEP, United Nations Environmental Programme, Industry and Environment, “Environmental Management in the Brewing Industry”, Technical Report n°33, 1996.
56. U.S., EPA, “Life-Cycle Design Guidance Manual: Environmental Requirements and the Product System”. Final Report, EPA/600/R-92/226. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington, D.C., 1993.
57. U.S., EPA, “Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles”. Final Report, EPA/600/R-92/245. Prepared by Battelle and Franklin Associates, Inc. for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington, D.C., 1994.
58. U.S., EPA, “Life-Cycle Impact Assessment: A Conceptual Framework, Key Issues, and Summary of Existing Methods”. Final Report, EPA/452/R-95/002. Prepared by Research Triangle Institute for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington, D.C., 1995a.
59. U.S., EPA, “Guidelines for Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Data”, Final report, prepared by Research Triangle Institute for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington, D.C., 1995b.
60. U.S., EPA, “Life-Cycle Assessment: Public Data Sources for the LCA Practitioner”. Prepared by Battelle Memorial Institute for the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington, D.C., 1995c.
61. Vignon, A., “Recycling is the Future for Glass”, Emballage Dig, no.318, p. 48-49, France, Janeiro, 1988.

---

# **Anexo A – Normas Ambientais e** **RSU**

---

## A.1 Normas de Qualidade Ambiental

Nos países desenvolvidos, a tomada de consciência dos problemas ambientais associados ao uso de produtos e aos processos produtivos estimulou a tomada de medidas de protecção ambiental por parte das indústrias e entidades governamentais ao mesmo tempo que pressionadas por um consumidor cada vez mais consciente e exigindo a garantia de que o seu produto foi produzido dentro dos melhores padrões de qualidade ambiental.

Nos países onde as restrições ambientais são mais severas ao mesmo tempo que proporcionam ganhos ambientais, as organizações alcançam excelentes oportunidades de novos negócios exportando “know-how” para outros países.

Isto fez surgir uma variedade de novos produtos e serviços, nomeadamente indústrias de equipamentos de depuração, serviços de tratamento do ar e da água, reciclagem de resíduos, controlo do ruído e produtos verdes. Neste contexto apareceram as chamadas tecnologias limpas, com consumo reduzido de água e menos energia e com reaproveitamento dos materiais utilizados no processo.

Em 1978 a Alemanha foi a pioneira na rotulagem ambiental criando o rótulo ecológico “Anjo Azul”. Em 1992 foi instituído o Sistema Comunitário de Atribuição do Rótulo Ecológico com o intuito de uniformizar ao nível da União Europeia os critérios de atribuição de marcas do desempenho ambiental dos produtos. Em 1993 foi estabelecido em Portugal o Sistema Nacional de Atribuição do Rótulo Ecológico, por Despacho Conjunto dos Ministros da Indústria, Energia,

Ambiente e Recursos Naturais, tendo sido atribuídas à Direcção-Geral da Indústria as funções de organismo competente para este processo.

Na maioria dos países desenvolvidos, a "revolução verde" é sustentada pela actuação governamental, onde a parceria entre a indústria e o governo tem levado a uma melhoria na qualidade ambiental. No entanto, existe sempre o perigo de se confiar numa confluência de interesses entre governo e indústria em relação aos padrões ambientais.

A tendência das empresas é de pressionar o governo a estabelecer padrões de uma tecnologia concebidas por elas e não em termos do impacto causado. Apesar da necessidade de um consenso, produtos como embalagens recicláveis de nada servirão se não houver quem as recicle. Muitas vezes, as distâncias até aos pontos de reciclagem implicam custos adicionais. As questões ambientais assumiram nos últimos anos um papel primordial no comércio internacional, o que levou à implementação de Normas e Certificações Ambientais, de âmbito nacional, regional e internacional.

Em 1991, após a Segunda Conferência Mundial da Indústria sobre o Meio Ambiente, foi formulada pela Câmara de Comércio Internacional a Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, reunindo 16 princípios de gestão ambiental, que indicam os compromissos a serem assumidos pelas empresas e constituem referência internacional de estratégia ambiental. É a partir desse documento que a gestão ambiental é identificada, por várias empresas, como um importante factor de sucesso, assegurando a aceitação dos produtos interna e externamente. Esta é muitas vezes um factor decisivo para a sobrevivência competitiva de muitas delas.

Em Outubro de 1991 teve início o "Strategic Advisory Group on Environment" (SAGE), que veio dar resposta à necessidade de uma normalização internacional no âmbito da Organização Internacional de Normalização, ISO. Após dois anos de actividades o SAGE propôs através de um relatório a criação do Comité Técnico ISO/TC-207, dentro do conceito de desenvolvimento industrial sustentável e tendo como objectivo desenvolver normas e guias sobre sistemas e ferramentas de gestão ambiental.

Seguindo as recomendações do relatório elaborado pelo SAGE, em Março de 1993 o Conselho da ISO aprovou a criação do Comité Técnico Coordenador TC 207 composto por seis sub-comités técnicos. Este deu início aos trabalhos de elaboração das normas ISO série 14000 com base na norma BS 7750 - "Specification for Environmental Management Systems" em vigor no Reino Unido.

O aparecimento das normas de Qualidade Ambiental ISO 14000 representa a continuação da procura da Qualidade Total nas actividades industriais, iniciada pela série de normas ISO 9000. Como consequência a sua implementação é semelhante à das normas de Qualidade, sendo necessário o compromisso e envolvimento da administração da empresa e tendo como requisitos fundamentais para o sucesso do Sistema de Gestão Ambiental, a participação dos diversos sectores da organização e a imprescindível actuação de cada funcionário. A Tabela 46 descreve o conjunto de normas que fazem parte da série ISO 14000 (Begley, 1996; Diller, 1997).

Tabela 46 Conjunto de normas da série ISO 14000

| Normas                                                      | Função                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 14001 a 14004<br>Sistema de gestão ambiental            | Estabelecem os principais elementos de um sistema de gestão tais como: a política ambiental a ser adoptada pela empresa, planeamento, implementação, operação, controlo e acções correctivas, executando uma análise crítica da gestão com vista a um aperfeiçoamento contínuo.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ISO 14010, 14011 e 14012<br>Auditoria ambiental             | Inclui os princípios de auditoria ambiental, os procedimentos, a qualificação de auditores e outras investigações ambientais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ISO 14020 e 14021<br>Rotulagem ambiental                    | Trata dos princípios para certificação, autodeclaração e programas de certificação visando a formulação de normas dirigidas à uniformização de critérios de rotulagem ambiental. Define ainda os princípios e práticas nas declarações de rótulos ecológicos, bem como as metodologias de implementação, verificação e certificação.                                                                                                                                                                                               |
| ISO 14031<br>Desempenho Ambiental                           | Avalia genericamente o desempenho ambiental de um dado sector industrial, tendo como objectivo a normalização de critérios e metodologias a serem usados pelas empresas na medição, avaliação e comunicação do seu desempenho ambiental, visando orientar a sua política de investimentos ou a obtenção de certificação específica.                                                                                                                                                                                                |
| ISO 14040, 14041, 14042 e 14043<br>Análise de ciclo-de-vida | Inclui os princípios gerais e procedimentos para aplicação da metodologia de análise de ciclo-de-vida e as suas respectivas fases: definição do âmbito e do objectivo, análise de inventário, análise de impactos ambientais e interpretação. Tem como objectivo avaliar os efeitos ambientais associados a um produto, processo ou actividade, através da identificação e quantificação do consumo de energia, matérias-primas e água, assim como das emissões gasosas e líquidas e dos resíduos libertados para o meio ambiente. |
| ISO 14050<br>Termos e definições                            | Harmoniza as diferentes definições utilizadas tendo sido estabelecidas quatro categorias de conceitos: específicos, comuns, relacionados com as áreas adjacentes e de linguagem geral. Essa clareza nas definições dos termos é necessária já que a norma será aplicada internacionalmente.                                                                                                                                                                                                                                        |

As normas da série ISO 14000 constituem um conjunto de orientações acerca dos elementos que deverão estar presentes num sistema de gestão ambiental e das técnicas de suporte a esses sistemas. Estas normas não estabelecem níveis de desempenho ambiental mas especificam os requisitos que um sistema de gestão ambiental deverá cumprir. De modo geral referem-se ao que deverá ser feito por uma organização para gerir o impacto das suas actividades no meio ambiente.

A certificação evidencia interna e externamente de forma credível a qualidade dos processos organizacionais e tecnológicos do ponto de vista da sua conformidade com requisitos de protecção ambiental e de prevenção da poluição. Assegura também às diversas partes interessadas (clientes, fornecedores, etc.) que a organização implementou um sistema de gestão ambiental adequado e criou a dinâmica interna da definição e melhoria do sistema. Isto constitui uma vantagem competitiva, uma vez que os clientes e utilizadores estão cada vez mais predispostos a comprar ou usar produtos e serviços que respeitem o ambiente, desde a sua preparação a partir de matérias-primas até à fase de pós-consumo.

Em Portugal a APCER, Associação Portuguesa de Certificação, disponibiliza às entidades interessadas a prestação de serviços de certificação de sistemas de gestão ambiental e o IPQ, Instituto Português da Qualidade, procedeu à certificação de auditores ISO 14000. Em conjunto, a Direcção-Geral do Ambiente, futuro gestor do Sistema Integrado da Qualidade do Ambiente, o Instituto Português da Qualidade e a APCER desenvolveram todo um trabalho de preparação da documentação de suporte ao processo de certificação de sistemas de gestão ambiental em Portugal (IPQ, 1997).

Na execução das normas ISO 14000, estas passam por vários estágios: preliminar, proposta, preparação, discussão e aprovação. As normas de Sistema de Gestão Ambiental e de Auditorias Ambientais foram das primeiras a serem desenvolvidas. Muitas ainda se encontram num estágio menos avançado, ou seja, na versão preliminar (DIS-Draft International Standard).

O TC 207 é composto por um Comité Técnico Coordenador, secretariado pelo Canadá e por seis Subcomités Técnicos (SC). As seis áreas de actuação da nova norma são:

- sistemas de gestão ambiental (SC1, Inglaterra);
- auditoria ambiental (SC2, Holanda);
- rotulagem ambiental (SC3, Austrália);
- avaliação de desempenho ambiental (SC4, EUA);
- análise de ciclo-de-vida (SC5, França);
- termos e definições (SC6, Noruega);
- aspectos ambientais em normas de produto.

Os Aspectos Ambientais em Normas de Produtos (WG 01), visam a preparação de um documento que chame a atenção dos envolvidos na elaboração de normas de produto e suas directrizes para

incluírem os possíveis efeitos ambientais, positivos ou negativos, visando a redução dos impactos adversos desses processos.

O estabelecimento de um sistema de gestão estruturado para a área do ambiente, integrando-o na actividade de gestão global é a base genérica dos requisitos essenciais da norma ISO 14001. Contudo, será necessário definir e implementar uma política do ambiente, acompanhada por uma série de outras medidas para que estes requisitos sejam devidamente aplicados. A realização de um planeamento adequado para identificar os aspectos ambientais e os requisitos legais, a definição dos objectivos ambientais e o estabelecimento de um Programa de Gestão do Ambiente são passos essenciais a dar. Do mesmo modo, será fundamental estabelecer acções de verificação e correcção no sentido de avaliar e demonstrar a conformidade do desempenho ambiental com a política do ambiente e os requisitos da norma de referência. No processo de certificação são ainda avaliados o cumprimento da legislação e dos regulamentos ambientais aplicáveis (IPQ, 1997).

Convém ter presente que os clientes e a sociedade em geral são cada vez mais exigentes em relação ao comportamento das organizações perante o ambiente. Consequentemente, os organismos mais interessados na implementação e certificação de sistemas de gestão ambiental segundo a norma ISO 14001 são aqueles cujas actividades, produtos ou serviços representam impactos ambientais relevantes. Para além disso e porque a preocupação geral com as matérias ambientais é um dos factores essenciais para o desenvolvimento da qualidade total, o conhecimento e a utilização crescente dos requisitos desta norma deverão ser cada vez mais alargados.

A maioria das organizações introduzem a variável ambiental através de atitudes isoladas e por etapas que reflectem o nível de consciência das questões ambientais nas suas estratégias empresariais. É certo que na maioria dos casos essas empresas já estão voltadas para a necessidade da melhoria da qualidade, pois apesar de não ser uma exigência, torna-se necessário que a empresa já tenha implementado um Sistema de Qualidade & Produtividade (ISO 9000) ou que o mesmo esteja em fase de execução, já que as novas normas ambientais representam a continuidade da busca pela qualidade nas actividades industriais.

Em contrapartida, as experiências têm demonstrado que embora uma empresa já tenha alcançado o certificado da ISO 9000, se as suas actividades ou produtos tiverem um impacto ambiental, a mesma poderá ter grandes prejuízos nas suas exportações. Portanto há uma recíproca necessidade de implementar as duas normas.

As auditorias ambientais surgem na década de 70 nos EUA de modo a diagnosticar os pontos vulneráveis em relação às questões ambientais, visando detectar as fontes de risco e avaliar o potencial de ocorrência de acidentes.

A pressão social para a protecção ambiental aumentou, forçando a rápida expansão de legislação de carácter ambiental que impulsionou a utilização de auditorias como forma de assegurar a conformidade. Da mesma forma, o aparecimento de normas internacionais de gestão ambiental incluem a auditoria como um componente indispensável.

Nas novas normas emergentes da série ISO 14000, a aplicação das normas de auditoria ambiental (14010, 14011 e 14012) limitam-se, até então, à auditoria do tipo certificação de Sistemas de Gestão Ambiental, como definidos na norma ISO 14001. Segundo essa norma, a definição de auditoria ambiental consiste num processo de avaliação sistemático e documentado que visa obter e avaliar objectivamente as evidências que determinem se actividades específicas, acontecimentos, condições, sistemas de gestão relativos ao meio ambiente, informações sobre essas questões e comunicação dos resultados ao cliente, estão em conformidade com os critérios da auditoria.

Pode-se observar, nessas legislações de auditoria ambiental específica, algumas características comuns tais como:

- periodicidade típica de 1 a 3 anos,
- área abrangente, não limitado às questões de conformidade com a legislação ambiental e tipicamente incluindo aspectos de saúde e segurança, sistema de gestão e avaliação de "desempenho ambiental",
- existência de pelo menos um elemento que assegure a independência e objectividade da equipa,
- comunicação externa de uma síntese dos resultados da auditoria,
- possibilidade de condução de auditorias ocasionais, numa frequência menor do que a previamente estabelecida,
- participação e responsabilidade da equipa de auditoria nos planos de acção correctiva.

A implementação dessas legislações tem encontrado resistência por parte do sector privado, no que se refere à área abrangente da auditoria e à necessidade de comunicação ao público dos seus resultados. O importante é que, acima de tudo, a execução dessas auditorias resultem em acções concretas sobre seus resultados, devendo ficar-se atento para que as mesmas não se tornem instrumentos mais políticos do que de gestão.

O modelo de implementação do sistema de gestão ambiental, segundo a norma ISO 14000, segue os passos seguintes: definição da política do ambiente da organização, planeamento, implementação e operação, verificação e correcção, análise e melhoria.

A base desta aproximação é a seguinte:

- i) A gestão de topo da organização deve definir a política de ambiente e estabelecer um plano para cumprir a sua política.
- ii) No planeamento deverão ser considerados os aspectos ambientais das actividades, produtos ou serviços que a organização possa controlar, no sentido de determinar quais têm ou poderão vir a ter impactos ambientais significativos. devem ainda ser tomados em consideração os requisitos legais ou outros que a organização subscreveu e que se apliquem aos aspectos ambientais da sua actividade. Neste ponto poderão ser estabelecidos os objectivos e metas ambientais da organização, que deverão ser consistentes com a política ambiental. Para atingir estes objectivos e metas deverá ser estabelecido um programa de gestão ambiental, onde estarão designadas as responsabilidades e definidos os meios e o cronograma necessários.
- iii) A implementação e operação desta política será eficaz se forem desenvolvidas capacidades e mecanismos de suporte para cumprir os seus objectivos. Deste modo, deverão ser definidas responsabilidades, funções e autoridades para que o processo de gestão seja mais eficaz. Por outro lado, devem ser identificadas as necessidades de formação do pessoal, sendo prioritária a formação daquele cujo trabalho possa ter um impacto ambiental significativo. É ainda importante que a organização tome medidas que facilitem a comunicação interna, entre os diferentes níveis e funções da organização e a comunicação com o exterior. A organização deverá ainda manter a documentação relativa ao sistema de gestão ambiental e controlar esses documentos. Por fim, deverá ser estabelecido um controlo operacional das actividades, sendo identificadas aquelas que estão associadas aos aspectos ambientais significativos identificados. Devem igualmente ser estabelecidos procedimentos para identificar os acidentes potenciais e as situações de emergência que permitam reagir de forma a prevenir e minimizar os impactos ambientais que lhes possam estar associados.
- iv) O controlo e correcção são fundamentais neste processo para que o sistema possa ser efectivamente melhorado assim como o desempenho ambiental global da organização. Em primeiro lugar a organização deve controlar e medir de forma regular as principais características das actividades que possam ter um impacto ambiental significativo. Devem ser mantidos

procedimentos documentados, de forma a avaliar periodicamente a conformidade com a regulamentação e a legislação ambiental aplicável.

v) Qualquer acção correctiva ou preventiva tomada para eliminar as causas potenciais ou da não conformidade, deverá ser adequada à importância dos problemas e ao impacto ambiental considerado. Periodicamente, deverão ser efectuadas auditorias ao sistema de gestão ambiental. Estas auditorias têm como principais objectivos determinar se o sistema de gestão ambiental implementado está ou não em conformidade com os requisitos da norma ambiental e se tem sido mantido de forma adequada.

vi) Finalmente, a gestão de topo da organização deverá rever periodicamente o sistema de gestão ambiental, para se assegurar que este se mantém apropriado, suficiente e eficaz. Deverão ser abordadas eventuais necessidades de alteração ao nível da política, dos objectivos e de outros elementos do sistema , procurando desta forma conseguir uma melhoria contínua.

## **A.2 A Recolha Selectiva dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Os intervenientes mais importantes no processo de recolha selectiva dos RSU, aos destinos finais dos produtos a serem reciclados, são:

- as autarquias,
- as empresas recicladoras dos RSU,
- as associações empresariais, dos vários sectores, que participam no processo de reciclagem,
- alguns departamentos da administração central na área do ambiente.

Em Portugal, alguns municípios efectuem a recolha selectiva de materiais, para depois serem depositados em aterro juntamente com os restantes RSU. Esta situação, eventualmente justificável numa fase inicial de implementação do circuito de recuperação dos resíduos, pode revelar-se desmotivadora para a população.

No actual panorama nacional podem identificar-se três situações distintas ao nível da reciclagem dos diferentes materiais:

- estrutura ou circuito razoavelmente eficazes, tanto no plano do mercado como no respeitante à consciência e participação dos diversos agentes envolvidos (p.ex.: vidro e de certa forma, também o papel e o cartão),

- empenhamento dos agentes nomeadamente empresas e autarquias mas ausência de suficiente articulação dos circuitos tendo em vista, entre outras, as dificuldades com as características do material em causa (p.ex.: plásticos),
- insuficiente mobilização dos agentes e/ou inexistência de destinos apropriados para as matérias a reciclar (p.ex.: latas de alumínio e pilhas).

Há assim necessidade de adoptar uma avaliação económica e ambiental (incluindo obviamente o cálculo da externalização / internalização de custos) ao nível das autarquias e do próprio programa de reciclagem a nível nacional.

Tendo em consideração a situação de desvantagem competitiva de Portugal perante os parceiros comunitários na área da reciclagem, mas sem pôr em causa os objectivos do mercado interno, nomeadamente a necessidade de também a política de gestão de resíduos ser pensada e implementada a uma escala europeia e não exclusivamente nacional, o governo português deverá negociar com os parceiros da Comunidade um conjunto de condições legais (prazos e modalidades de aplicação de Directivas actuais e futuras) e comerciais (quotas de importação e exportação para materiais recicláveis e produtos reciclados), de modo a permitir a estimulação no nosso país de uma estrutura autárquica e empresarial, bem como de circuitos de mercado para a distribuição de produtos para reciclagem ou reciclados de origem ou fabrico nacionais.

Entre outros instrumentos para a realização de um programa de reciclagem, devem incluir-se apoios às empresas e autarquias que promovam a reciclagem dos RSU, nas suas diversas vertentes, bem como o financiamento de estruturas de armazenamento temporário dos materiais para a indústria e que permitem responder às oscilações conjunturais de mercado.

O programa nacional de reciclagem a implementar deverá ter como uma das preocupações centrais, a harmonização entre a resposta dada pela população em termos de participação e a capacidade de absorção do próprio mercado (para evitar situações de excesso de materiais para reciclagem, surgidas noutros países). Tal programa deverá ter como principais intervenientes, a administração central, as autarquias, as associações industriais, as associações de comerciantes, as associações de defesa do ambiente e de defesa do consumidor e, pelo seu enorme potencial educativo, os estabelecimentos de ensino. Por outro lado, o estabelecimento de acordos voluntários entre os diferentes agentes participantes na reciclagem, sendo muito desejável, não deve, no entanto, dispensar um acompanhamento exaustivo dos protocolos assinados.

Deve estudar-se a viabilidade de aplicação em Portugal de taxas, visando a penalização das opções empresariais responsáveis pelo lançamento no mercado de produtos que não são susceptíveis de reutilização e/ou reciclagem. as referidas taxas podem, igualmente, ser aplicadas de forma a promover a devolução das embalagens para reutilização ou reciclagem.

Tendo em vista uma recolha selectiva mais fácil e eficaz, bem como a melhoria da informação que é dada ao consumidor sobre as embalagens dos produtos colocados no mercado, deverá tornar-se progressivamente obrigatória a rotulagem indicando os diversos tipos de materiais que as compõem.

Entre os instrumentos fundamentais de viabilização de uma política de redução / reutilização / reciclagem destacam-se:

- recolha de informação pertinente das experiências de outros países,
- desenvolvimento de projectos-piloto, envolvendo todos os protagonistas, a uma escala local e regional,
- análise crítica das experiências, em particular dos erros cometidos,
- realização de campanhas de sensibilização.

O impacto global de um programa de recolha selectiva é analisado com base na quantidade de materiais recuperados e desviados da deposição em aterro e no impacto económico resultante.

O custo é um factor determinante para a viabilidade económica de um sistema de recolha selectiva. A análise dos diversos programas de recolha monitorizados pela ERRA permite observar que a gestão de um programa de recolha selectiva é, regra geral, mais dispendioso que um sistema de recolha sem separação, devido a diversos factores de influência interna ou externa, inerentes aos investimentos em equipamentos, às modificações ou expansão dos sistemas de gestão de resíduos já existentes, aos preços pagos pelos materiais recuperados e aos custos do destino final dos resíduos não recuperados.

Na experiência de Queijas registou-se um incremento de 19% dos custos relativo ao anterior sistema de recolha sem separação, devido sobretudo ao investimento de capital efectuado para a triagem dos materiais, dado que, com o evoluir da experiência se conseguiu equivaler os custos de recolha (DGA, 1996).

A comparação dos programas de recolha selectiva implementados em diversas regiões da Europa deve ter em consideração as diferenças demográficas, operacionais e económicas inerentes a cada região.

O planeamento regional e urbano, como as políticas de protecção do ambiente, concorrem para um objectivo comum: a melhoria do ambiente do Homem.

A Lei de Bases do Ambiente assume como princípio que a “política do ambiente tem por fim otimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto básico de um desenvolvimento auto-sustentado” (artigo 2º, Lei nº11/87 de 7 de Abril), afirmando simultaneamente a importância não só da atitude de planeamento a nível geral como também do planeamento territorial, ao nomear o “ordenamento integrado do território a nível regional e municipal...” e “os planos regionais de ordenamento do território, os planos directores municipais e outros instrumentos de intervenção urbanística” como instrumentos de implementação da política de ambiente (artº 27º).

Um dos pontos de partida é aquilo que se designa por “desenvolvimento sustentável”, assumindo-se esse conceito como constituído pelas seguintes componentes substantivas: satisfação das necessidades humanas, manutenção da integridade ecológica, equidade e justiça social, auto-determinação e diversidade cultural.

Tendo por objectivo a promoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, a adequada gestão do território e dos seus recursos, pressupõe uma atitude racional quanto à utilização - planeamento.

A consciência de que, em Portugal como em quase todos os países, os profissionais do planeamento e os profissionais de ambiente adquiriram, ao longo da história das suas escolas de formação e dos seus domínios de actividade, perspectivas diferentes sobre a sua preocupação comum com o ambiente. Para tornar a integração dos estudos e programas ambientais com o planeamento territorial plenamente eficaz, é necessário analisar e fazer propostas em ambos os domínios, considerando as suas fraquezas e forças particulares para encontrar a melhor combinação em cada situação.

Algumas dessas limitações prendem-se com:

- inexistência de dados actualizados sobre emissões e sobre concentrações de poluentes no ambiente à escala local;

- necessidade de desenvolvimento de estudos que permitam a relativização dos limiares aceitáveis e desejáveis de poluição aos ecossistemas, populações e outras condições locais;
- inexistência de modelos regionais e locais de dispersão de poluentes, calibrados e validados;
- desenvolvimento de métodos expeditos de avaliação da qualidade do ambiente;
- necessidade de definição de índices e modelos de predição de agressão ambiental por tipo de uso do solo / actividade.

Mantém-se, de qualquer modo a convicção de que a consideração de dados e critérios, ainda que mínimos, de qualidade do ambiente é um instrumento importante para a melhoria da qualidade dos planos e das decisões de gestão territorial e ambiental, e para a prossecução de modelos de desenvolvimento sustentáveis à escala local.

Apesar da crescente sensibilização em relação às questões ambientais, nem sempre a indústria tem conseguido acompanhar e cumprir de forma consistente a complexa e diversificada legislação que lhe tem sido imposta e muito raramente ainda, entre nós, tem conseguido aproveitar os desafios do conceito de desenvolvimento sustentável transformando-os numa oportunidade de ganhar novos mercados através de produtos ou processos alternativos .

Tal facto não poderá ser inteiramente justificado pela fragmentação e por vezes desajuste das legislações, tão pouco pelos investimentos, ou pela sofisticação das capacidades técnicas exigidas. Talvez se deva antes à insuficiência das análises de muitos gestores que ainda continuam a achar estas matérias como estritamente do domínio dos técnicos (AIP, 1994).

Os códigos de conduta como a “Carta Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável” da CCI, a “Actuação Responsável”, da Indústria química, etc., veiculando princípios que sintetizam a experiência de empresas de vários países, poderão ser um bom auxílio para uma mudança dessa atitude, permitindo assim que integrem o ambiente nos objectivos da gestão global das empresas.

Para que essa integração seja plena é necessário que se definam políticas, estabeleçam programas, se atribuam responsabilidades, em suma, torna-se necessário um sistema de gestão ambiental.

Os apoios que actualmente podemos obter da normalização e regulamentação internacionais, além das normas ISO 14000, relativas a Gestão Ambiental, ou CEN disponíveis, existe a norma inglesa BS - 7550 com um tipo de desenvolvimento semelhante às normas sobre Sistemas de Garantia da Qualidade e o Regulamento CEE nº 1836/93 sobre Ecogestão e Auditoria.

No entanto, mesmo que listados e definidas algumas exigências mínimas, não devemos esquecer que os sistemas devem ser simples e sobretudo adaptados à situação concreta da empresa por forma a poderem ser assimilados e geríveis.

Quais os elementos que de facto devem ser incluídos e analisados, a profundidade relativa com que devem ser tratados, e a eventual relação com outros sistemas (qualidade, higiene e segurança, etc.) são factores que dependem da cultura e estratégias da empresa e como tal, devem ser individualmente ponderados caso a caso.

Com efeito, as pressões legislativas e de mercado forçam as empresas a internalizar o ambiente em processos, produtos e serviços, como condição da sua sobrevivência a prazo, num mercado global cada vez mais exigente de qualidade total. Abordagens recentes revelam que 85% dos cidadãos dos países industrializados consideram o ambiente como a sua principal preocupação.

Por conseguinte, as empresas terão progressivamente de aprender a transformar o modo mecanicista como fazem em geral os seus negócios prestando muito mais atenção aos impactos ambientais das suas actividades produtivas ao longo do ciclo-de-vida dos produtos, adoptando atitudes pró-activas, transformando inovadoramente os constrangimentos ambientais em novas oportunidades de mercado.

O conhecimento global das empresas do ponto de vista ambiental, caracterizando as suas entradas (nomeadamente, matérias-primas e energia) e as saídas (emissões, resíduos e produtos) e a avaliação dos respectivos impactes ambientais, passaram a ser considerados essenciais à abordagem integrada da estratégia das empresas e à sua gestão ambiental.

A necessidade de uma compatibilização entre o desenvolvimento industrial e a política de protecção ambiental, tornam imperiosa a necessidade de adoptar uma série de medidas de reestruturação empresarial, que embora se venham a revelar interessantes sob o ponto de vista económico, numa perspectiva de longo prazo, podem representar a curto prazo, esforços financeiros consideráveis para a indústria.

Por esse facto, as medidas legislativas sucessivamente promulgadas têm-se revelado na prática ineficazes, justificando-se, assim, outras via diálogo e concertação que a experiência vem demonstrando serem mais adequadas.

---

# **Anexo B - Guia da Metodologia** **ACV**

---

## **B.1 Estrutura Global da Metodologia de ACV**

A ACV é um instrumento de gestão ambiental formado por um conjunto de procedimentos, capazes de assegurar, que desde o início do processo se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma actividade ou processo e das suas alternativas. O grande objectivo da ACV, é tornar viável o desenvolvimento económico em harmonia com o uso dos recursos naturais, considerando-se critérios ambientais no processo de decisão.

Não é possível basear uma metodologia em regras estanques, em todos os seus aspectos. A metodologia de Análise de Ciclo-de-vida, ACV, ainda se encontra em desenvolvimento. Assim, nenhum sistema de actividade industrial pode ser facilmente estudado sem que se procedam a simplificações de modo a manter a análise em proporções manuseáveis.

A forma correcta de se efectuarem estas simplificações ou o nível de detalhe correcto que se pretende atingir, dependerá do objectivo de cada estudo de forma independente. A análise da importância relativa dos impactos ambientais, envolve inevitavelmente julgamento de valores, os quais, pela sua natureza, não podem ser expressos segundo regras ou critérios universais (Consoli et al., 1993).

Através da metodologia de ACV pretende-se desenvolver de forma transparente (i.e., clara para o leitor, explicando o que foi feito e como) o estudo das causas e efeitos, de forma a obter uma boa compreensão da aplicabilidade, validade e limitações do estudo.

O procedimento descrito baseia-se na metodologia de Análise de Ciclo-de-Vida, ACV descrito pelo SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1992, 1993, 1994) e é aplicada a sistemas de embalagem. Dependendo dos objectivos definidos para o estudo, podem-se simplificar algumas etapas do método ou simplesmente serem omitidas.

O procedimento universalmente aceite para a ACV é composto por alguns componentes interrelacionados:

- definição do objectivo e do âmbito,
- análise de Inventário,
- análise de impacto, que compreende a Classificação, Caracterização e Avaliação,
- síntese de Melhorias.

A Figura 27 mostra a inter-relação entre estes componentes, na aplicação da metodologia ACV.

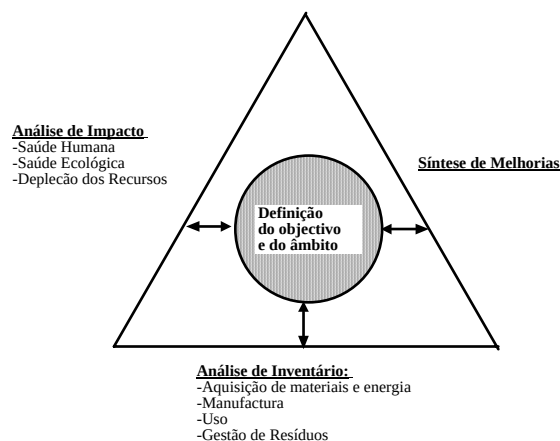


*Figura 27 Esquema teórico do procedimento para a metodologia de Análise de Ciclo-de-vida (SETAC 1991, 1993 e 1994).*

## **B.2 Definição do Objectivo e do Âmbito**

### **B.2.1 Objectivo do estudo**

O objectivo de estudo expõe de forma clara a intenção de se realizar o estudo, a sua aplicação, o tipo de audiência a que se destina, i.e., a quem os resultados do estudo serão comunicados e o tipo de entidades envolvidas na elaboração do estudo: indústria, autoridades públicas, organismos de consumo, organismos ambientais, etc.

Algumas modificações no objectivo do estudo podem ser efectuadas após a primeira avaliação dos diferentes componentes, na qual são identificados assuntos relevantes (p.ex., processos mais importantes, impactos mais relevantes e opções de melhoria mais fáceis de pôr em prática). É também importante ir ajustando a definição do objectivo do estudo de ACV, devido às informações adicionais que vão sendo encontradas.

## **B.2.2 Âmbito do estudo**

Definir o âmbito de um estudo de ACV é um processo dinâmico e interactivo, o qual pode ser repetido após uma primeira visualização da ACV.

Com base no objectivo do estudo de ACV, define-se:

- a fronteira do sistema,
- a extensão geográfica do estudo: local, regional, nacional (em Portugal) e mundialmente,
- o horizonte temporal do estudo: passado, presente, futuro,
- as fontes dos dados usados no estudo,
- o nível de especificidade do estudo desde totalmente genérico, até específico de um produto,
- o nível de detalhe requerido, exactidão e variabilidade dos dados,
- os problemas ambientais a avaliar que vão definir o tipo de dados a serem recolhidos.

### ***Unidade Funcional***

A unidade funcional tem como função providenciar uma referência relativamente à qual se vão relacionar os dados de entrada e saída do sistema. Esta deve ser definida a partir da especificação da função do sistema. Este é um passo fundamental para evitar ambiguidades na definição do âmbito e do objectivo. A unidade funcional é a medida do desempenho do sistema. Esta deve ser definida claramente, ser mensurável e relevante para os dados de entrada e saída do(s) sistema(s) em estudo. Em estudos comparativos é essencial que os sistemas sejam comparados numa base funcional equivalente.

### ***Definição do sistema ou da fronteira do sistema***

Qualquer produto ou serviço tem de ser representado como um sistema. Um sistema é definido como um conjunto de operações que consomem energia e materiais (p.ex., produção, transporte, extracção de combustíveis) as quais desempenham funções bem definidas.

O sistema é separado do que o circunda (ambiente do sistema) pela sua fronteira. Um sistema pode ser representado, tal como mostra a Figura 28; o conjunto das operações está incluído no bloco do sistema. O ambiente do sistema é a fonte de todas as entradas e o receptor de todas as saídas.

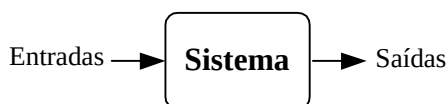


*Figura 28 Representação esquemática de um sistema simples (SETAC, 1991).*

De forma a efectuar a recolha dos dados das correntes de entrada e saída do sistema, este tem de ser dividido numa série de operações interligadas ou em subsistemas. O grau de subdivisão do sistema global em subsistemas ou operações unitárias, é depende do objectivo e âmbito do estudo. Todas as decisões tomadas devem ser claras e referidas no relatório final (SETAC 1991).

Deve-se seguir o percurso dos materiais auxiliares seleccionados, desde a sua extracção até à entrada no sistema. As correntes de saída do sistema devem ser acompanhadas até à sua rejeição para o ambiente (p.ex., para um aterro sanitário ou para serem incinerados). Todas as operações de transporte devem também ser incluídas no sistema.

Em estudos comparativos de ACV, nos quais apenas diferenças absolutas são consideradas importantes, podem-se omitir da análise, partes idênticas de sistemas alternativos de embalagem (ex. rótulos, tampas, etc.).

É normalmente usado um diagrama para a representação dos processos industriais consistindo em três grupos principais de operações: a sequência principal da produção, a produção de materiais auxiliares e as indústrias de produção de combustíveis.

A sequência principal da produção é, normalmente, a mais fácil de identificar. Para simplificar, mostram-se apenas algumas das actividades de transporte, o que não significa que estas possam ser ignoradas. As correntes de entrada e saída de cada uma das operações de transporte são importantes.

Um exemplo de um sistema de embalagem proposto pelo “Comité Européen de Normalisation” encontra-se esquematizado na Figura 29.

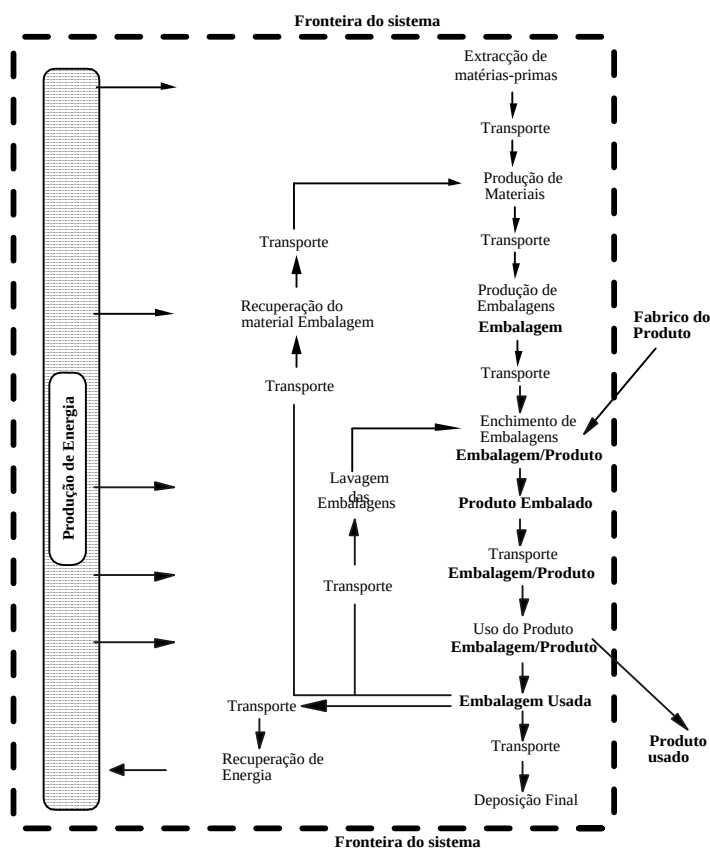


Figura 29 Definição da fronteira de um sistema de embalagem (CEN/TC 261/SC4/WG1 N 44, 1994).

## B.3 Análise de Inventário

O inventário de ciclo-de-vida (ICV) envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar os dados relevantes dos débitos de entrada e saída do sistema em estudo. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e emissões sólidas, líquidas e gasosas.

São necessários dados detalhados de correntes de entrada (materiais e energia) e correntes de saída (produtos e emissões para a atmosfera, água e solo). Quando disponíveis, estes dados devem ser obtidos (dependendo do estudo proposto) nas empresas que trabalham com estes processos específicos. Quando não se encontram disponíveis os dados específicos do processo, devem-se identificar outras fontes. Algumas das fontes mais importantes, são (Lox, 1994):

- projectos do processo,
- cálculos de projectos de engenharia, baseados no processo químico e tecnológico,
- estimativas de operações similares,
- fontes publicadas e bases de dados comercialmente disponíveis,
- padrões de mercado locais de uso dos produtos.

Os dados relativos ao desempenho de cada subsistema devem ser obtidos em períodos de tempo estatisticamente relevantes. Isto é, devem ter uma duração suficientemente longa para atenuar qualquer comportamento atípico, tal como paragens das máquinas ou problemas do processo.

Normalmente considera-se que um ano é o espaço de tempo adequado. A base de todos os dados, as suas fontes e evidências geográficas e temporais, devem ser bem documentadas. Devem ser referidas técnicas de pesagem ou obtenção de médias quando são seleccionadas várias fontes. A qualidade dos dados deve ser consistente com o objectivo e o âmbito do ICV. Os dados são apresentados num formato padrão, por exemplo, normalizado, em relação a uma dada unidade de uma corrente de saída para um determinado subsistema.

Durante a recolha dos dados para o ICV é importante não perder informação. O nível de detalhe (em termos de correntes de entrada e saída) dos dados recolhidos, deve ser referenciado no relatório. Usam-se normalmente esquemas de recolha de dados, de modo a facilitar esta tarefa. Para os subprocessos mais importantes, os dados devem, segundo uma extensão possível, ser representados como uma média (ou outra medida da tendência central) e intervalo de variação (gama de valores obtidos). Todos os inventários de ciclo-de-vida têm variabilidade de dados e falhas de dados. Estes assuntos devem ser discutidos no contexto dos objectivos do estudo. Devem ser efectuadas análises de sensibilidade para testar os efeitos nos resultados e possíveis limitações nas conclusões. Devem ser referidas no estudo, a extensão da variabilidade e a incerteza, ao mesmo tempo que as falhas de dados.

A exclusão de subsistemas menores, no ICV, é por vezes necessária para manter o cálculo prévio em proporções manuseáveis. Este é, normalmente, o caso do equipamento, componentes de produtos secundários menores, ou materiais auxiliares menores. Cada exclusão deve ser lógica, consistente com o objectivo e o âmbito do estudo e devidamente justificada.

Muitas das vezes é necessário prever a tendência natural do desenrolar dos processos, ou quando é impossível de descobrir qualquer causa natural, atende-se a factores sócio/económicos. Por esta razão, é recomendado apresentar os dados do inventário em sub-balanços separados: Dividindo o inventário, podem ser identificadas facilmente, as características relevantes associadas à carga ambiental global de um sistema de embalagem específico. Quando nenhum dado quantitativo estiver disponível, tenta-se incluir informação qualitativa desde que este tipo de informação possa ser usada na fase de interpretação.

A técnica para se conduzir uma análise de inventário é iterativa. À medida que os dados são recolhidos e se vai conhecendo melhor o sistema, novos requisitos ou limitações devem ser identificados que requerem alterações no procedimento de recolha.

Deve-se ter em consideração a seguinte hierarquia, quando se procede à análise de sistemas de embalagem (Lox, 1994):

- Embalagens (primária, secundária, terciária);
- Componentes da embalagem (ex. garrafa, rótulo, tampa);
- Um ou mais materiais combinados num componente (ex. papel, tinta)

De notar que o transporte interno, o qual conduz as embalagens para as respectivas instalações, tem de ser incluído no inventário. Por vezes os bens embalados têm de ser armazenados e conservados em lugares arrefecidos ou condicionados. Atribuir todas as cargas ambientais associadas ao armazenamento com arrefecimento ou condicionamento dos bens embalados. É o produto embalado que determina os requisitos necessários com vista ao armazenamento e não a embalagem. A embalagem é apenas o meio de os distribuir ao consumidor.

Em muitos casos, o uso da embalagem pelo consumidor não gera um impacto ambiental significativo. Por vezes usam-se utensílios eléctricos para abrir as embalagens, por exemplo latas. O mesmo pode ser feito manualmente.

No caso das embalagens reutilizáveis estas são normalmente devolvidas à loja ou a um ponto de colecta pelo consumidor ou são colectadas por algum tipo de sistema de colecta porta-a-porta. O sistema de reutilização requer uma série de processos logísticos de forma a levar a cabo esta função. Há por vezes algum tipo de transporte envolvido na grupagem de embalagens reutilizáveis num ponto de colecta específico. Aí, as embalagens reutilizáveis são normalmente agrupadas por meio de uma embalagem secundária, por exemplo, grade de recolha de garrafas de vidro. A próxima etapa é o transporte das embalagens colectadas para o lugar onde são processadas. Este processo pode incluir escolha, lavagem, controlo de qualidade, etc. A operação de lavagem de embalagens reutilizáveis, pode resultar em situações de relevância ambiental, devido ao facto de serem consumidos electricidade, água e produtos químicos.

Em muitos casos, a introdução de um sistema de embalagens reutilizáveis, implica a existência de espaço disponível, para:

- armazenagem das embalagens reutilizáveis que chegam dos postos de venda e dos locais de colecta,
- área disponível para as embalagens secundárias, grades, paletes, etc.,
- instalação do equipamento do processo (lavagem, tratamento de águas residuais, etc.),
- armazenagem de produtos embalados antes de serem levados para o cliente.

As embalagens de uma única utilização acabam normalmente como resíduo municipal. Este pode ser colectado em fracções ou colectado como mistura e escolhido para reciclagem, ou incineração, ou para deposição em aterro sanitário, ou para compostagem.

Qualquer opção de reciclagem é simplesmente o estabelecimento de subsistemas associados ao sistema principal. O ciclo fechado de reciclagem permite que o material retorne ao seu processo original. O ciclo aberto de reciclagem refere-se a um produto ou componente que vai de um sistema ao outro, para ser usado como matéria-prima na produção de diferentes produtos, por exemplo, uma garrafa PET ao ser reciclada pode servir na produção de fibras de carpete. Neste caso, os dois sistemas desenvolvem diferentes funções interligadas, uma vez que eles partilham algumas correntes de entrada e saída de materiais em comum (Consoli et al., 1993).

## **B.4 Análise de Impactos**

A análise de impactos na ACV é uma técnica quantitativa e/ou qualitativa para caracterizar e estudar os efeitos da carga ambiental, identificada na componente do método, relativa à análise de inventário. A análise de impacto está presentemente em desenvolvimento e tem, até ao momento, demonstrado ser uma componente do método ACV, bastante importante.

A componente de análise de impactos consiste nos seguintes três passos: classificação, caracterização e avaliação SETAC (1992 e 1993).

### **B.4.1 Classificação**

A classificação é a etapa na qual os dados do inventário (frequentemente referidos em tabelas de inventário) são agrupados num número de categorias de impacto. Esta grupagem é efectuada de forma que cada item da tabela de impacto pode ser incluído em mais do que uma categoria (por exemplo, o NO<sub>x</sub> tem efeito tanto na acidificação assim como na eutrofização).

Na etapa de classificação, os impactos são incluídos em áreas gerais de protecção à depleção dos recursos, saúde humana e ecológica. Na definição das categorias de impacto específicas, o estudo

deve incidir nos processos ambientais envolvidos, uma vez que isso irá possibilitar basear a análise de impacto o mais possível, no conhecimento científico do processo.

### **B.4.2 Caracterização**

Caracterização é a etapa na qual é efectuada a análise/quantificação e quando possível, faz-se a agregação dos impactos às diferentes categorias de impacto. Existem várias aproximações nesta etapa de caracterização. Presentemente, é dada especial atenção ao desenvolvimento e uso de factores de equivalência, para as diferentes categorias de impacto, tal como o efeito de estufa e a depleção do ozono. Nestas aproximações não existem medidas directas dos efeitos.

Um desenvolvimento breve da etapa de caracterização é a normalização dos dados, por categoria de impacto, em relação à dimensão actual dos impactos nesta categoria, em determinadas áreas. A razão para isso é aumentar a comparabilidade dos dados de diferentes categorias de impacto e providenciar uma base para a etapa seguinte, a avaliação.

### **B.4.3 Avaliação**

Nesta etapa de avaliação, as contribuições de diferentes categorias de impacto específicas são quantificadas para poderem ser comparadas entre si. A finalidade desta etapa é encontrar uma interpretação e agregar os dados da análise de impacto. Se dois ou mais sistemas alternativos são comparados e se um deles origina um resultado concreto, os vários impactos têm geralmente de ser avaliados de diferentes formas.

Não se pode dizer que um subsistema é menos nefasto em termos de impactos ambientais, se ele por acaso contribui menos para o efeito de estufa, enquanto que outro, põe menos em risco a saúde humana, relativamente a emissões tóxicas (quer no local de trabalho quer fora da unidade fabril), a menos que a importância relativa das categorias de impacto possa ser avaliada.

A importância relativa das categorias de impacto baseia-se num procedimento de atribuição de valores, na avaliação do prejuízo ambiental. Esta avaliação irá reflectir os valores sociais e as preferências. Uma variedade de regras, frequentemente referidas como técnicas teóricas de decisão,

têm um maior peso para se efectuar uma avaliação mais racional e explícita do processo. Estas técnicas utilizam tanto o julgamento especializado e as entradas relevantes e/ou as partes afectadas. Pode-se distinguir entre os procedimentos quantitativos e os qualitativos. Nos procedimentos quantitativos (por exemplo, análise multicritério), podem-se usar factores explícitos para agregar os impactos. Num procedimento qualitativo, os factores tornam-se implícitos; devem-se estabelecer argumentos de decisão favoráveis ambientalmente.

É necessário interpretar os resultados das etapas de classificação e caracterização, ver quais são os acontecimentos relevantes do ciclo-de-vida do(s) sistema(s) de embalagem e quais são os potenciais problemas.

No caso de uma ACV comparativa deve-se escolher um método de tomada de decisão multicritério, MCDM (“Multi criteria decision made”), apropriado. Um grupo de métodos normativos, os quais incluem decisões políticas e outras de interesse público são usados para classificar os problemas ambientais, como p.ex., o método de “Delfos”, que inclui um grupo de discussão. Neste método, cada nível de classificação pode ser estabelecido por meio de um alargado questionário público, p.ex., perguntando ao público qual a sua prioridade em diferentes assuntos ambientais ou qual o seu nível de significância (p.ex. efeito de estufa, depleção da camada de ozono, acidificação, etc.). O método de Delfos é muitas vezes usado para determinar preferências públicas relativamente ao ambiente. Estes métodos consistem numa votação formal feita por peritos (representantes de grupos com interesse nos problemas considerados).

A determinação de factores de peso e a consecutiva separação de alternativas, tem de ser feita sem nenhuma ideia pré-concebida do inventário. Isto pode ser garantido se os factores de peso forem determinados antes da apresentação dos resultados da classificação. Outra possibilidade é apresentar os resultados da classificação das diferentes alternativas por meio de um código, sem estabelecer qual desses códigos se refere a determinada alternativa. A representatividade do grupo de discussão escolhido irá determinar a credibilidade e a aceitação pelo público deste procedimento. Assim, para uma metodologia apropriada de análise multicritério é essencial que o método:

- seja transparente;
- inclua todos os grupos de interesse público;
- seja interactivo e retroactivo;
- seja rápido e de fácil aplicação (p.ex. por meio de um pacote de programas de computador).

Neste momento, não há nenhum método rigoroso e bem definido para a aplicação de uma análise multicritério, aos resultados da ACV.

## **B.5 Análise de Melhorias e Interpretação de Resultados**

O responsável pela ACV elabora uma análise e interpreta os resultados, propondo recomendações para melhorias. Os dados por si só não são suficientes; o relatório deve explicar as conclusões em termos apropriados e de acordo com o objectivo do estudo.

A análise de melhorias é o componente de uma ACV na qual as opções para a redução dos impactos ambientais ou cargas do(s) sistema(s) em estudo são identificadas e avaliadas. Ainda não se chegou a um consenso no método da análise de melhorias. Foram efectuadas apenas algumas análises de melhorias fundamentadas em estudos de ciclo-de-vida (Consoli et al., 1993).

A análise de melhorias diz respeito à identificação, avaliação e selecção de opções de preferência ambiental nos produtos ou processos. A análise de inventário pode ser usada para revelar quais os aspectos que podem ser melhorados. Tanto a melhoria da eficiência das entradas e saídas (tal como a necessidade de pouca energia ou bons resultados de produção) e opções de preferência ambiental (tal como uso de menos recursos e redução de emissões) pode oferecer oportunidades com respeito à melhoria ambiental por unidade funcional. A remodelação actual no projecto de um produto não faz parte da ACV, é apenas uma das suas aplicações. Os resultados de todas as etapas de ACV providenciam, ao projectista do processo/produto, informação dos impactos ambientais do sistema e frequentemente posicionam o utilizador nas partes da operação, em que existe uma melhor oportunidade de melhorar o seu desempenho ambiental.

O termo “análise de melhorias” é definido aqui, como a etapa da ACV que avalia as necessidades e oportunidades para reduzir as cargas ambientais causadas pelo produto (ou sistema) durante o seu ciclo-de-vida, desenvolvendo-se normalmente do seguinte modo:

### ***1º Identificar acções possíveis***

Na análise de melhorias, a atenção é centrada nos processos que mais contribuem para a carga ambiental global de um produto ou sistema. Estes processos são os que mais necessitam de serem optimizados ou de se implementarem melhorias e optimizações. No entanto, tem de se considerar mais do que apenas estes processos, uma vez que as melhorias podem também ser efectuadas repensando as diferentes etapas de todo o processo, mudando a sequência destas no processo, mudando as matérias-primas, integrando cadeias de outros processos, etc.

A implementação de melhorias é decidida através de uma secção de exposição e troca de ideias por um grupo de entidades seleccionadas. Nestas analisa-se a aplicabilidade das opções encontradas. É efectuar uma análise sistemática de todas as etapas do processo, começando pelos processos com cargas ambientais mais significativas. Consultam-se perguntas ou questões tipo, tais como:

- qual é a causa real para a carga ambiental: o processo, os materiais usados, as fontes de energia usadas, etc.,
- os danos ambientais toxicológicos podem ser evitados,
- o consumo de materiais pode ser reduzido ou podem ser usados materiais renováveis,
- pode haver poupança de energia,
- podem-se evitar algumas etapas do processo,
- pode-se evitar algum do transporte,
- podem-se evitar emissões para o ambiente.

Durante esta fase, uma análise sistemática é feita para o sistema completo. Isto requer uma grande criatividade da parte das pessoas ligadas à identificação das opções de melhorias. O resultado desta secção de identificação é uma lista de possíveis acções para a melhoria e o seu efeito na etapa do processo e no sistema estudado.

## ***2º Analisar as opções de melhorias***

Cada uma das opções de melhoria identificadas na primeira etapa da análise qualitativa de melhorias é descrita. Estima-se o efeito nas outras etapas do ciclo-de-vida, em conjunto com a aplicabilidade técnica e económica de cada opção.

Recolhem-se dados relevantes do processo, relativos às emissões e à energia para as opções de melhorias mais promissoras. Incluir esta informação no inventário de ciclo-de-vida de modo a prever o efeito no balanço ambiental global.

Classifica-se e pesa-se cada uma das categorias de impacto ambiental. Classificam-se as opções de melhoria de acordo com o seu potencial de melhoria.

## ***3º Seleccionar as opções de melhoria***

A seguir aos resultados da ACV, outros parâmetros são importantes quando se seleccionam opções de melhoria. Estes são tecnologicamente, riscos, custos, efeitos na gestão, aceitação social relativamente à implementação de mudanças, etc.

Faz-se uma classificação final das opções de melhoria tendo em consideração estes critérios adicionais e apresentação destes a quem decide a tomada de decisões.

---

## **Anexo C - A Indústria Vidreira**

---

## C.1 Principais Tendências e Inovações

O contínuo melhoramento e modernização da indústria do vidro, é impulsionado pela competitividade do mercado e pela introdução de novos materiais de embalagem em vários segmentos onde o vidro era quase absoluto. Como resultado, importantes inovações têm sido implementadas no processo de fabrico das embalagens de vidro, especialmente nas últimas duas décadas.

Ao nível legislativo, o debate acerca da gestão dos resíduos incidiu no sector da embalagem. Exemplo disso, foi a Directiva EC/62/94 da Comunidade Europeia, sobre embalagem e gestão dos resíduos de embalagem, que veio originar mudanças na indústria deste sector. Para os fabricantes de vidro, a directiva não veio proporcionar grandes alterações, devido às medidas que a indústria do vidro foi tomando ao longo de vários anos.

Algumas das medidas tomadas pela indústria vidreira incidem em estudos relativos aos padrões de qualidade do vidro produzido, redução do peso da garrafa, sem diminuição da sua resistência mecânica e redução dos resíduos de embalagem.

Como as operações de conformação do vidro não podem ser interrompidas, os parâmetros mais relevantes são verificados depois da embalagem sair do túnel de recozimento. Mais recentemente, estão a ser introduzidos equipamentos e sistemas de controlo que permitem o acesso mais directo e imediato às informações de cada uma das operações de fabrico (especialmente na moldagem).

Dessa forma, é possível corrigir defeitos e eventuais problemas, reduzindo ao máximo a geração de defeituosos.

Aliado a programas de gestão da qualidade total na indústria vidreira moderna, têm sido obtidas grandes melhorias na qualidade dos produtos e nos índices de produtividade.

De entre as inovações de maior impacto, destaca-se o projecto e manufactura de moldes, utilizando-se sistemas totalmente computadorizados, com a introdução de CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing), incluindo a concepção da embalagem, o projecto e concepção dos moldes.

Significativos ganhos de tempo para desenvolver novos produtos e reduzir o ciclo de produção de amostras foram obtidos com o uso destes sistemas. Além disso, possibilitou uma ampliação da multiplicidade de formas e da variedade de opções que o mercado actual está a exigir. Nos processos de desenvolvimento estão incluídos os complementos da embalagem de vidro, tais como tampas, rótulos, lacres, etc.

Com relação à máquina I.S. (Individual Section) que é constituída por um sistema de entrega da gota de vidro fundido, tem sido verificada uma modernização intensiva especialmente no controlo do processo e sistemas operacionais. O uso de novos materiais, especialmente na confecção das ferramentas também contribui para essa evolução.

Com o advento dos processos de redução do peso, obtiveram-se grandes avanços nos sistemas de arrefecimento do molde, sistemas de alimentação e de condicionamento do vidro. A produção do parison ou pré-forma da embalagem, com melhor geometria e com temperatura distribuída de forma homogénea, também contribuiu para a obtenção de embalagens com peso reduzido e alta resistência mecânica. Um melhor controlo do peso da gota com o uso de sensores electrónicos que monitorizam as variáveis do processo, foi fundamental para o sucesso dessas inovações.

Nos últimos dez anos conseguiram-se progressos notáveis no campo da redução da espessura, tendo a garrafa de vidro sofrido uma diminuição de 20% do seu peso e ao mesmo tempo um aumento de 40% da sua resistência mecânica. Como atributos indispensáveis para a produção de embalagens mais leves, destacam-se (Ortiz, 1996):

- obtenção de um vidro homogéneo e de alta qualidade,
- equipamento com controlo electrónico,
- distribuição uniforme da espessura do vidro,

- superfícies da embalagem uniformes e sem defeitos e/ou contaminantes,
- uso de tratamentos superficiais combinados,
- manuseamento adequado durante todo o processo de fabrico e utilização,
- controlo rigoroso de todas as fases do processo e do produto acabado.

Além dessas importantes inovações ocorridas no processo de fabrico, outras têm sido introduzidas, visando o desenvolvimento de embalagens de melhor qualidade, com menor custo.

O processo de redução de peso é influenciado pelo projecto e formato da embalagem. Um bom exemplo dessa evolução foi a introdução do rebaixo ou área de menor diâmetro na região do corpo, promovendo a sua protecção e a do próprio rótulo contra a abrasão superficial. Neste caso, o contacto entre embalagens concentra-se nas regiões do ombro e do calcanhar. Estudos demonstraram que uma vez obedecidas determinadas relações, como uma profundidade de rebaixo da ordem de 0.5mm, não há problemas mesmo em garrafas retornáveis para bebidas carbonatadas (Ortiz, 1996).

Uma outra evolução significativa ocorreu em relação ao conhecimento existente sobre o vidro. Até ao início deste século, havia muito empirismo obtido com a experiência prática e transmitido através de gerações, por via oral. Progressivamente, iniciaram-se pesquisas científicas e tecnológicas, visando estudar e conhecer profundamente as propriedades físicas e químicas do vidro, utilizando-se conhecimentos obtidos em áreas de ciências exactas.

Com relação ao chamado “vidro oco”, constituído principalmente pelas embalagens de vidro, a intensa evolução tecnológica pode ser constatada nos modernos complexos industriais, incluindo sofisticados processos de produção totalmente automatizados e sistemas de controlo que atendem de forma condizente as reais necessidades da sociedade desenvolvida. Cabe também mencionar, os progressos verificados na reciclagem de embalagens de vidro.

Portanto, com base nas informações apresentadas ficou constatada a intensa e contínua evolução tecnológica implementada na produção de embalagens de vidro.

## **C.2 Natureza do Vidro**

Muitas definições foram aplicadas na descrição do vidro, embora nenhuma delas seja totalmente adequada. Para o propósito deste trabalho, podemos considerá-lo como sendo um sólido amorfo, resultante da fusão e do arrefecimento de materiais inorgânicos, de forma a ser obtido um material rígido, sem cristalização. Os vidros são caracterizados pela sua ordem atômica em pequenas distâncias (e ausência de ordem a longas distâncias atômicas). Este tipo de estrutura é o oposto de uma fase cristalina, onde o arranjo atômico é bem definido, como uma estrutura repetitiva que se estende por muitas distâncias atômicas.

O vidro é o resultado da fusão de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, as quais após serem submetidas a um processo de arrefecimento controlado, transformam-se num material rígido, homogêneo, estável, inerte, amorfo e isotrópico. A sua principal característica é ser moldável a uma determinada temperatura, sem qualquer tipo de degradação (Tooley, 1984).

## C.3 Estrutura do Vidro

O vidro de embalagem é constituído basicamente por óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) ou sílica, que é a substância vitrificante ou formadora do vidro. O óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) também é um material que pode ser transformado em vidro. No caso do vidro produzido com óxido de boro puro, o produto obtido é muito solúvel e sem aplicação industrial. Nesse caso é usual produzir-se vidro em combinação com sílica.

Embora possa produzir um excelente vidro, a sílica pura tem um ponto de fusão muito elevado, na faixa de 1700 a 1800°C, exigindo fornos especiais, o que é economicamente inviável. Mesmo a essa elevada temperatura, apresenta uma viscosidade muito alta, imprópria para os processos de moldagem.

Para reduzir a temperatura de fusão da sílica e permitir que o processo de fabrico do vidro seja técnico e economicamente viável, adiciona-se à sílica óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e/ou de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), os quais actuam como fundentes ou “fluxos”, baixando a temperatura de fusão para cerca de 1500°C.

Um vidro formado exclusivamente a partir de óxido de silício e óxido de sódio seria facilmente fusível mas teria baixa resistência química pois poderia ser atacado e dissolvido pela água em curto espaço de tempo, devido à sua alta solubilidade. O contacto com a água propicia uma perda progressiva da transparência e da superfície lisa, características do vidro.

É necessário, portanto, substituir parte óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) por óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) ou óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Essas substâncias são denominadas estabilizantes, uma vez que a sua presença confere um significativo aumento da resistência química e mecânica ao vidro, evitando que seja solubilizado pela água. Os estabilizantes também conferem uma curva de viscosidade mais adequada ao processo de fabrico do vidro.

## **C.4 Tipos de Vidro**

Como já mencionado, várias substâncias inorgânicas são formadoras de vidro. Do ponto de vista comercial, apenas os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  são realmente importantes e a quase totalidade de itens produzidos industrialmente, provém desses materiais (Ortiz, 1996).

### ***Sílica Vítre***

Quando se processa o aquecimento da areia de sílica ou de cristais de quartzo até uma temperatura acima do ponto de fusão ( $1725^\circ\text{C}$ ), obtém-se um vidro de alta viscosidade, cujas aplicações são muito especiais. Como por exemplo, tem-se os semi-condutores, componentes de veículos espaciais, espelhos para telescópios, etc.

A sua principal característica é a baixa expansão térmica, o que confere alta resistência a choques térmicos e excelente estabilidade dimensional. Por meio de um processo especial de deposição de vapor (a partir de tetracloreto de silício), obtém-se a sílica vítrea utilizada para a produção de fibras ópticas.

### ***Silicatos Alcalinos***

A adição de modificadores de rede no processo de fusão da sílica é feita com a finalidade básica de reduzir a viscosidade do vidro formado. Os óxidos alcalinos são incorporados na forma de carbonatos, os quais reagem com a sílica (acima de 550°C) e promovem a formação de um vidro, cuja resistência química é muito baixa. Quanto maior for a proporção de alcalis adicionados, maior a solubilidade do vidro em água. Esses materiais são normalmente utilizados como silicatos solúveis, para a produção de adesivos e produtos de limpeza.

### ***Vidro Sodo-Cálcico ou Sílico-Sodo-Cálcico***

Constitui a principal classe de vidros utilizados no fabrico de embalagens e de vidro plano. Os elementos básicos que o constituem são a sílica e os óxidos de sódio e de cálcio.

Para reduzir a solubilidade do vidro de silicatos alcalinos em água, mantendo-se a fusão em temperaturas da ordem de 1600°C, são incorporados os chamados “fluxos estabilizantes”. São em geral, óxidos de cálcio e de magnésio que substituem parte do óxido alcalino à base de sódio.

Também é adicionada uma certa quantidade de óxido de alumínio para melhorar as características de moldagem e a inércia química do vidro sodo-cálcico. Para algumas aplicações específicas, são usados outros óxidos alcalinos. São exemplos o bário e o estrôncio, incorporados no vidro destinado à produção de cinescópios para televisão.

### ***Vidro Boro-Silicato***

A utilização do óxido de boro, substituindo grande parte do fluxo alcalino de óxido de sódio, confere ao vidro excelente resistência ao choque térmico e alta resistência ao ataque químico, devido à menor quantidade de óxidos modificadores de rede incorporados na composição. O átomo de boro substitui parte dos átomos de silício na estrutura da rede e portanto é denominado formador de rede.

O vidro boro-silicato é portanto constituído basicamente por sílica, óxido de boro e de sódio. Utensílios para laboratórios e artigos de uso doméstico são geralmente produzidos com esse tipo de vidro. Também pode ser usado no fabrico de ampolas e frascos para produtos farmacêuticos.

***Vidro Alumino-Boro-Silicato***

Adicionando-se óxido de alumínio na formulação do vidro silicato alcalino, obtém-se um material viscoso a altas temperaturas, visto que o alumínio também é um formador de rede. Sendo trivalente, o íon de alumínio reduz a quantidade de átomos de oxigénio não pontantes e aumenta a coesão da estrutura da rede. Portanto, essa composição gera um vidro mais resistente a altas temperaturas, sendo utilizado para tubos de combustão e materiais vitro-cerâmicos.

***Vidro de chumbo***

A inclusão de óxido de chumbo, o qual actua normalmente como um modificador de rede, nas composições de vidros alcalinos, possibilita uma maior faixa de temperaturas sem alteração da viscosidade. Adiciona-se também potássio em vez dos íões de cálcio e de sódio.

Existem certos requisitos legais quanto ao uso do chumbo em artigos de vidro. Embalagens para alimentos e bebidas não utilizam esse tipo de material, mas artigos de mesa e de uso doméstico tais como copos, taças, cálices são produzidos com esse tipo de vidro. É o chamado vidro “cristal” e apresenta características especiais como: alto índice de reflexão e de refração, excelente transparência e um som metálico característico quando tocado. A proporção de chumbo incorporado na formulação é variável e depende do tipo de produto a ser fabricado. Para outras aplicações, como componentes da indústria de electrónica e óptica, não há restrições quanto ao uso deste metal.

## C.5 Composição do Vidro de Embalagem

O vidro de embalagem pode apresentar grande diversidade de valores na sua composição final, embora estejam sempre presentes alguns constituintes básicos.

Segundo Tooley (1984), deve-se considerar uma classificação funcional dos diferentes óxidos que constituem o vidro sodo-cálcico (ou sílico-sodo-cálcico), podendo ser definidas três categorias de compostos, a saber: formadores de vidro, intermediários e modificadores.

Apenas para efeito ilustrativo, essas funções são identificadas na relação da Tabela 47. O autor realça que não há uma distinção exacta e precisa entre as três classes de óxidos.

Tabela 47 Composição básica do vidro de embalagem “convencional” (Tooley, 1984)

| Constituinte                   | Composição básica                  |
|--------------------------------|------------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | de 71% a 74% em peso (formador)    |
| Na <sub>2</sub> O              | de 13% a 16% em peso (modificador) |
| CaO                            | de 7% a 11% em peso (modificador)  |
| MgO                            | de 0% a 5% em peso (modificador)   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | de 1% a 3% em peso (intermediário) |
| K <sub>2</sub> O               | de 0,4% a 2% em peso (modificador) |

Os demais componentes variam de acordo com o tipo de produto e com as características das matérias-primas utilizadas. Na Tabela 48 são apresentadas a título de exemplo, algumas composições aproximadas de vidros comerciais típicos, do tipo sodo-cálcico.

Tabela 48 Composição aproximada de alguns vidros comerciais típicos, do tipo sodo-cálcico (Tooley, 1984)

| Tipo de produto<br>(% em peso) | Areia<br>SiO <sub>2</sub> | Calcário<br>CaO | Dolomita<br>MgO | Feldspato                      |                  | Barrilha<br>Na <sub>2</sub> O |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|
|                                |                           |                 |                 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O |                               |
| Embalagem incolor              | 72,6                      | 10,4            | 0,8             | 1,6                            | 0,4              | 13,9                          |
| Embalagem ambar                | 71,5                      | 10,5            | 0,4             | 2,3                            | 0,7              | 14,1                          |
| Embalagem verde                | 71,3                      | 10,3            | 0,5             | 2,4                            | 1,1              | 13,9                          |
| Embalagem em geral             | 72,0                      | 11,0            | 1,5             | 2,0                            | 1,0              | 12,5                          |
| Garrafa                        | 72,5                      | 10,0            | 1,0             | 2,0                            | 1,5              | 14,0                          |

Os diferentes óxidos presentes no vidro exercem influência nas suas propriedades. Portanto, alterações na composição (tipo) e na proporção dos óxidos constituintes podem provocar alterações indesejáveis nas características de produção do artigo de vidro (elaboração e moldagem) ou no próprio produto final.

A adequada combinação dos óxidos presentes é obtida por meio da análise química das matérias-primas e do próprio vidro elaborado. No processo de fusão, podem ocorrer variações na composição do vidro devido às matérias-primas utilizadas, ao processo de pesagem impreciso ou problemas no processo de mistura dos materiais. Variações na composição química do vidro provocam alterações nas suas propriedades durante o processo de fabrico (perda de rendimento) ou no produto final, que pode apresentar baixa qualidade.

Portanto, a composição do vidro deve ser determinada com base em alguns factores perfeitamente identificados, cuja importância relativa deve ser avaliada caso a caso. Segundo Tooley (1984), esses factores são:

- satisfazer os requisitos exigidos pelo uso final,
- atender os requisitos de elaboração com relação à fusão, moldagem e os requisitos de homogeneização para as operações de conformação,
- apresentar características compatíveis com as necessidades das operações de conformação,
- ser produzido a um custo que possibilite a comercialização.

Na Tabela 49 são apresentadas as alterações que podem ser provocadas nas propriedades do vidro com o aumento da quantidade de cada um dos principais óxidos (Tooley, 1994).

Tabela 49 Alterações nas propriedades do vidro com o aumento da quantidade de óxidos (Tooley, 1984)

|                                               |                                                                                                   |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sílica<br>(SiO <sub>2</sub> )                 | promove aumento de viscosidade e da resistência ao ataque pela água                               |
| Sódio<br>(Na <sub>2</sub> O)                  | aumenta a solubilidade; reduz a resistência térmica e mecânica; reduz a viscosidade               |
| Cálcio<br>(CaO)                               | reduz a viscosidade e a resistência mecânica e térmica; melhora a resistência ao ataque pela água |
| Magnésio<br>(MgO)                             | reduz a viscosidade e a resistência ao choque térmico; melhora a resistência ao ataque pela água  |
| Alumínio<br>(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | aumenta a durabilidade (resistência de forma geral) e a viscosidade                               |

Com o desenvolvimento de pesquisas nessa importante área, actualmente é possível calcular com boa precisão quais as propriedades do vidro que podem ser obtidas a partir da análise química e a influência de cada um dos principais óxidos que fazem parte da sua constituição.

Existem vários processos que são utilizados para definir e desenvolver uma composição de vidro que atenda a determinadas especificações. Em geral, esses processos são aplicados em duas etapas. Por meio de cálculos e generalizações, além do uso de conhecimentos experimentais, seleccionam-se as composições químicas que podem atender às especificações definidas. Posteriormente, à escala laboratorial, fazem-se testes envolvendo fusões e ensaios específicos, com o objectivo de correlacionar resultados com testes piloto e finalmente, com a escala de produção comercial.

## **C.6 Matérias-Primas**

A maior parte das matérias-primas e produtos utilizados no fabrico do vidro inorgânico são minerais existentes na natureza, cujas características atendem aos requisitos de composição, desde que perfeitamente conhecidas (Ortiz, 1996). As principais matérias-primas utilizadas na produção do vidro sodo-cálcico são a seguir apresentadas:

### ***Areia***

É o material básico ou elemento formador deste tipo de vidro, pois é constituída por 99.0% no mínimo de sílica. Pode ser obtida por extracção convencional, tanto de origem marinha como fluvial, ou de jazidas naturais. Também é possível utilizar o quartzo (mineral constituído por sílica).

A granulometria recomendável para a areia é de 0.1 a 0.5mm. Se houver muita proporção de partículas grandes, estas são de difícil fusão, enquanto a presença de partículas inferiores a 0.1mm, implica a introdução de muito ar com a consequente formação de grande quantidade de pequenas bolhas na massa fundida (“seeds”).

***Calcário***

Mineral constituído por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e extraído de jazidas naturais (pedreiras). Após beneficiamento e moagem até ter a granulometria adequada (de 0.1 a 1.0mm), é incorporado na mistura para fornecer o óxido de cálcio.

***Dolomita***

Mineral constituído por carbonato duplo de cálcio e magnésio ( $\text{CaMgCO}_3$ ). Da mesma forma que o calcário, é extraído de jazidas naturais, beneficiado e fornece o óxido de magnésio à composição do vidro. Para a produção do vidro de embalagem, não há grandes diferenças entre o uso do calcário ou da dolomita.

***Feldspato***

Trata-se de um mineral complexo, constituído por aluminosilicato duplo de sódio e potássio ( $\text{KNa(AlSi}_3\text{O}_8)$ ). Além da sílica, fornece vários componentes ao vidro, tais como: óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ou alumina, óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ). O minério de feldspato é também extraído de jazidas naturais.

***Cianito Nefelínico***

Um outro produto que pode substituir o feldspato é o cianito nefelínico ( $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Na}_2\text{O}.2\text{SiO}_2$ ), extraído de jazidas naturais principalmente no Canadá e Noruega. É considerado uma fonte de alumina e álcalis mais eficiente que o feldspato, quando utilizado na composição do vidro. Segundo fabricantes do cianito nefelínico, é possível reduzir até 20% a quantidade de produto quando comparado ao feldspato.

***Alumina Calcinada***

Também pode ser utilizada como fonte alternativa do feldspato, para incorporação exclusiva de alumina, sem a presença dos demais óxidos.

### ***Barrilha***

Carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) que fornece o óxido de sódio na composição do vidro. Trata-se do componente mais significativo no custo das matérias-primas do vidro, podendo representar até 60% desse valor.

### ***Lixívia de Soda Cáustica***

Como fonte alternativa da barrilha, utilizam-se uma solução de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) a 50%. Devido ao estado líquido desse componente, é necessário adequar o processo de dosagem e mistura, visto que todos os demais constituintes são sólidos. No caso específico do vidro do tipo boro-silicato, utilizam-se dois tipos de bórax (pentahidratado ou anidro) ou ácido bórico como fonte de óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ).

Além das matérias-primas mais importantes, existem os chamados componentes minoritários, os quais são adicionados em menor quantidade, mas são indispensáveis para a obtenção das características desejadas. Estes são:

### ***Afinantes***

Os materiais que promovem uma maior homogeneidade da massa de vidro fundida denominam-se afinantes ou agentes de refinamento.

O vidro é produzido a partir de matérias-primas pulverulentas e que possuem grande quantidade de ar ocluso entre os grãos. Durante o processo de fusão do vidro, ocorre a formação de gases, que é responsável por uma perda de peso da ordem de 13 a 15%.

Os agentes de refinamento também produzem gases, mas em condições que permitam a formação de grandes bolhas numa temperatura suficientemente alta (na qual o vidro já está formado). Estas bolhas ao subirem para a superfície de forma violenta, arrastam as bolhas menores (de ar e de gases), pelo efeito de maior dimensão, além de promoverem uma boa agitação da massa fundente. Com isso o vidro fica homogêneo e sem a presença de bolhas na massa arrefecida. Com essa finalidade é adicionado usualmente o sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) para o vidro sodo-cálcico, podendo ser usado também o sulfato de cálcio ou de bário.

**Corantes ou Descorantes**

Dependendo da aplicação e do tipo de produto fabricado, o vidro poderá receber substâncias que o tornem colorido.

Em geral, utilizam-se óxidos metálicos ou combinações desses óxidos, tais como: óxido de ferro, de cobalto, de manganésio, de níquel ou de crômio. Embora adicionados em pequenas quantidades, esses metais podem apresentar restrições ao uso em embalagens para alimentos e bebidas.

É apresentado na Tabela 50 alguns corantes mais frequentemente usados no vidro (British Glass, 1996).

Tabela 50 Corantes usados no vidro (British Glass, 1996)

| Corante                | Cor do Vidro             |
|------------------------|--------------------------|
| Ferro                  | Verde, Castanho, Azul    |
| Manganésio             | Púrpura                  |
| Crômio                 | Verde, Amarelo, Rosa     |
| Vanádio                | Verde, Azul, Cinzento    |
| Cobre                  | Azul, Verde, Vermelho    |
| Cobalto                | Azul, Verde, Rosa        |
| Níquel                 | Amarelo, Púrpura         |
| Urânio                 | Amarelo, Castanho, Verde |
| Titânio                | Púrpura, castanho        |
| Neodímio               | Púrpura                  |
| Praseodímio            | Verde                    |
| Cério                  | Amarelo                  |
| Carvão e Enxofre       | Ambar, Castanho          |
| Sulfureto de Cádmio    | Amarelo                  |
| Sulfureto de Antimônio | Vermelho                 |
| Selênio                | Rosa, Vermelho           |
| Ouro                   | Vermelho                 |

O vidro incolor não deve conter impurezas ou a presença desses óxidos metálicos, em especial o óxido de ferro, usualmente presentes nas matérias-primas minerais. Para minimizar a coloração amarelo esverdeado que o óxido de ferro (conteúdo máximo abaixo de 0.05%) confere ao vidro incolor, adicionam-se agentes descorantes, os quais “mascaram” o efeito da presença desse óxido.

Os descorantes mais utilizados são o selênio (Se) combinado com óxido de cobalto ( $\text{Co}_2\text{O}_3$ ) e o processo consiste em sobrepor as cores complementares à coloração indesejada. Assim, a adição de selênio promove a cor vermelha, enquanto o cobalto introduz a cor azul.

Os requisitos básicos que essas matérias-primas devem atender, além de suprimento regular e preços competitivos, são relativos ao grau de pureza e à distribuição do tamanho dos grãos ou partículas.

Visto que a areia é o componente de maior participação na composição do vidro de embalagem além de ser a matéria-prima que apresenta maior dificuldade de fusão, os requisitos e especificações são mais rigorosos. De maneira geral a granulometria das matérias-primas deve variar de 0.1 a 1.0mm.

### ***Vidro Reciclado***

A incorporação de vidro reciclado às matérias primas naturais tem adquirido grande importância no processo de fabrico, devido às questões ambientais e económicas. Do ponto de vista ecológico, a adição de “casco” (vidro para reciclagem) permite uma considerável redução da quantidade de resíduos sólidos por embalagens descartáveis e promove em simultâneo a redução das dificuldades na extracção e utilização dos minerais que constituem as matérias-primas do vidro. Também é possível reduzir o consumo de combustíveis na geração de energia, minimizando os problemas de poluição ambiental.

O material (cacos de vidro recuperados e tratados) proveniente dos resíduos dos processos de fabrico ou de outras fontes, constitui uma matéria-prima que apresenta vantagens tecnológicas, pois melhora sensivelmente o processo de fusão, gerando economia no consumo de energia, além de aumentar a extracção do forno sem incrementar o consumo de energia.

O casco de vidro pode ser classificado em três grupos quanto à sua origem:

- i) Material gerado na própria fábrica ou no mesmo forno, possuindo a mesma composição química do vidro em produção, podendo portanto retornar à mistura sem qualquer correcção.
- ii) Material proveniente de outra fonte geradora, como por exemplo um outro forno de fusão. Neste caso, deve ser considerado no cálculo da composição à qual será incorporado.
- iii) Material estranho de origem desconhecida (proveniente de um processo de reciclagem). Neste caso deve ser considerado como uma matéria-prima qualquer, realizando-se análises químicas que assegurem a compatibilidade com a composição na qual será agregado.

O maior problema relativo à utilização de vidro reciclado é a presença de contaminantes, mais frequentemente no casco colectado fora da fábrica. Como por exemplo, metais que atacam os refractários dos fornos e materiais que não fundem que poderão constituir inclusões sólidas no produto final. Outra questão relativamente ao material reciclado é a necessidade de separação por cor, uma vez que na produção do vidro incolor só é possível adicionar cacos de vidro incolor.

## C.7 Propriedades do Vidro

### *Viscosidade*

Por definição a viscosidade pode ser descrita como a resistência oferecida pelo material contra o escoamento. O movimento desenvolve uma força de fricção que é característica de cada substância, no estado líquido (Ortiz, 1996).

Para o vidro no estado sólido, à temperatura ambiente, não faz muito sentido considerar a viscosidade como uma propriedade importante, visto que nessas condições ele é um “sólido rígido elástico” (não apresenta deformação plástica). Contudo, é imprescindível que a viscosidade seja analisada e controlada durante o processo de fabrico das embalagens de vidro, nas etapas de fusão, afinagem, conformação e recozimento. Quando a altas temperaturas, o vidro é um líquido viscoso.

À medida que o vidro sofre arrefecimento, apresenta grande aumento da viscosidade e consequentemente, não se cristaliza, pois os átomos dos diferentes elementos não podem sofrer rearranjo. Na Figura 30 é apresentada a curva que representa a variação da viscosidade do vidro em função da temperatura. Para maior facilidade de análise, os valores da viscosidade ( $\eta$ ) expressa em Poise, são indicados em escala logarítmica ( $\log \eta$ ). Assim, uma viscosidade de 100 Poise correspondente ao vidro fundido, é expressa como 2. Na temperatura ambiente, a viscosidade do vidro atinge 19 ( $\log \eta$ ).

São definidos também na Figura 31 alguns pontos de referência, identificando as temperaturas correspondentes a determinados valores de viscosidade. Os mais relevantes são os seguintes:

- i) Temperatura de fusão ou refinamento: onde o valor de  $\log h = 2.0$ .
- ii) Temperatura de gota: na qual  $\log h = 3.0$ .
- iii) Temperatura de trabalho: correspondente a  $\log h = 4.0$  a partir da qual se iniciam as operações de conformação.
- iv) Temperatura de amolecimento: na qual o valor de  $\log h = 7.6$ . Abaixo dessa temperatura o vidro está rígido (comportamento de sólido elástico) e não pode ser conformado.
- v) Temperatura de recozimento: na qual o valor de  $\log h = 13.0$ . Nesta condição, as tensões residuais do vidro são atenuadas rapidamente e ocorre apenas o início de deformação.
- vi) Temperatura inferior de recozimento: na qual o valor de  $\log h = 14.5$  e as tensões do vidro podem ser atenuadas em períodos mais longos de tempo.

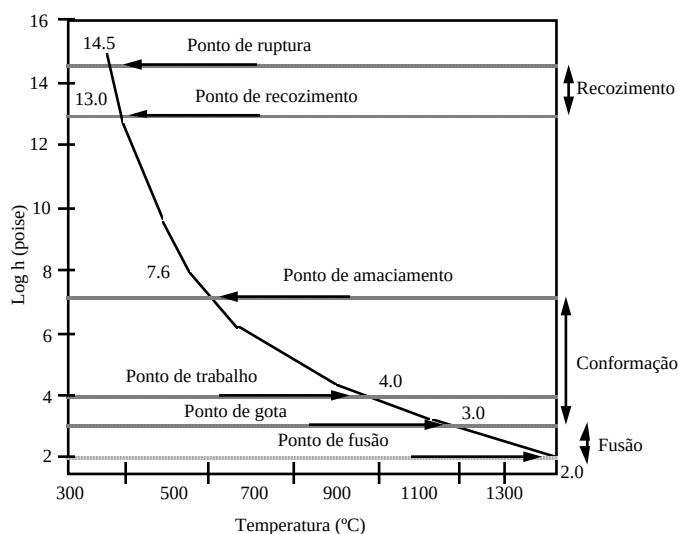


Figura 30 Representação da viscosidade do vidro de embalagem em função da temperatura.

A viscosidade do vidro apresenta grande variação em função da temperatura. Esta variação depende também da composição do vidro. O processo de conformação deve ser aplicado sob condições muito bem controladas, cujo principal parâmetro é a temperatura do material. Existe uma faixa ou intervalo de temperatura na qual o vidro pode ser conformado, cuja denominação usual é “faixa de trabalho”. Este é definido como sendo a diferença entre a temperatura da gota (onde  $\log h = 3$ ) e a temperatura do ponto de amolecimento (onde  $\log h = 7.6$ ).

Dependendo da amplitude desse patamar, identifica-se o intervalo de tempo no qual o vidro pode ser conformado. Como exemplo, se o equipamento é automático, o tempo de conformação é curto, pois ao final da operação (com duração total de alguns segundos) o vidro deve estar suficientemente rígido para não deformar. É o chamado vidro “curto”. Para operações de conformação manual, utiliza-se o vidro “longo”.

Outra característica associada à viscosidade é a região na qual está localizado o patamar ou faixa de trabalho. Se um determinado vidro necessita de maiores temperaturas para ser conformado, é denominado vidro “duro”. Caso contrário, pode ser considerado como vidro “mole”. Essas denominações são particulares e devem ser consideradas apenas como conceitos relativos.

### ***Densidade***

A densidade do vidro (massa/volume) é um importante parâmetro para o controle da produção. em se tratando de uma medição simples, é utilizada para indicar o grau de mistura da composição e da massa de vidro, tanto em relação ao tempo (processo contínuo) como ao tipo de produto (composição).

O valor típico de densidade para o vidro sodo-cálcico de embalagem está entre 2.46 e 2.50 g/cm<sup>3</sup>. Com base na experiência prática, variações de até 0.0010g/cm<sup>3</sup> entre produções diárias indicam homogeneidade satisfatória. Alterações na composição do vidro com variações nos valores de densidade superiores a 0.0015g/cm<sup>3</sup>, devem ser evitadas pois podem provocar problemas de homogeneidade.

## **C.7.1 Propriedades Ópticas**

### ***Transmitância***

Quando o vidro não apresenta heterogeneidade e está totalmente livre de tensões, é considerado um material opticamente isotrópico. Um feixe de luz incidente sobre uma superfície de vidro tem parte

da luz reflectida e o restante atravessa a parede de material. Devido à maior densidade do vidro quando comparada com a do ar, ocorre um desvio da luz, cujo fenómeno é denominado refacção. Parte da energia luminosa incidente é absorvida pelo vidro. Na superfície oposta, ocorrem novamente os fenómenos de reflexão e refacção.

Quanto à proporção de luz reflectida numa superfície de vidro, esta é geralmente reduzida e depende do índice de refacção do vidro e do ângulo de incidência. Para ângulos até 20°, a equação de Fresnel possibilita calcular as perdas por reflexão (Tooley, 1984).

A luz sofre redução na sua velocidade ao passar do ar para o vidro, um material com maior densidade. Consequentemente, ocorre um desvio do ângulo incidente, em relação à perpendicular. O índice de refacção quantifica esse desvio e é calculado com base na relação das velocidades da luz no ar e no vidro ou pela medida dos ângulos de incidência e de refacção. Sempre que necessário, o índice de refacção é determinado normalmente no comprimento de onda igual a 598.3nm, para efeito comparativo.

Portanto, a transmitância de um determinado tipo de vidro é a relação entre a intensidade da luz emergente e a intensidade da luz incidente. As perdas por reflexão e por absorção correspondem à diferença de intensidade medida. Se a transmitância de um determinado vidro é elevada e não varia muito na faixa de 400 a 700nm (região do espectro visível), este material será considerado como incolor, com base na sensibilidade do olho humano. Se a absorção de luz é selectiva em função dos elementos introduzidos numa composição do vidro para conferir maior absorção em determinadas faixas do espectro visível, o material apresentar-se-á como colorido ao olho humano.

O vidro incolor transmite luz em comprimentos de onda acima de 300nm, oferecendo portanto boa protecção contra os raios ultravioleta, abaixo desse valor. O vidro verde transmite luz acima de 330nm, enquanto o vidro de cor âmbar oferece boa protecção até 450nm.

### ***Birrefringência***

Quando submetido a tensões internas (de compressão ou de tracção), o vidro apresenta alterações de densidade localizadas e consequentemente, o índice de refacção pode ser maior ou menor. Fisicamente, isso significa que a velocidade da luz no vidro depende do grau de tensões e as mudanças de velocidade são directamente proporcionais a essas tensões. Portanto, sob essas condições o vidro é birrefringente.

A determinação da intensidade das tensões residuais em pelo menos uma das direcções (unidimensional), pode ser feita por meio da birrefringência, de forma rápida e eficiente, com o uso de luz polarizada. Em princípio, mede-se a diferença de velocidade entre a luz incidente proveniente do polarizador e a luz que passou através do material, medida no analisador.

### **Cor**

Uma das características de maior importância para embalagens de vidro é a cor. Um material obtido a partir de óxidos formadores e modificadores é geralmente incolor (desde que não haja contaminação por óxidos metálicos e sulfuretos). Como já mencionado, o uso de matérias-primas minerais incorpora por exemplo, o óxido de ferro. Essa substância deve atingir no máximo 0.03% em peso na composição do vidro incolor e pode chegar a 1% no vidro de cor verde.

Embora a definição exacta da cor tenha características de subjectividade, é possível medi-la com instrumentos específicos em laboratório. A composição da cor pode ser feita a partir de três parâmetros, correspondentes à matiz, à pureza e à quantidade de luz transmitida.

### **C.7.4 Propriedades químicas**

O vidro é um dos poucos materiais de embalagem que pode ser considerado como inerte à maioria das substâncias conhecidas. Apenas o ácido fluorídrico dissolve o vidro de forma intensa. Entretanto, o vidro sodo-cálcico é relativamente inerte e muito resistente quando em contacto com substâncias ou soluções neutras e ácidas.

Na presença de água (líquida, humidade ou soluções aquosas), o vidro sodo-cálcico pode sofrer um processo de “corrosão”, com reacções químicas e alterações estruturais. Quando em contacto com a água, ocorre um ataque com troca de iões sódio do vidro por iões hidrogénio da solução (ou da própria água). Em se tratando de um processo de difusão, a velocidade ou percentagem de extracção alcalina diminui com o tempo. Como exemplo, de uma embalagem com capacidade de 1000ml a 20°C, é possível extrair até ao máximo de 25mg de sódio, após seis meses de contacto. Entretanto, a 100°C, essa mesma quantidade pode ser extraída em apenas 1 hora. Esse problema é muito crítico em certos tipos de produtos, na indústria de medicamentos e na de produtos farmacêuticos.

Para minimizar essa extracção, a superfície do vidro pode ser tratada com dióxido de enxofre, à temperatura de aproximadamente 500°C, formando-se uma película desprovida de compostos alcalinos. Esse processo aumenta a resistência química do vidro quando em contacto com soluções de pH inferior a 9. Assim, o vidro alcalino - Tipo III (utilizado para produção de embalagens em geral) passa a ser semi-neutro ou Tipo II, o qual pode ser utilizado para produtos de uso parenteral (que não devem ter alteração do seu pH).

Quando em contacto com soluções alcalinas (com alta concentração de iões hidróxido), cujo pH é superior a 9, o vidro sodo-cálcico apresenta pouca resistência, uma vez que a própria estrutura do material pode ser atacada. Os iões hidróxido reagem com as ligações formadoras da rede Si-O, promovendo mesmo a dissolução do material. À medida que o Si(OH)<sub>4</sub> formado passa para a solução, ocorre uma gradual perda de peso directamente proporcional ao tempo de contacto e muito influenciada pela temperatura.

Outro tipo de ataque à superfície do vidro é ocasionado pela condensação de humidade presente no ambiente em que se encontra a embalagem. Dependendo das condições existentes, pode ocorrer uma extracção dos iões sódio, semelhante à reacção verificada na presença de solução aquosa. Caso haja concentração de produtos de reacção sobre a superfície do vidro, como resultado de condensação e evaporação cíclica (as gotas de água secam lentamente sobre a superfície), pode ocorrer inicialmente um embaciamento da superfície. Se esse processo ocorrer durante um longo período de tempo, como por exemplo, durante a armazenagem de embalagens vazias sob condições de humidade e com variações diárias de temperatura, pode haver formação de uma película muito difícil ou impossível de ser removida.

### **C.7.5 Propriedades mecânicas**

#### ***Resistência mecânica***

Quando se faz uma análise de resistência mecânica do vidro, deve-se considerar em primeiro lugar, a resistência teórica dos materiais. Em geral, define-se a resistência à fractura de um material, como sendo a força necessária para romper as ligações químicas entre os átomos que o constituem. No entanto, a resistência real dos sólidos frágeis é significativamente menor que os valores teóricos.

O vidro, nas condições ambientais, pode ser considerado um material sólido elástico perfeito, pois sofre fractura exclusivamente por esforços de tracção, especialmente na superfície do objecto.

Apenas para ilustrar essas afirmações, a resistência teórica do vidro sem defeitos, imediatamente após o seu fabrico é superior a 2000kgf/mm<sup>2</sup> ou 7500MPa. Em condições normais de uso, essa resistência à tracção situa-se em torno de 4 a 10kgf/mm<sup>2</sup>. O aço apresenta um valor da ordem de 40kgf/mm<sup>2</sup>. Entretanto, quando submetido à compressão, tanto o vidro como o aço apresentam uma resistência da ordem de 100kgf/mm<sup>2</sup>.

Diversas pesquisas foram realizadas no sentido de identificar porque é que os valores de resistência à fractura calculados teoricamente são muito superiores aos medidos na prática. Várias teorias procuram explicar essas discrepâncias e o ponto em comum entre a maioria delas refere-se ao estado superficial do vidro.

De forma mais abrangente, a resistência mecânica do vidro pode ser influenciada pelos seguintes factores:

- a condição física e/ou mecânica da superfície, sobretudo a natureza e o grau de severidade das abrasões presentes,
- a natureza (tipo) e o tempo de duração das tensões (cargas aplicadas),
- as condições ambientais, tais como a temperatura e a composição química do meio no qual o produto está em contacto,
- a condição química da superfície, incluindo a presença ou não de filmes orgânicos ou inorgânicos e o estágio de envelhecimento da superfície.

Quanto ao primeiro factor, considerado como o mais importante, a presença de microfissuras na superfície de vidro exposta ao ambiente, gera regiões onde se localizam concentradores de tensão. Tais concentradores de tensão são pontos onde ocorrem as fracturas, pois estes actuam como multiplicadores do efeito das tensões produzidas, por cargas aplicadas ao material. Como mencionado, a natureza e o grau de severidade das abrasões superficiais é que determina uma maior ou menor influência na resistência da embalagem.

As principais causas da existência desses concentradores de tensão são atribuídas ao processo de abrasão superficial ao qual a embalagem de vidro é submetida. Também são aceites as possibilidades de que os defeitos microscópicos superficiais sejam provocados pelo processo de

arrefecimento do vidro, durante a moldagem ou pela presença de áreas heterogêneas na massa de vidro.

A resistência à tracção ou tensão de fractura está directamente relacionada com a presença dos defeitos microscópicos na superfície do vidro, constatando-se que a resistência mecânica do vidro decresce com o aumento da profundidade da fissura. (Davidge, 1979).

Com base na experiência acumulada, são propostas duas classes de processos que podem originar concentradores de tensão:

- Fissuras produzidas mecanicamente, por impacto, abrasão, clivagem (riscos profundos),
- Fissuras produzidas no processo de fabrico da embalagem de vidro, devido a choque térmico e/ou mecânico, dobras ou rugas, inclusões sólidas e/ou gasosas.

Portanto, de forma geral, a grande influência das condições superficiais da embalagem de vidro na resistência mecânica do material, justifica o grande desenvolvimento de processos para proteger adequadamente a superfície externa da embalagem, durante o fabrico e a utilização do produto.

### ***Fadiga Estática***

Com respeito ao segundo factor identificado anteriormente, o tipo ou natureza e a duração da tensão aplicada são um aspecto extremamente importante para embalagens de vidro. O fenómeno de “fadiga estática” consiste na dependência que a tensão de ruptura do vidro apresenta em relação ao tempo de aplicação da carga.

Se uma carga é aplicada na embalagem de vidro durante um longo período de tempo, observa-se que o material apresentar-se-á menos resistente do que se for aplicada a mesma carga por curto período de tempo.

Experimentalmente constatou-se que quando o vidro é solicitado por uma carga durante 24 horas, a sua resistência será aproximadamente 50% menor do que a carga com duração de apenas 1 segundo. A principal razão para esse fenómeno, é que sob carga, a fissura na superfície tende a crescer vagarosamente por causa do ataque químico (vapor de água presente na atmosfera). Os átomos localizados na extremidade da fissura estão fortemente sob tensão, o que torna esta área muito vulnerável ao ataque químico.

Com base na equação de Griffith, a resistência à tracção do vidro decresce com o aumento do comprimento ou profundidade da fissura. Portanto, se o tempo de aplicação da carga for suficientemente longo, a embalagem de vidro poderá sofrer ruptura com baixos valores de resistência.

Felizmente, o processo de fadiga estática ocorre apenas acima de determinados níveis de carga. Assim, para valores menores, esse fenómeno pode ser desprezado. Deve-se realçar a consideração desse efeito, quando se avalia a resistência mecânica de embalagens de vidro, especialmente quando se trata de garrafas para bebidas carbonatadas.

### ***Dureza***

A característica da dureza do vidro é importante sob o aspecto de resistência ao risco. Entretanto, não é possível modificar facilmente essa propriedade apenas por meio de alterações na composição do material. Todos os vidros à base de silicatos têm uma dureza entre 4.5 e 6 na escala de Mohs.

A dureza superficial das embalagens de vidro aumenta normalmente, com a aplicação de tratamentos superficiais.

## **C.7.6 Propriedades Térmicas**

### ***Expansão Térmica***

A exemplo de quase todas as substâncias e materiais, o vidro apresenta uma expansão quando é aquecido e uma contracção quando é arrefecido. A dimensão dessa característica é expressa pelo coeficiente de expansão térmica linear, o qual indica o aumento do comprimento para cada grau de aumento na temperatura.

Pode ser considerada uma das mais importantes propriedades do vidro uma vez que ela determina a resistência que o material terá quando submetido a um choque térmico. O vidro sodo-cálcico possui um coeficiente de expansão térmica linear da ordem de  $90 \times 10^{-7} \text{m/m}^\circ\text{C}$ , na faixa de temperatura de 0 a 300°C.

### ***Resistência ao Choque Térmico***

Uma característica de muita importância para embalagens de vidro é a condutividade térmica do material, que mede a transferência de calor por unidade de área, quando submetido a um gradiente de temperatura. O vidro é um mau condutor de calor, devido à sua estrutura (ligações químicas de natureza iónica). Portanto apresenta certas limitações quanto às variações de temperatura que pode suportar.

A resistência ao choque térmico é definida como uma medida de variação máxima de temperatura à qual o produto de vidro pode ser submetido sem apresentar fracturas. Na realidade, o vidro não se quebra por influência directa do choque térmico. O que provoca a ruptura da embalagem de vidro são as tensões de tracção geradas durante o arrefecimento rápido da superfície previamente aquecida. Portanto, o processo inverso, ou seja um aquecimento muito rápido de um objecto de vidro “frio” não apresenta a mesma incidência de quebra.

Assim, se uma embalagem de parede espessa for aquecida a uma temperatura elevada e repentinamente imersa em água fria, os esforços de tensão (tracção) ficarão localizados na superfície, devido à contracção térmica, enquanto as áreas internas estarão “dilatadas” porque permanecem aquecidas.

## **C.8 Processo de Produção de Embalagens de Vidro**

Desde a sua origem até aos nossos dias, o processo de fabrico do vidro continua o mesmo, tendo sofrido variações apenas na mecanização do processo, com a introdução de ar comprimido em substituição do sopro humano. Posteriormente os equipamentos foram aperfeiçoados e automatizados, gerando as unidades de produção contínua.

As matérias-primas são pesadas, misturadas e introduzidas no forno de fusão por um processo contínuo. O vidro fundido é retirado do forno em pequenas quantidades (suficiente para produzir uma unidade de embalagem) e introduzido no equipamento de conformação. Após a moldagem, as embalagens são submetidas ao recozimento e aos tratamentos superficiais, seguindo directamente para os sistemas de acondicionamento (paletização).

Cada uma das principais fases do processo é descrita a seguir, com destaque para as características dos equipamentos envolvidos (Robertson, 1993).

### **C.8.1 Preparação da Composição**

As matérias-primas são seleccionadas de acordo com a formulação estabelecida para cada tipo de vidro e/ou produto a ser fabricado. Essas matérias-primas chegam à fábrica beneficiadas e prontas para a utilização. Os requisitos de pureza e a composição química de cada componente são rigorosamente verificados uma vez que as propriedades e características do produto final dependem dessa formulação. Em geral, cada matéria-prima é armazenada na forma de lotes, os quais são submetidos à análise química e granulométrica.

A partir da composição química padrão, faz-se um cálculo da composição para determinar a quantidade de cada matéria-prima a ser adicionada. A manutenção constante dessa composição química só pode ser assegurada com um rígido controlo das matérias-primas e com o cálculo correcto da composição, o qual deve ser refeito sempre que houver mudanças nos resultados de análise de uma matéria-prima.

Na unidade de composição, cada uma das matérias-primas seleccionadas é pesada automaticamente (balanças de grande precisão) a partir de silos específicos. As quantidades de cada componente são determinadas a partir da formulação estabelecida e da análise química previamente efectuada.

A mistura vitrificável é então obtida num equipamento misturador, o qual recebe todas as matérias-primas e possibilita uma homogeneização dos componentes sólidos. A quantidade total de cada “partida” é variável, dependendo das características da unidade instalada.

Considerando que as matérias-primas utilizadas são de boa qualidade, com alta homogeneidade química e física, é fundamental que o processo de mistura seja eficiente, pois tratam-se de materiais sólidos, com granulometria e densidade diversas. Análises de homogeneidade da composição podem indicar eventuais problemas de pesagem, com a grande vantagem de evitar que o produto fora de especificações seja introduzido no forno de fusão.

Um problema que deve ser evitado é a segregação ou seja, a separação entre partículas maiores ou menores, uma vez que isso implicará a produção de um vidro não homogéneo. O processo de segregação pode ocorrer, por exemplo, nos silos de armazenagem das matérias-primas (carga e descarga) ou durante o transporte da composição ou mistura vitrificável até ao forno de fusão. Em geral, não se deve incorporar o casco de vidro reciclado na fase de mistura, pois além da diferença de granulometria, ocorrerá um grande desgaste do equipamento misturador.

Com a finalidade de reduzir a formação de finos ou poeiras e a segregação dos componentes durante o transporte, adiciona-se água durante a operação de mistura, até cerca de 4% da

composição. Caso seja utilizada a lixívia de soda cáustica, esse componente líquido substitui a adição da água.

### **C.8.2 Processo de Elaboração do Vidro**

O processo de transformação (fusão, afinagem, homogeneização e condicionamento) da mistura vitrificável ocorre nos fornos de fusão. As principais características de um forno dependem do tipo, da qualidade e da quantidade de vidro a ser fabricado. Factores como a disponibilidade de energia e de recursos de investimento, além do nível de complexidade tecnológica do processo, também influenciam na selecção das características mais adequadas para um forno de fusão.

O forno é considerado o principal “equipamento” de uma fábrica de vidros, pois trata-se de um complexo conjunto com estrutura, instalações e controlos sofisticados, os quais exigem grandes investimentos e alta tecnologia. As altas temperaturas verificadas nas diferentes regiões do forno podem variar de 1500 a 1600°C, exigindo que o mesmo seja construído com materiais refractários especiais, resistentes também ao ataque químico dos componentes em fusão.

Para um melhor entendimento do processo de fusão é necessário conhecer as principais características dos fornos mais utilizados.

#### ***Fornos***

Nas modernas empresas que produzem embalagens, o processo de fabrico é totalmente contínuo e automatizado. Isso significa que os fornos de fusão operam, na sua grande maioria, com processo contínuo e igualmente automatizado. Portanto, não são utilizados fornos intermitentes ou descontínuos, salvo em pequenas empresas com processo de fabrico manual.

Nos fornos contínuos, existem locais chamados enfornadeiras, nos quais é introduzida a mistura vitrificável, enquanto na outra extremidade é extraído o vidro fundido, em operação contínua e ininterrupta durante cerca de 4 a 8 anos, dependendo das condições de operação, da qualidade dos refractários, dos cuidados na construção e da fase de arranque. Nestas condições podem ocorrer reparações a quente. Após esse período, é feita uma paragem total para a recuperação (reparação a frio) ou reforma parcial ou total do forno.

Como mencionado anteriormente, são instalações complexas e dimensionadas para grande produção, podendo atingir valores de até 500 toneladas de vidro de capacidade interna do forno. Portanto, existem dois tipos básicos de fornos, quanto ao tipo de aquecimento:

### ***Combustão***

Nessa classe de fornos, a mais comum para a produção de vidro de embalagem, a energia para o aquecimento e fusão das matérias-primas é introduzida por meio da combustão de óleo ou gás, transferindo calor das chamas, posicionadas sobre a massa de vidro. Os fornos de combustão podem ser regenerativos ou recuperativos.

O forno regenerativo funciona em ciclos, nos quais os fumos e gases gerados na combustão são forçados a passar através de uma estrutura de material refractário, denominada regenerador. Esses gases e fumos quentes transferem calor para a estrutura e aquecem o regenerador. Ao mesmo tempo, o ar de combustão, o qual será introduzido nos queimadores, recebe calor de outro regenerador previamente aquecido, podendo atingir temperaturas da ordem de 900°C. Ao final do ciclo, com duração média de 20 a 30 minutos, altera-se o sentido do escoamento dos gases de combustão e do ar frio que está a ser introduzido no forno.

O forno recuperativo não opera em ciclos. Os fumos e gases de combustão, antes de serem encaminhados para a chaminé, passam continuamente através de um grande sistema tubular (recuperador metálico), no qual existe a entrada de ar que será utilizado na combustão. Assim, parte da energia térmica passa para o ar, aquecendo-o. Os fornos que utilizam esse tipo de recuperador são denominados “Unit Melter”.

Quanto à posição dos queimadores, os fornos de combustão podem ser de dois tipos:

- i) Chama transversal, no qual os queimadores são instalados nas partes laterais do forno, fazendo-se a enforma e a extracção nas extremidades. Neste caso, a quantidade total de queimadores dependerá do tamanho (capacidade) do forno.
- ii) Chama longitudinal, no qual os queimadores são instalados na parte traseira ou posterior do forno, sempre em número de dois. Neste caso, a enforma é feita pelas partes laterais, de forma alternada, dependendo do ciclo de combustão.

### ***Fornos eléctricos***

Existem fornos que utilizam a energia eléctrica como forma de aquecimento da mistura vitrificável. Uma vez que o vidro é um bom condutor de electricidade a altas temperaturas, nesse tipo de forno existem eléctrodos de platina ou molibdénio, posicionados de forma a ficarem imersos na massa de vidro. Pela passagem de corrente eléctrica nos mesmos, gera-se calor na massa por dissipação da energia no vidro fundido. O forno eléctrico de abóbada fria é essencialmente não poluente. Nos fornos a combustão, também são instalados eléctrodos para melhorar as características de fusão do vidro e aumentar a extracção do forno.

Segundo análises recentes, nas regiões onde a energia eléctrica é gerada por indústrias nucleares ou hidroeléctricas, haverá tendência para substituição parcial ou total do combustível (nafta ou gás) pelo sistema de aquecimento com eléctrodos. Entretanto, nas unidades de produção de alta capacidade para o vidro sodo-cálcico, não deverá ocorrer um desenvolvimento muito expressivo do uso de fornos eléctricos.

Outra tendência muito forte é a utilização do forno a oxigénio ou 100% oxicomustão, o qual consiste na substituição do ar pré-aquecido pelo oxigénio no processo de combustão. As principais vantagens desse processo são: redução da geração dos compostos poluentes (particulados e NOx); maior estabilidade de operação, pois eliminam-se as inversões de ciclo e menor investimento (não exige a instalação dos regeneradores). Obtém-se com a conversão uma maior eficiência térmica e um aumento da produtividade do forno.

Prevê-se uma crescente introdução desse sistema nos fornos do tipo “Unit Melter”, devido à sua baixa eficiência térmica. Na medida em que as unidades de produção de oxigénio localizadas na própria empresas sejam mais económicas, o custo do oxigénio passará a ser mais competitivo.

De forma geral, os fornos deverão produzir vidro de melhor qualidade e com menor emissão de poluentes.

Em todos os casos citados, o formato geral desses fornos é rectangular, com dimensões variáveis, dependendo da capacidade de extracção e do tipo de estrutura que possui.

### ***Afinagem***

Prosseguindo o deslocamento no interior da cuba, o vidro fundido atinge a região denominada afinagem. Nesta área, existem borbulhadores que promovem a formação de bolhas para arrastar todos os gases existentes na massa fundida, provenientes das reacções químicas formadoras do vidro. Promove-se também um aquecimento mais intenso da massa, atingindo temperaturas de 1550 a 1580°C. Com esse processo, as bolhas deslocam-se até à superfície do vidro, onde eclodem. Obtém-se assim um material fundido mais homogéneo e em condições de ser condicionado.

### ***Condicionamento***

Numa outra área do forno, próxima da descarga do vidro e denominada tanque de trabalho ou canais, o vidro que foi mais aquecido e portanto está menos viscoso, é submetido a um processo de conformação (condicionamento térmico). A temperatura decresce cerca de 100 a 200°C, atingindo valores que podem variar de 1250 a 1450°C. Entre as duas regiões existe uma barreira física denominada garganta. Trata-se de um obstáculo que permite a passagem da massa fundida apenas através de uma abertura especial, localizada no fundo do tanque. Esse dispositivo actua como sifão, eliminando o material não fundido que permanece como sobrenadante. O vidro perfeitamente homogeneizado é transferido para uma próxima etapa.

## **C.8.3 Processo de Fabrico da Embalagem de Vidro**

### ***Fornecedora ou Canal de Distribuição***

Após a fase de condicionamento, o vidro homogéneo é conduzido para as fornecedoras ou canais de distribuição. São conjuntos de equipamentos que conduzem a massa fundida do forno para as máquinas automáticas de fabrico, adequando a temperatura de forma a produzir as gotas com as características desejadas, específicas para cada produto. A principal finalidade dessa etapa do processo é uniformizar a distribuição de temperatura do vidro em toda a massa que escoar no canal.

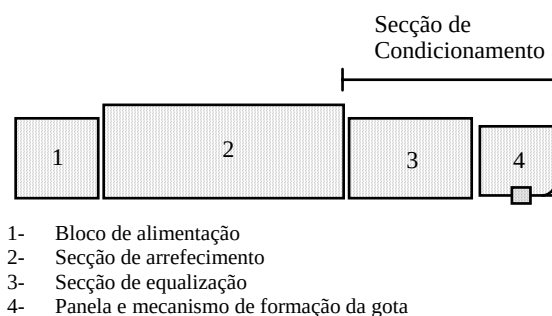


*Figura 31 Representação esquemática de uma fornecedora, indicando as principais áreas*

Consta basicamente de um canal no interior do qual o vidro escoar por gravidade do forno para o “alimentador” e de uma panela ou recipiente no qual actua o alimentador. Na fornecedora estão instalados sistemas e dispositivos de aquecimento (a gás ou a óleo) e de arrefecimento do vidro.

### ***Alimentador***

É o equipamento que produz e fornece a gota de vidro fundido à máquina de fabrico da embalagem. Compõe-se basicamente de um tubo e um pino refractário, além de uma tesoura, os quais permitem que o processo de formação da gota seja totalmente automático e contínuo. O princípio de funcionamento é o seguinte:

- i) O pino desloca-se para cima (como um êmbolo), no interior do tubo, aspirando uma determinada quantidade de vidro, correspondente ao peso do produto a ser fabricado. O tubo controla a vazão de massa de vidro.
- ii) Em seguida, ao descer, o pino expulsa essa massa de vidro que passa através da arruela, cuja função é reduzir a quantidade de vidro que escoar.
- iii) De forma perfeitamente sincronizada, a tesoura faz o corte da massa de vidro abaixo da arruela, produzindo a gota com as características de peso, forma e perfil de temperatura compatíveis com os requisitos exigidos. A tesoura é constituída de duas lâminas especiais.

Um aspecto muito importante é a compatibilização entre a velocidade de formação das gotas e a velocidade de operação das máquinas de fabrico.

***Máquina “Individual Section” - I.S.***

O equipamento mais utilizado para a conformação do vidro para a produção de embalagens denomina-se máquina I.S. e consta de um conjunto de mecanismos pneumáticos, comandados mecanicamente ou electronicamente, cuja principal função é executar todas as operações necessárias para produzir uma embalagem de vidro. A denominação I.S. é devida ao sistema de secções individuais que o equipamento possui, as quais operam de forma independente. A quantidade ou número de secções que podem fazer parte de uma máquina varia, em geral, de 6 até 16 secções.

Dependendo do tipo de máquina, as suas características podem variar também quanto à quantidade de embalagens que podem ser produzidas em cada ciclo. Uma I.S. dupla carga ou dupla gota significa que pode produzir duas embalagens por ciclo, enquanto um equipamento de quádrupla carga produz quatro unidades em cada secção por ciclo. As distâncias entre eixos dos moldes e entre os centros de cada gota também podem variar, dependendo do tipo e do tamanho (dimensões) da embalagem a ser produzida.

De forma genérica, uma máquina I.S. é constituída por um sistema de entrega da gota de vidro fundido, o equipamento de moldagem em si e um sistema transportador que liberta as embalagens prontas. Sobre a base da máquina I.S., estão montados os braços, suportes, dispositivos especiais que sustentam os moldes e ferramentas para conformar a embalagem de vidro, durante o ciclo de operação. Cada movimento ou operação do equipamento é comandado por um sistema individual, o qual tradicionalmente tem sido um tambor de programação mecânica. Na actualidade, os equipamentos têm incorporado sistemas de programação electrónicos, considerados mais “inteligentes” e eficientes. Dependendo das características do equipamento e do produto a ser fabricado, as velocidades de produção podem variar, normalmente de 50 a 300 unidades/minuto.

Existem basicamente dois processos mais utilizados para a conformação de uma embalagem de vidro:

- i) O processo mais tradicional é denominado soprado-soprado e caracteriza-se pelo uso de ar comprimido nas duas fases de moldagem, conforme detalhado a seguir. Esse processo tem sido utilizado para a produção de garrafas e frascos com pequeno diâmetro no bocal ou gargalo.
- ii) O outro processo muito utilizado consiste na aplicação de uma prensagem na primeira fase, seguindo-se um sopro na conformação final do produto. Portanto, é denominado prensado-

soprado e aplica-se geralmente para potes e recipientes com maior diâmetro no bocal e gargalo.

A produção de copos de vidro pode ser feita também por meio de um processo de prensagem, em equipamentos diferentes da máquina I.S.

No caso específico de embalagens de gargalo estreito com baixo peso, utiliza-se o processo “narrow neck press and blow” ou NNPB, o qual será descrito adiante.

### ***Processo soprado-soprado***

São descritas a seguir, as várias operações que constituem o processo soprado-soprado.

#### ***Carregamento***

Na parte traseira do equipamento, estão localizados os mecanismos de formação do parison ou pré-forma, denominado bloco. O sistema de alimentação mais utilizado é o distribuidor de gotas, conectado directamente a um alimentador no forno de fusão.

A gota com as características de formato, peso e temperatura perfeitamente adequadas ao perfil do bloco em uso, é transportada por gravidade na calha e passa através do funil, acomodando-se no interior do bloco. Devem ser evitados contacto com o funil (marcas no parison) e a presença de bolsas de ar (dificuldade de formação do gargalo).

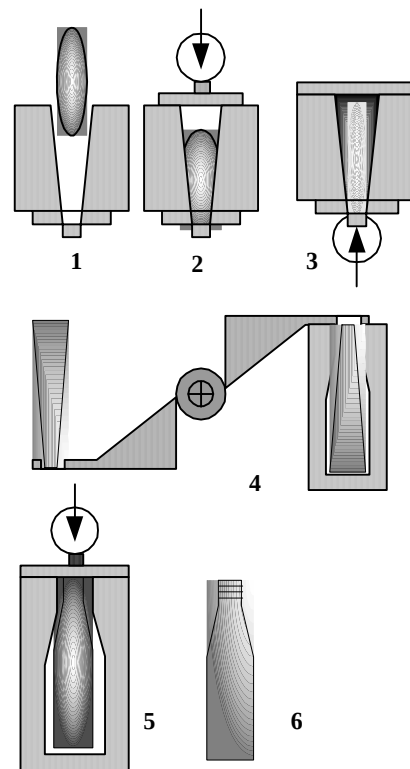
#### ***Compressão***

A etapa de compressão deve ser aplicada imediatamente, visando um bom contacto entre o vidro e o metal do bloco. É feita por meio de uma ferramenta denominada fundo de bloco, a qual é sobreposta sobre o funil e permite a passagem de ar comprimido, pressionando a massa fundida sobre o molde para a perfeita formação do gargalo. O controlo de tempo de compressão e de estabilização é considerado crítico.

### *Sopro do parison*

Antes da introdução do ar para promover o sopro do parison, é necessário reaquecer a região do orifício (feito pelo pino), permitindo a formação de uma bolha simétrica e sem deformação do gargalo. Novamente, o tempo de formação do parison deve ser muito bem controlado, de forma a permitir o máximo de estabilização térmica da massa. Todas as fases seguintes dependem de uma adequada operação de sopro do parison.

Após a sua formação, o parison é reaquecido para equilibrar novamente a temperatura e evitar a presença da “pele” do vidro que foi arrefecida pelo contacto com o metal do molde. Portanto, esse reaquecimento ocorre durante o processo de transferência do parison para o lado da forma.



1. Queda da gota dentro do molde do parison;
2. Compressão da massa com ar comprimido para formação da mariza;
3. Sopro do parison;
4. Rotação de 180° e transferência do parison para o molde final;
5. Sopragem da forma final;
6. Garrafa finalizada

*Figura 32 Processo soprado-soprado do fabrico de garrafas de vidro*

### ***Transferência***

Mecanismo que transporta automaticamente o parison do lado do bloco para a forma ou molde final, invertendo a sua posição. A velocidade de transferência é regulada de forma a adequar-se ao peso, viscosidade e formato definitivo da embalagem. O tempo necessário para atingir a viscosidade ideal é variável, de modo a evitar qualquer deformação do produto após a desmoldagem.

### ***Extracção***

Após a abertura da forma ou molde, a embalagem é retirada por meio de um mecanismo de pinças ou garras que são posicionadas na região do gargalo e mantém a embalagem sobre a placa de ventilação, que promove o arrefecimento do produto. Esse processo deve ser muito bem controlado, pois a suavidade da transferência e as características do escoamento de ar influenciam a qualidade da embalagem recém produzida.

### ***Processo prensado-soprado***

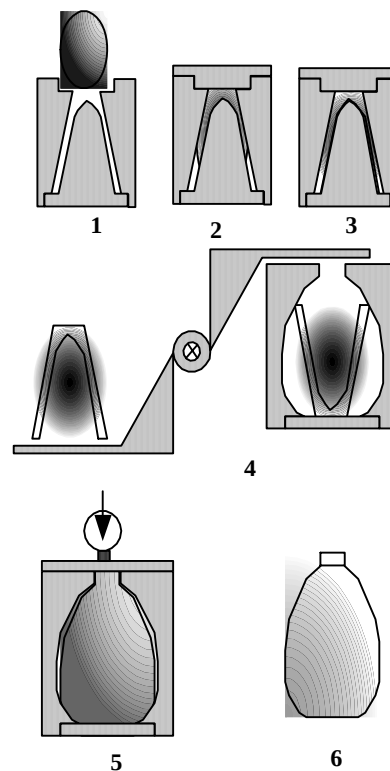
O processo prensado-soprado difere do anterior (soprado-soprado) na primeira fase de moldagem ou seja, conformação do parison. A sequência de operações é basicamente a mesma descrita no processo anterior, constituindo-se de : carregamento da gota ou carga, prensagem, transferência, sopro final e extracção da embalagem formada.

### ***Carregamento***

A gota é libertada pelo alimentador e introduzida no bloco, acomodando-se acima do pino de prensagem, correctamente posicionado. São aplicáveis as mesmas considerações feitas anteriormente, quanto às características da gota e do processo em si.

### **Prensagem**

O fundo do bloco é deslocado para o fechar, enquanto o pino penetra na massa de vidro, formando o parison. Portanto, neste caso, ocorre o escoamento decrescente do vidro entre o bloco e o parison, formando-se o bocal ou gargalo por último. Neste processo de prensagem há uma troca muito intensa de calor, em função da grande superfície de contacto.



1. Queda da gota dentro do molde do parison;
2. Prensagem do parison;
3. Forma final do Parison
4. Rotação de 180° e transferência do parison para o molde final;
6. Sopragem da forma final;
7. Recipiente final

*Figura 33 Processo prensado-soprado de fabrico de potes de vidro*

### ***Transferência***

De forma semelhante ao processo sopro-sopro, após a prensagem deve haver um reaquecimento do parison para eliminar a “pele” mais fria e equilibrar a temperatura.

Na transferência do parison para o lado da forma, haverá uma inversão da peça, a qual passa a ficar com o bocal para cima. Esse processo é automático e controlado em função das características do parison: peso, formato, viscosidade ideal para a conformação final.

Após o posicionamento no lado da forma, o parison sofre um alongamento, como consequência do reaquecimento.

### ***Sopro final***

A conformação final da embalagem é feita pela injeção de ar comprimido no parison, o qual adquire a forma do molde. Dependendo do tipo de produto, pode ser aplicado vácuo através de orifícios existentes nas paredes do molde, o que facilita a conformação de embalagem de grande diâmetro.

Como mencionado anteriormente, o tempo de sopro final deve ser o maior possível para permitir uma boa estabilização da embalagem (maior viscosidade), de forma a evitar deformações na desmoldagem. A pressão de ar deve ser controlada adequadamente dependendo do peso e da geometria da embalagem.

### ***Extracção***

Após a abertura da forma, o mecanismo de garras retira o produto fixando-se na região do gargalo, mantendo-o sobre a placa de ventilação. Decorrido o tempo de arrefecimento, a embalagem é colocada pelo empurrador na esteira de transporte. Cabem aqui as mesmas considerações feitas no processo soprado-soprado (controlo de pressão de ar, da viscosidade do vidro, do tipo de fundo da embalagem).

***Processo “narrow neck press and blow” - NNPB***

Uma das limitações mais críticas da embalagem de vidro é o seu peso. Em função da densidade do vidro e das exigências de resistência mecânica para as embalagens de vidro, esta é sempre mais pesada que as embalagens produzidas com outros tipos de materiais.

Importantes desenvolvimentos ocorridos especialmente nas décadas de 70 e 80, aliados a uma evolução tecnológica muito significativa e melhoramento contínuo dos processos de fabrico, permitiram expressivas reduções do peso das embalagens de vidro (Ortiz, 1996). De entre esses desenvolvimentos, um dos mais relevantes foi a aplicação do processo prensado-soprado para embalagens com gargalo estreito, conhecido como “narrow neck press and blow” (NNPB).

A redução na espessura de parede e a distribuição mais uniforme e homogênea do vidro em toda a embalagem, sem comprometimento das características de resistência física e mecânica, contribuiu para o uso generalizado desse processo a nível internacional.

Entretanto, é importante realçar que o processo NNPB envolve maior complexidade em todas as operações de conformação e moldagem, exigindo um rigoroso controlo das variáveis envolvidas.

Estudos realizados e constatações práticas verificadas nas fábricas de vidros têm demonstrado que o processo soprado-soprado também oferece boas possibilidades de redução de peso para embalagens de vidro. Foram obtidos valores de até 30% de alívio médio controlando-se a qualidade do vidro, a homogeneidade térmica e todos os parâmetros de operação das máquinas I.S.

Portanto, de forma geral, as inovações tecnológicas continuamente incorporadas no processo de produção de embalagens de vidro evidenciam que, embora tenham sido atingidos excelentes níveis de produtividade e de qualidade, há ainda muito potencial para evolução.

***Processo de produção semi-automática de recipientes de vidro***

O processo semi-automático de fabrico de recipientes de vidro já praticamente desapareceu, nos países desenvolvidos e foi substituído por completo pelo processo de produção automática. No processo semi-automático, a gota é transportada manualmente com uma vara de ferro e a quantidade correcta de massa de vidro entra num molde do parison ou pré-forma da embalagem. É introduzido ar comprimido para formar a mariza ou “pescoço” do recipiente. A forma “embrião”

ou pré-forma (parison) é transferida para o molde final no qual é introduzido ar comprimido para a soprar até à forma final da garrafa.

### ***Processo de produção automática de recipientes de vidro***

Neste processo, a gota de vidro é formada automaticamente acima do molde do parison caindo por gravidade dentro deste. O formato e o peso da gota é pré-determinado consoante o tamanho e as características físicas do recipiente (comprido ou achatado). A linha de produção automática de recipientes de vidro, inclui a formação dos recipientes, tratamentos de superfície, controlo do processo e paletização das garrafas.

### ***Recozimento***

Qualquer tipo de embalagem de vidro, independentemente do processo de fabrico, sofre durante e após as operações de conformação, um arrefecimento rápido e/ou irregular o que gera tensões internas na massa de vidro. Essas tensões não apresentam distribuição uniforme e podem provocar a ruptura da embalagem (em alguns casos até espontânea). Portanto, um tratamento térmico muito bem controlado deve ser aplicado posteriormente, cuja finalidade principal é minimizar essas tensões residuais a níveis comercialmente aceites. Esse tratamento denomina-se recozimento.

Quando a embalagem recém moldada é retirada do molde a sua temperatura está em torno dos 650°C. A geração das tensões residuais é devida ao arrefecimento superficial muito intenso, necessário para que a embalagem tenha rigidez suficiente para ser transportada. Assim, ocorre uma contracção das superfícies, enquanto o interior da parede da embalagem permanece mais quente e portanto, dilatada. Quando a temperatura nas superfícies atinge o valor inferior da região de transformação, a contracção gerou tensões permanentes de tracção e de compressão.

O processo de recozimento é feito num forno ou túnel contínuo, revestido com material refractário e provido de uma esteira metálica que conduz as embalagens através das várias secções. Existem controlos individuais de temperatura e o comprimento total do túnel é cerca de 30 metros.

Na Figura 34 é representado graficamente o gráfico da temperatura em função tempo, característico do recozimento de embalagens de vidro. Observe-se que a região C, caracterizada como de

arrefecimento inicial crítico, é a mais importante de todo o processo. Isto porque se situa na zona de transformação do vidro.

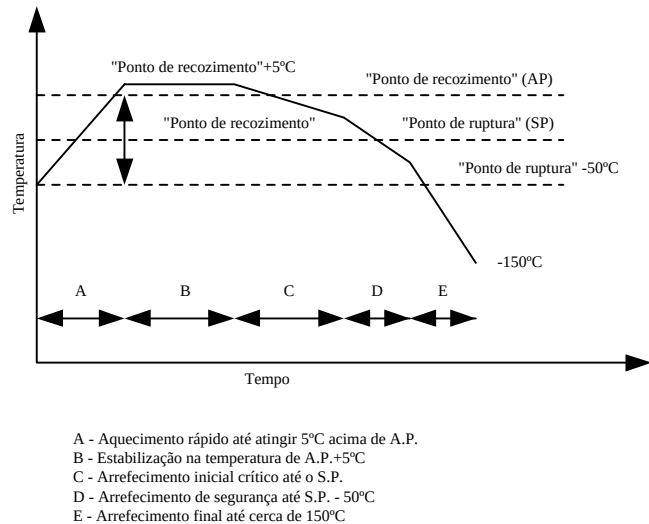


*Figura 34 Representação esquemática da curva temperatura versus tempo de recozimento de embalagens de vidro*

Em termos gerais, o recozimento é feito em duas etapas:

- relaxamento das tensões residuais por aquecimento até uma temperatura específica e por tempo controlado;
- arrefecimento lento e totalmente controlado, até um valor de segurança no qual não há possibilidade de ocorrer novas tensões.

### C.8.5 Tratamentos superficiais

Como já discutido anteriormente, a manutenção da resistência intrínseca do vidro depende do estado de conservação da superfície da embalagem durante as fases de fabrico e utilização da mesma. Para atingir esse objectivo, é necessário minimizar os danos físicos e mecânicos sofridos (abrasão superficial e propagação de fissuras).

Os desenvolvimentos ocorridos em relação aos tratamentos superficiais para embalagens de vidro destinadas ao acondicionamento de alimentos e bebidas são baseados em dois princípios: modificação da estrutura molecular do material ou aplicação de revestimentos poliméricos directamente sobre a superfície externa da embalagem. O processo mais utilizado é a combinação dos chamados tratamento a quente e a frio, aplicados durante o fabrico da embalagem, conforme esquematizado na Figura 35.

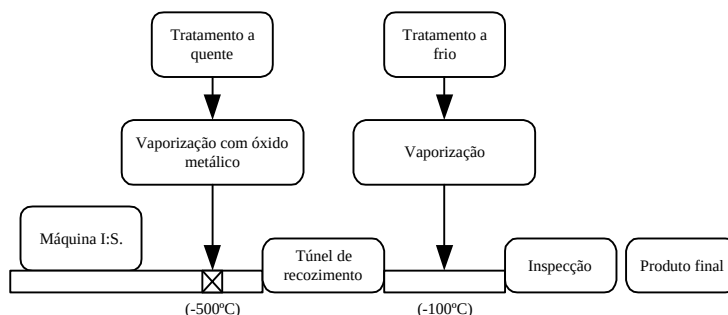


Figura 35 Esquema do processo de tratamento superficial a quente e a frio para embalagens de vidro

### ***Tratamento a quente***

Antes de ser introduzida no túnel de recozimento, a embalagem de vidro recebe uma aspersão de vapores contendo cloreto de estanho. Em alguns casos, o tratamento é feito com cloreto de titânio.

Essa aplicação é feita num pequeno túnel específico para esse processo, no qual a temperatura dos vapores atinge cerca de 200°C. Quando esses vapores são depositados sobre a superfície da embalagem de vidro a uma temperatura de 450°C a 600°C, forma-se o óxido de estanho (ou de titânio). A delegada película formada é da ordem de 20 a 80 Å, conferindo uma maior dureza superficial ao vidro e actuando como substracto para o tratamento a frio, a ser aplicado posteriormente. A reacção química que ocorre é uma substituição dos iões de sódio por iões de estanho (ou titânio), que são maiores. Assim, cria-se um efeito de compressão na superfície externa, favorecendo a resistência da embalagem à abrasão superficial.

### ***Tratamento a frio***

É aplicado no momento em que a embalagem sai do túnel de recozimento, a uma temperatura da ordem de 100°C (variável de 80 a 120°C). Esse processo consiste na aspersão ou pulverização de

um líquido lubrificante, cuja função é reduzir o atrito entre as superfícies externas do vidro, quando as embalagens têm contacto directo, especialmente nas linhas, sob pressão.

Dois grupos de lubrificantes são geralmente utilizados:

- i) Solúveis em água: polietileno glicol e os ésteres derivados;
- ii) Insolúveis em água: emulsões à base de polietileno e alguns tipos de ácidos gordos.

A vantagem do uso de compostos insolúveis em água é que podem permanecer por mais tempo na superfície do vidro, mesmo após lavagem da embalagem.

Vários estudos realizados demonstraram que a maior eficiência de protecção é obtida quando são combinados os dois tratamentos (a quente e a frio). Dependendo das substâncias aplicadas, a protecção mantém-se mesmo nos processos de pasteurização e de esterilização da embalagem de vidro.

### ***Uso de resinas poliméricas***

Os mais recentes processos de revestimento do vidro com resinas poliméricas (filmes plásticos aplicados em toda a superfície externa da embalagem) têm sido desenvolvidos especialmente no Japão, Alemanha e Estados Unidos da América. Além de oferecer óptima protecção contra a abrasão superficial e a propagação de fissuras na superfície externa da embalagem de vidro, esses processos asseguram a retenção de fragmentos em caso de ruptura da embalagem. Isso é fundamental para garrafas destinadas a produtos sob pressão (bebidas carbonatadas).

A maioria dos processos conhecidos utiliza resinas à base de poliuretano. Essas tecnologias ainda estão a ser melhorados, prevendo-se, num futuro próximo, uma crescente aplicação industrial.

## **C.8.6 Decoração ou rotulagem**

A rotulagem é de uso mais generalizado e consistente na aplicação de rótulos (de papel ou laminados com filmes plásticos), colados individualmente na embalagem de vidro já finalizada, tanto na própria vidreira (pré-rotulada) como no produtor do alimento ou da bebida. Esse sistema

tem aplicação muito ampla para embalagens não retornáveis. O uso mais recente de rótulos plásticos termo-retrácteis constitui uma tecnologia com grande potencial de sucesso.

A decoração permanente é uma impressão definitiva em áreas específicas da embalagem, utilizando-se, em geral, um processo serigráfico. É um sistema muito usado em garrafas retornáveis personalizadas ou em copos de vidro para alimentos ou embalagens que podem ser reutilizadas a nível doméstico.

Resumidamente, esse processo consiste na aplicação de tintas cerâmicas, à base de vidro e pigmentos, denominado esmalte vitrificável termoplástico. Cada cor é impressa individualmente, com o uso de matrizes especialmente preparadas. Aplica-se em seguida um tratamento térmico controlado em forno contínuo, com temperaturas da ordem de 500 a 620°C, onde ocorre um processo de vitrificação.

### **C.8.7 Inspeção em linha**

As fábricas de vidros têm dedicado especial atenção aos equipamentos e procedimentos de inspecção das embalagens produzidas, devido a duas razões muito específicas. A primeira delas, é porque logo após a moldagem, a embalagem ainda permanece muito aquecida e vulnerável a deformações se manuseada. A segunda, é porque o processo de recozimento tem longa duração, da ordem de 20 minutos (tempo de residência no túnel de recozimento). Portanto, um eficiente sistema de inspecção em linha deve associar a possibilidade de rejeição sistemática e automatizada de embalagens não conformes o mais próximo possível do processo de moldagem.

Um sistema muito eficiente denomina-se código de pontos e consiste na identificação do número de molde no qual a embalagem foi produzida por meio de leitura por sistema óptico e electrónico. Sempre que houver problemas no processo de moldagem, é accionado um mecanismo de segregação automática de todas as embalagens produzidas naquele molde ou em cada secção da máquina I.S. individualmente. Existem muitas variações na apresentação dos códigos bem como no posicionamento dos mesmos, dependendo do tipo de embalagem. De forma geral, localizam-se no calcanhar ou no fundo da embalagem.

Os principais processos e sistemas de inspecção automática em linha são voltados para a detecção de defeitos de natureza física e dimensional. Alguns dos mais recentes sistemas disponíveis

promovem a inspecção de microfissuras nas diferentes regiões da embalagem de vidro, utilizando sistema ópticos. Modernos sistemas incorporam microprocessadores e permitem a verificação precisa de variações dimensionais por meio de vídeo e imagem, inclusive quanto à distribuição de espessura de vidro. Outros sistemas mais avançados consistem em equipamentos que submetem a embalagem a esforços que permitem avaliar a sua resistência, evitando que deixem as linhas de produção com valores abaixo do mínimo especificado.

Técnicas à base de sensores para raio laser ou câmaras CCD têm sido utilizadas para inspecções mais complexas, a partir de processos continuamente melhorados e integrados a sistemas computadorizados. As altas velocidades de produção e as restritas tolerâncias em termos de qualidade de embalagem por parte das indústrias alimentícias e de bebidas, exigem investimentos significativos das fábricas de vidros, nessa área.

Portanto, as modernas linhas de produção comprovam que a inspecção electrónica automatizada é essencial para assegurar o atendimento às exigências cada vez maiores dos padrões de qualidade. Os programas de qualidade assegurada somente apresentam sucesso quando baseados em sistemas totalmente fiáveis e compatíveis com as modernas tecnologias de produção industrial.

## **C.9 Principais tipos e características das embalagens de vidro**

Nos segmentos de alimentos e bebidas, é utilizada uma grande variedade de formas e tamanhos de embalagens de vidro, produzidas a partir de um dos quatro tipos de processos apresentados anteriormente. Existem embalagens na forma de potes, garrafas, copos, frascos, empregues no acondicionamento de produtos líquidos (inclusive bebidas carbonatadas), alimentos desidratados, alimentos submetidos a pasteurização e esterilização, entre outros produtos.

### **C.9.1 Tipos de embalagens de vidro**

Uma classificação muito utilizada para essas embalagens de vidro é quanto ao uso ou aplicação das mesmas. Consideram-se três categorias a saber.

#### ***Embalagem descartável ou de tara perdida***

São garrafas, potes e frascos, em geral de menor peso, utilizados para o acondicionamento do produto até ao momento do consumo final.

Posteriormente, essas embalagens são descartadas em colectores específicos ou por meio de sistemas de colecta selectiva, para reciclagem. Assim, a embalagem é utilizada apenas uma vez, seguindo-se o reaproveitamento do material (vidro) pelas fábricas de vidros na forma de cacos (matéria-prima) para a produção de novas embalagens.

### ***Embalagem retornável***

Essa classe de embalagens de vidro é constituída especialmente por garrafas de maior peso, que podem ser de uso comum ou personalizadas (decoradas) para uso específico. Quando utilizadas para bebidas carbonatadas (cervejas, refrigerantes, água mineral), devem atender a rigorosas especificações por questões de segurança.

A principal vantagem desse tipo de embalagem é a possibilidade de uso múltiplo, pois foi dimensionada para manter as características de resistência durante vários ciclos ou viagens. além disso, por ser de vidro, um material estável e praticamente inerte, a embalagem pode ser lavada e higienizada por processos eficientes, toda a vez que retorna à unidade de engarrafamento. Alguns países, utilizam grande quantidade de garrafas retornáveis para cervejas e refrigerantes.

## **C.9.2 Características das embalagens de vidro**

Para que possam ser avaliadas criteriosamente as principais características de uma embalagem de vidro é necessário estabelecer uma nomenclatura comum aos fabricantes (fábricas de vidros) e empresas produtoras de alimentos e bebidas.

Do ponto de vista do fabricante da embalagem de vidro é constituída por três partes fundamentais, em função dos conjuntos de moldes com os quais são produzidas.

### ***Mariza***

É a área ou parte da embalagem destinada à fixação do sistema de fecho (tampa). No processo automático de fabrico é a primeira região moldada. No processo artesanal ou manual, constitui a última região a ser moldada.

### ***Corpo***

É a área mais generalizada de uma embalagem de vidro. Nessa região é que estão localizados o ombro e o calcanhar, os quais constituem geralmente, as áreas de contacto entre duas embalagens de formato similar.

### ***Fundo***

Área sobre a qual a embalagem é sustentada, quando na posição vertical. Uma boa estabilidade pode ser obtida sempre que o fundo tiver a maior área possível, respeitando-se as limitações do desenho da embalagem.

A nível internacional existem normas que estabelecem detalhadamente essas definições. Portanto, a definição e uso de uma terminologia comum é fundamental para que sejam avaliadas as características físicas e mecânicas das embalagens de vidro, destacando-se as seguintes determinações:

- avaliação dimensional, diâmetros, altura, capacidade volumétrica, verticalidade, paralelismo, distribuição de espessura, etc.
- resistência mecânica, ao impacto, à carga vertical, à pressão interna, etc.
- propriedades físicas, coeficiente de atrito, tratamentos superficiais, transmissão de luz, resistência ao choque térmico, etc.
- avaliação visual, identificação e classificação de defeitos.

### ***Sistemas de fecho***

Quanto aos aspectos de natureza funcional as embalagens de vidro exigem sistemas de fecho compatíveis e perfeitamente adequados aos diversos usos em que se aplicam. Em geral, muitos dos problemas ocorridos com relação à conservação do produto são devidos ao desempenho insatisfatório do sistema de fecho, seja em relação à tampa em si ou às características de vedação da mariza (ou gargalo).

Dependendo do tipo de embalagem (garrafa, pote, frasco ou copo) são exigidas características específicas para o sistema tampa/embalagem. Existe actualmente no mercado um ampla variedade de tampas, cada uma delas compatível com um tipo de terminação, em geral padronizada.

Para qualquer sistema de fecho destinado a alimentos ou bebidas, são recomendadas as seguintes características básicas:

- ser eficiente e seguro, evitando qualquer vazamento do conteúdo (inclusive gases) e impossibilitando que substâncias ou microorganismos externos penetrem na embalagem;
- apresentar total inércia em relação a possíveis interações indesejáveis com o conteúdo;
- ser prático e de alta conveniência, permitindo fácil abertura e fechos posteriores;
- evidenciar imediatamente qualquer violação do sistema (dispositivos de segurança).

## C.10 Procedimentos de utilização

Como analisado em itens anteriores, a embalagem de vidro tem boas características de resistência, desde que adequadamente produzida e utilizada, respeitando-se algumas limitações intrínsecas de natureza física e mecânica.

O estado de conservação da superfície do vidro é directamente responsável pela manutenção ou não dos níveis de resistência que a embalagem adquiriu logo após o seu fabrico.

Portanto, em todas as etapas da cadeia de produção, transporte, armazenagem, distribuição, comercialização e uso final devem ser adoptados procedimentos e cuidados mínimos que asseguram a qualidade e a segurança das embalagens de vidro, especialmente quando se tratar de garrafas que contenham produtos sob pressão.

A seguir são identificados os principais procedimentos e cuidados que devem ser adoptados para minimizar a ocorrência de condições que promovam danos físicos ou mecânicos na embalagem, prejudicando a sua utilização.

### ***Fábricas de vidros***

As linhas de transporte das embalagens prontas devem dispor de materiais que protejam o vidro do contacto com metais ou outros materiais agressivos à superfície.

Os equipamentos de inspecção não devem promover nenhum tipo de desgaste ou dano físico na embalagem, dispondo sempre que necessário, de materiais e dispositivos compatíveis e adequados para o contacto directo com a superfície do vidro.

Os sistemas de paletização e encaixotamento (caixas de papelão ondulado ou garrafeiras plásticas) devem ser perfeitamente compatíveis com as características da embalagem de vidro, evitando choques e movimentação brusca que promova o contacto directo entre embalagens de forma agressiva.

As condições de movimentação e armazenagem do produto acabado devem atender aos requisitos estabelecidos, via de regra, entre o fabricante e o cliente.

No caso específico de garrafas para bebidas carbonatadas, recomenda-se que as fábricas de vidros atendam aos padrões técnicos vigentes, de preferência estabelecidos por normas técnicas oficiais.

### ***Transporte ao cliente***

Meios de transporte via terrestre exigem cuidados especiais visto que em muitos casos, as condições de movimentação não atendem as exigências mínimas de protecção. A título de exemplo, estradas mal conservadas, camiões com pouca manutenção podem provocar sérios danos na embalagem de vidro, mesmo se estiver bem acondicionada.

No caso específico de embalagens acondicionadas em unidades de carga “a granel”, esses cuidados devem ser muito bem especificados.

### ***Cliente (indústria de alimentos e bebidas)***

Condições adequadas de movimentação e de armazenagem das embalagens antes do uso.

Equipamentos e processos de lavagem, enchimento, fecho, processamento térmico, rotulagem, encaixotamento devem ser compatíveis com a embalagem em uso, especialmente quanto aos aspectos de regulamentação dos equipamentos (condições operacionais) e de protecção contra os danos físicos e mecânicos.

No caso específico de garrafas de vidro para bebidas carbonatadas, são exigidos padrões de controle quanto às especificações da embalagem e quanto aos parâmetros de processo, especialmente aqueles que envolvem as etapas de lavagem, enchimento e pasteurização.

### ***Distribuição e comercialização***

Sistemas e equipamentos de descarga e movimentação adequados ao tipo de produto/embalagem em questão.

Sistemas de exposição e venda, compatíveis com o tipo de produto/embalagem, evitando riscos e dificuldades de manuseamento pelo consumidor.

Especialmente no caso de embalagens contendo bebidas carbonatadas, os pontos de venda devem observar todos os procedimentos e normas par evitar situações de risco à segurança dos que manipulam e adquirem esses produtos. Não devem ser criadas condições que promovam choques (mecânicos ou térmicos). Segundo mecanismos específicos, o consumidor deve ser informado a respeito dos cuidados que devem ser tomados para o uso seguro dessas embalagens.

### ***Consumo final***

Informações suficientes e indispensáveis ao uso adequado do produto/embalagem, especialmente quanto aos requisitos de conservação e consumo do produto. Neste caso, os dispositivos legais exercem uma função reguladora imprescindível para o cumprimento dessas necessidades.