



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Química

Projecto de Investigação

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
DE EMBALAGENS DE 33 cl PARA NÉCTARES**

PET



ECAL



**Ana Rita Vale: eq97053
Vera M. Paiva: eq98018**

Setembro de 2003

Índice

SUMÁRIO.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. DEFINIÇÃO – DESCRIÇÃO DA ACV.....	7
2.1. DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO	8
2.1.1. <i>Objectivo</i>	8
2.1.2. <i>Âmbito</i>	8
2.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO	10
2.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS	11
2.4. AVALIAÇÃO/INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	15
3. ESTUDO DE CASO	16
3.1. OBJECTIVO.....	16
3.2. ÂMBITO	16
3.2.1. <i>Considerações gerais</i>	16
3.2.2. <i>Unidade funcional</i>	17
3.2.3. <i>Fronteiras do Sistema</i>	17
3.2.4. <i>Fontes de informação</i>	18
3.2.5. <i>Pressupostos Assumidos</i>	18
3.3. RESULTADOS.....	20
3.3.1. <i>Inventário – Sistema PET</i>	20
3.3.1.1. <i>Caracterização das embalagens</i>	20
3.3.1.2. <i>Diagrama blocos</i>	21
3.3.1.3. <i>Descrição do Ciclo de Vida do sistema</i>	22
3.3.1.4. <i>Consumos de Materiais e de Energia Associados ao Processo de Enchimento</i>	26
3.3.1.5. <i>Logística associada às embalagens</i>	27
3.3.2. <i>Análise de impacto – Sistema PET</i>	27
3.3.2.1. <i>Avaliação/Interpretação de Resultados – Sistema PET</i>	31

3.3.3. Inventário – Sistema ECAL.....	34
3.3.3.1. Caracterização das embalagens	35
3.3.3.2. Diagrama de blocos.....	36
3.3.3.3. Caracterização do sistema	36
3.3.3.4. Consumos de Materiais e de Energia Associados ao Processo de Enchimento.....	39
3.3.4. Análise de impacto – Sistema ECAL.....	40
3.3.4.1. Avaliação/interpretação de Resultados – Sistema ECAL.....	42
4. CONCLUSÕES.....	46
4.1. COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS SISTEMAS.....	46
4.2. SUGESTÕES PARA MELHORAR O DESEMPENHO AMBIENTAL DO SISTEMA PET	49
5. AGRADECIMENTOS	50
6. BIBLIOGRAFIA.....	51

Índice de figuras

Figura 1 – Interligação entre as fases principais de uma ACV (ISO 14040, 1997).....	7
Figura 2 – Análise do processo de inventário.....	10
Figura 3 – Diagrama de blocos genérico associado a um sistema de embalagem para néctar.....	18
Figura 4 – Ciclo de vida considerado para o sistema PET.	21
Figura 5 – Resina de PET.	22
Figura 6 – Produção das pré-formas pelo processo moldação por injeção.	23
Figura 7 – Esquema representativo da fase de sopragem das pré-formas.	24
Figura 8 – Caracterização do sistema PET.	29
Figura 9 – Normalização do sistema PET.	30
Figura 10 – Comparação dos ecoindicadores das fases principais do sistema PET.	32
Figura 11 – Normalização da fase de enchimento das garrafas PET.....	33
Figura 12 – Estrutura da embalagem de cartão para alimentos líquidos.	34
Figura 13 – Diagrama de blocos ECAL.....	36
Figura 14 – Representação esquemática da fase de enchimento das ECAL's.....	39
Figura 15 – Caracterização do sistema ECAL.	41
Figura 16 – Normalização do sistema ECAL.	42
Figura 17 – Comparação dos ecoindicadores das fases principais do sistema ECAL.....	45
Figura 18 – Normalização da fase de enchimento das embalagens ECAL.	45
Figura 19 – Comparação dos ecoindicadores associados ao ciclo de vida das garrafas PET e ao das embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL).....	47

Índice de tabelas

Tabela 1 – Caracterização das garrafas PET 33 cl, por palete.....	20
Tabela 2 – Consumos de materiais e de energia do processo de enchimento e embalamento, por embalagem primária PET de néctar.	26
Tabela 3 – Logística associada às embalagens do sistema PET.	27
Tabela 4 – Valores obtidos na fase de caracterização do sistema PET.....	28
Tabela 5 – Valores obtidos na normalização do sistema PET.	30
Tabela 6 - Valores obtidos após avaliação do sistema PET.....	31
Tabela 7 – Características das embalagens do sistema ECAL, por palete.....	35
Tabela 8 – Consumos médios de materiais e de energia associados ao processo de enchimento e embalagem, por embalagem primária ECAL de néctar.	39
Tabela 9 – Valores obtidos na fase de caracterização do sistema ECAL.	40
Tabela 10 – Valores obtidos na normalização do sistema ECAL.....	42
Tabela 11 - Valores obtidos após avaliação do sistema ECAL.	44
Tabela 12 – Valores obtidos para os ecoindicadores do sistema PET e ECAL.....	46

SUMÁRIO

Este trabalho enquadra-se no âmbito da disciplina de Projecto de Investigação da Licenciatura em Engenharia Química da FEUP, orientado pelo Professor Miguel Madeira (FEUP) e Eng.^a Susana Xará (ESBUC), e consiste na avaliação do impacto ambiental de dois sistemas de embalagem para néctares de 0,33 L usando a metodologia de **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. Os sistemas estudados são a embalagem *PET* (politereftalato de etileno) não reutilizável e a embalagem de cartão para alimentos líquidos (*ECAL*). Os dados necessários à caracterização de cada um dos sistemas foram obtidos recorrendo a bases de dados, bibliografia e empresas. As principais empresas colaboradoras foram, para o sistema *PET* a *UNICER*, e para o sistema *ECAL* a *Tetrapak* e a *Sumolis*.

Os resultados obtidos nesta ACV permitiram identificar e quantificar os principais impactos ambientais associados aos dois sistemas em estudo, ao longo dos respectivos ciclos de vida. Assim, os resultados são distribuídos por categorias de impacto ambiental, como por exemplo: o efeito de estufa, a depleção da camada de ozono, a eutrofização, etc., de acordo com um modelo de Avaliação de Impacto Ambiental escolhido.

Para as fronteiras e condições definidas no início do estudo e para o modelo considerado, é possível concluir que o sistema PET é aquele que acarreta maior impacto ambiental global ao longo do ciclo de vida considerado.

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse pelas questões ambientais, provocado pelo aumento da população, da actividade económica e da inerente procura de alimentos, bens, serviços e espaço, a diminuição e até mesmo escassez de alguns destes recursos em algumas sociedades, tem posto em causa um *desenvolvimento sustentável*. Na tentativa de melhorar esse mesmo desenvolvimento, novos modelos de gestão ambiental têm sido adoptados.

Uma técnica muito usada nos sistemas de gestão ambiental é a *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)*. A *ACV* é uma técnica de gestão ambiental que permite avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactos associados a um sistema (produto ou serviço) ao longo de todo o seu ciclo de vida, isto é, desde a extracção das matérias-primas, sua produção e utilização até à deposição final.

Cada sistema deve considerar um conjunto de unidades processuais ligadas por correntes de materiais e energia que desempenha uma ou mais funções. Considerando todos os processos que caracterizam o sistema, a *ACV* é um valioso apoio à cadeia de gestão.

Esta técnica tem sido usada com sucesso na comparação de sistemas alternativos de embalagem para produtos alimentares, permitindo comparar diferentes materiais e/ou sistemas alternativos, conduzindo à optimização do comportamento ambiental do produto e apoiando processos de decisão.

Em cada alternativa há a necessidade de avaliar as cargas ambientais inerentes a cada sistema, tendo em conta todo o ciclo de vida dos produtos e materiais utilizados.

2. DEFINIÇÃO – DESCRIÇÃO DA **ACV**

Um estudo de ACV deve estar direccionado adequadamente e sistematicamente para os aspectos ambientais do sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima até à deposição final.

A avaliação da carga ambiental associada a um sistema de produto ou actividade, é efectuada através da identificação e descrição, qualitativa ou quantitativa, do uso e libertação para o ambiente de materiais e energia. Neste tipo de estudo, é também considerado todo o transporte envolvido no ciclo de vida.

Em termos metodológicos, a ACV divide-se em 4 etapas: (i) definição do objectivo e âmbito; (ii) análise de inventário; (iii) avaliação de impactos; (iv) interpretação dos resultados [1]. A figura 1 ilustra a interligação que existe entre cada fase deste tipo de estudo:

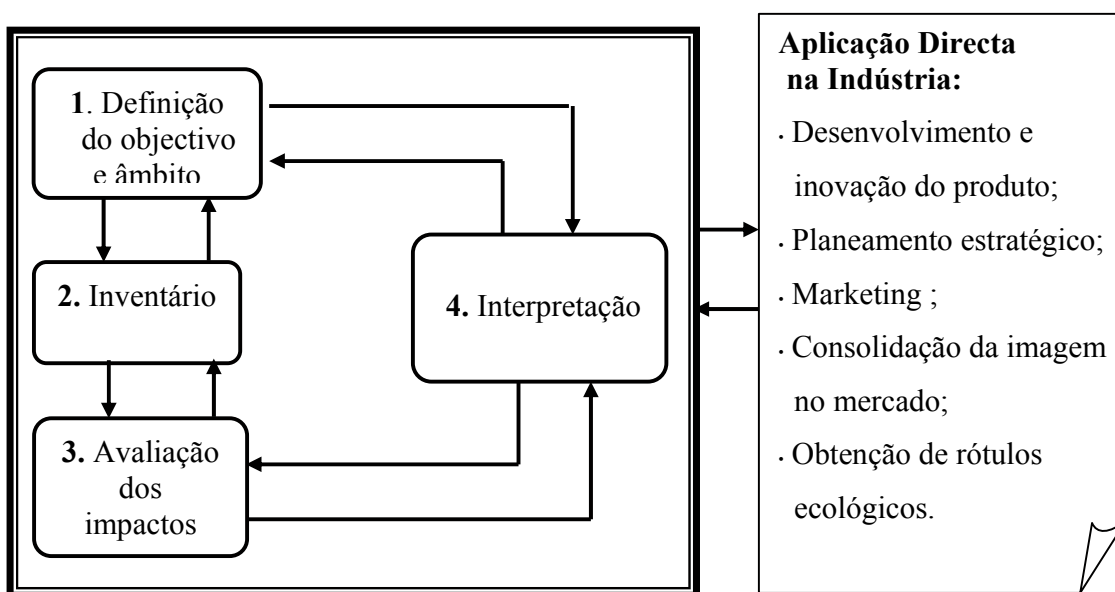


Figura 1 – Interligação entre as fases principais de uma ACV (ISO 14040, 1997).

2.1. Definição do Objectivo e Âmbito

A definição do objectivo e âmbito é a primeira etapa de um estudo de ACV. O objectivo e âmbito deste tipo de estudo devem ser claramente definidos e consistentes com a aplicação prevista [1].

2.1.1. Objectivo

O objectivo de um estudo de ACV deve incluir:

- a aplicação prevista para o resultado do estudo;
- as razões que levaram ao seu desenvolvimento;
- os destinatários, isto é, a quem se destinam os resultados do estudo.

2.1.2. Âmbito

O âmbito de um estudo de ACV está intimamente relacionado com o detalhe com que se pretende desenvolver o estudo. Assim, na definição do âmbito de um estudo de ACV, devem ser considerados e descritos claramente os seguintes itens:

- função do produto, ou no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- unidade funcional;
- fronteiras temporais e espaciais do(s) sistema(s);
- extensão e tipo de avaliação de impacto a usar;
- dados necessários à caracterização do(s) sistema(s);
- hipóteses consideradas;
- limitações do estudo;
- qualidade dos resultados pretendidos.

- Unidade Funcional

Uma unidade funcional (u.f.) é a medida do desempenho das saídas funcionais do(s) sistema(s). A definição da unidade funcional tem como principal propósito fornecer uma referência à qual as entradas e saídas estão relacionadas. Esta referência é necessária para garantir a possibilidade de comparação entre os resultados de ACV.

A unidade funcional deverá descrever uma função relacionada com uma utilização e tem de ser uma grandeza mensurável.

No caso da comparação de resultados de ACV's de dois ou mais sistemas distintos, a análise só faz sentido se estes tiverem funções equivalentes, e por conseguinte, a mesma unidade funcional.

Assim, a correcta definição da u.f. depende de uma prévia clarificação do objectivo e âmbito do estudo, constituindo um importante passo numa ACV.

- *Fronteiras do sistema*

As fronteiras do sistema definem quais as unidades processuais, envolvidas no ciclo de vida do produto, que irão ser incluídas na ACV. Considera-se o ambiente como o limite externo das fronteiras do sistema, isto é, tudo o que não é contemplado ao longo do estudo.

A selecção das entradas e saídas, o nível de agregação dentro de uma categoria de dados, e a modelagem do sistema devem ser coerentes com o objectivo do estudo. O modelo do sistema deve ser realizado de maneira a que as entradas e saídas das suas fronteiras sejam correntes elementares.

- *Comparação entre Sistemas*

Em estudos comparativos, deve-se avaliar a equivalência dos sistemas a comparar, antes de se interpretar os resultados. A comparação deve ser realizada usando a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, tais como: desempenho da função do produto, fronteiras do sistema, qualidade dos dados, regras de decisão na avaliação das entradas e saídas e avaliação de impactos ambientais. Qualquer diferença entre os sistemas relativamente a estes parâmetros, deve ser identificada e apresentada no relatório final.

2.2. Análise de Inventário

A análise de inventário envolve a compilação e tratamento de dados para quantificar as correntes de entrada e saída relevantes de um sistema. Estas entradas e saídas correspondem respectivamente ao uso de recursos (materiais e energéticos) e emissões para o ar, água e solo, associadas a cada etapa processual (ver figura 2). Estes dados constituem a fonte da avaliação de impactos do ciclo de vida.

A análise de inventário é considerado um processo iterativo, uma vez que, à medida que os dados vão ser recolhidos e se vai conhecendo melhor o sistema, surgem algumas limitações e a necessidade de obter novos dados, de forma a respeitar o objectivo e âmbito que foram definidos anteriormente. Às vezes, surgem questões que obrigam à revisão do objectivo e âmbito do estudo (ver figura 1).

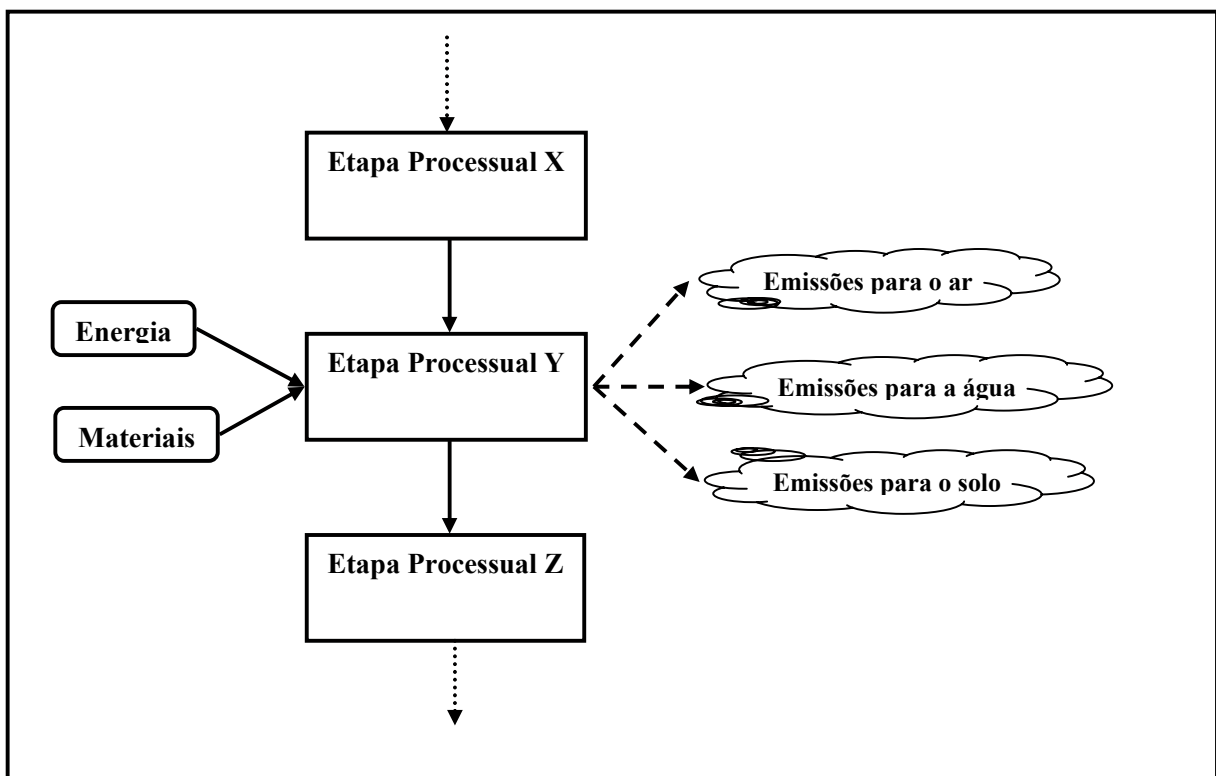


Figura 2 – Análise do processo de inventário.

Os dados qualitativos e quantitativos a incluir no inventário devem ser recolhidos para cada unidade de processo que está incluindo dentro das fronteiras do sistema.

Os procedimentos usados para recolher os dados podem variar dependendo do objectivo, unidade processual ou aplicação prevista do estudo.

Os cálculos associados às correntes de energia devem ter em conta as diferentes fontes de electricidade e combustível usadas, a eficiência da conversão e distribuição da corrente de energia, tal como as entradas e saídas associadas à geração e uso dessa corrente de energia.

2.3. Avaliação de Impactos

Na fase de avaliação de impactos, as intervenções ambientais compiladas na fase de inventário são traduzidas no seu potencial efeito no ambiente. Em geral, este processo consiste em associar a cada utilização de recursos e emissão identificada na fase de inventário os respectivos impactos ambientais específicos para tentar interpretar, numa fase posterior, o efeito desses impactos. Isto envolve:

- *Classificação*: atribuir a cada intervenção ambiental listada no inventário uma ou mais categorias de impacto ambiental [1]. Existem vários modelos de classificação de impactos ambientais, que se distinguem na escolha do conjunto das categorias de impacto ambiental.
- *Caracterização*: transformação das intervenções em impactos ambientais, atribuindo pesos [2] que ponderam o contributo das diversas intervenções ambientais em cada categoria de impacto ambiental (mas não estabelece qualquer relação entre estas). Assim, os factores de ponderação são estabelecidos por comparação com o seu efeito relativamente a uma intervenção ambiental de referência. Por exemplo, no caso da depleção da camada do ozono, todas as intervenções são convertidas em equivalentes de CFC11.
- *Normalização*: fase opcional que consiste na razão entre os valores obtidos para cada categoria de impacto e os respectivos valores globais (regionais, nacionais, europeus ou mundiais). Obtém-se assim uma noção de escala entre os valores obtidos para cada tema ambiental resultante do caso de estudo e os valores globais [2].

De seguida, apresenta-se uma breve definição das principais categorias de impacto ambiental [2]:

- *Efeito de Estufa*

Resulta da existência de gases na atmosfera (por exemplo, dióxido de carbono, vapor de água, metano, clorofluorcarbonetos) que são transparentes à radiação de baixos comprimentos de onda (por exemplo, U.V.) provenientes do Sol, mas que absorvem a radiação de altos comprimentos de onda (infravermelhos) emitida pela Terra, impedindo que esta energia abandone a atmosfera. Consequentemente este fenómeno origina um aquecimento global do planeta.

Assim, neste contexto, a designação de Efeito de Estufa é utilizada para contabilizar o aumento da temperatura global do planeta devido às elevadas emissões antropogénicas dos “gases de estufa” para a atmosfera (resultantes, por exemplo, de fenómenos de combustão).

- *Depleção da Camada de Ozono*

Quando o oxigénio gasoso absorve a radiação ultravioleta a que é exposto na estratosfera forma-se um composto denominado por Ozono. A decomposição do Ozono é provocada essencialmente por gases que contêm cloro, tais como os clorofluorcarbonetos, dos quais o CFC11, que é a substância de referência para traduzir o efeito da diminuição da camada de ozono estratosférica (ozonosfera).

A diminuição da ozonosfera tem como consequência a redução da absorção da radiação ultravioleta, contribuindo para um aumento da radiação que chega a superfície terrestre. Como é do conhecimento geral, este fenómeno está relacionado com certas doenças humanas, tais como os melanomas, e com desequilíbrios nos ecossistemas.

- *Acidificação*

Este fenómeno resulta de deposições atmosféricas de compostos acidificantes, resultantes da emissão de poluentes para a atmosfera, tais como o amoníaco e óxidos de azoto e enxofre. Estes compostos reagem com o vapor de água atmosférico, originando os ácidos nítricos e sulfúricos, que provocam as chuvas ácidas e que juntamente com a

queda de partículas contendo sais de azoto de enxofre, provocam a deposição ácida. Esta ocorre tanto no solo como na água, mas o grau de alteração de acidez tem intensidades diferentes, conforme o local geográfico. Assim, por exemplo, a gravidade da deposição ácida num determinado meio aquífero é tanto maior quanto menor for a capacidade de neutralização (se este estiver situado num terreno calcário, essa capacidade será bastante superior à de outro num terreno granítico).

- *Eutrofização*

A eutrofização de um ecossistema aquático traduz-se numa excessiva concentração de nutrientes, em especial fosfatos e nitratos, que promovem o crescimento da biomassa de algumas espécies, tais como as algas. À medida que essas espécies morrem e se dá a sua decomposição, os níveis de matéria orgânica em decomposição aumenta e conseqüentemente os níveis de oxigénio na água baixam drasticamente, causando a morte de outros organismos superiores, tais como os peixes. Esta sequência de fenómenos leva a alterações graves na quantidade e equilíbrio entre espécies do ecossistema, ameaçando a biodiversidade.

- *Emissão de Metais Pesados*

Designam-se por metais pesados aqueles que apresentam um elevado peso atómico, tais como, chumbo, cádmio, prata, arsénio, mercúrio, etc.. Quando o tempo de exposição é elevado, estes compostos são tóxicos mesmo em concentrações relativamente baixas, e apresentam a característica de persistirem no ambiente por tempo indefinido, podendo atingir níveis perigosos tanto para a saúde humana como para o equilíbrio dos ecossistemas.

- *Carcinogenia*

Está cientificamente provado que o aparecimento e desenvolvimento de cancro estão relacionados com a exposição a diversas intervenções ambientais, como por exemplo o amianto, o fumo proveniente da combustão do tabaco, a radiação ultravioleta, a radioactividade e certos poluentes químicos da água e do ar.

- *Smog de Inverno*

Este fenómeno ocorre nos grandes centros urbanos, localizados no norte da Europa ou em outros países de climas mais frios, e caracteriza-se por uma diminuição da visibilidade devido à poluição atmosférica. A palavra *smog* surgiu em 1905 como uma combinação das palavras inglesas *smoke* (fumo) e *fog* (nevoeiro). As fontes mais importantes do *smog* de Inverno são os óxidos de enxofre (SO_x) e as partículas de matéria em suspensão (SPM na literatura anglosaxónica). A concentração destas substâncias na atmosfera pode originar problemas respiratórios no ser humano.

- *Smog de Verão*

Este fenómeno fotoquímico caracteriza-se por um nevoeiro de cor alaranjada, ocorrendo em grandes centros urbanos, principalmente em áreas com forte insolação e com tendência para inversões atmosféricas de temperatura, onde existam largas emissões de hidrocarbonetos e de óxidos de azoto para a atmosfera provenientes de emissões industriais e de automóveis. Estes poluentes primários reagem com a radiação solar (reacções fotoquímicas) e transformam-se em poluentes secundários, entre os quais o ozono e o nitrato de peroxiacetil, sendo estes últimos os que representam maior perigo para os seres vivos.

- *Emissão de Pesticidas*

A deposição de pesticidas nos solos é considerada perigosa por diversos motivos, mas os principais são a contaminação da água dos lençóis freáticos, tornando-se demasiado tóxica para consumo humano (toxicidade humana), e a perturbação da actividade biológica no solo, que pode provocar danos na vegetação (ecotoxicidade).

Para avaliação de impactos distinguem-se 4 tipos de pesticidas, dependendo do ingrediente activo que compõe cada um deles: (1) desinfectantes; (2) fungicidas; (3) herbicidas; (4) insecticidas.

2.4. Avaliação/Interpretação dos Resultados

Na fase de interpretação, as informações decorrentes do inventário e/ou da avaliação de impactos são avaliadas de modo a conduzir a conclusões e recomendações consistentes com os objectivo e âmbito do estudo.

Esta fase é de natureza subjectiva, uma vez que é necessário atribuir ponderações às diversas categorias de impacto ambiental e decidir como avaliar se, por exemplo, a depleção da camada de ozono é mais importante que a acidificação. Estas considerações dependem da localização geográfica e da sensibilidade do indivíduo que toma a decisão.

Assim, esta fase consiste essencialmente em: (i) definir factores de ponderação entre as diferentes categorias de impacto e aplicá-los para obter um indicador único, o qual quantifica o desempenho ambiental associado ao produto, ao longo do seu ciclo de vida; (ii) tentar interpretar o valor obtido.

3. Estudo de Caso

3.1. Objectivo

Este projecto enquadra-se no âmbito da disciplina de Projecto de Investigação da Licenciatura em Engenharia Química da FEUP, orientado pelo Professor Miguel Madeira (FEUP) e pela Eng^a Susana Xará (ESBUC).

O objectivo principal do estudo é identificar, quantificar e comparar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de dois sistemas de embalagem 0,33L para néctares: o sistema *PET* (politereftalato de etileno) e o sistema *ECAL* (embalagem de cartão para alimentos líquidos). Os sistemas contabilizam não só as embalagens primárias, bem como as embalagens secundárias e terciárias, definidas da seguinte forma [6]:

- *embalagem primária* – aquela que contém cada unidade de consumo do produto e está em contacto directo com ele;
- *embalagem secundária (embalagem grupada)* - aquela que agrupa várias unidades de consumo e, no seu todo, pode constituir uma unidade de venda;
- *embalagem terciária* – aquela que acondiciona e permite transportar um certo número de unidades de consumo do produto para o seu destino.

Os resultados deste estudo destinam-se a uma avaliação académica por parte dos orientadores do projecto e à apresentação às empresas colaboradoras neste estudo.

3.2. Âmbito

3.2.1. Considerações gerais

Neste projecto pretende-se estudar o impacto ambiental de dois sistemas de embalagem 0,33 L para néctares, através da *Avaliação do Ciclo de Vida* de cada um. Os sistemas em estudo são a embalagem *PET* (politereftalato de etileno) e a embalagem de cartão para alimentos líquidos (*ECAL*).

Para a melhor caracterização de cada um dos sistemas foi necessário, conforme referido na descrição da *ACV*, proceder à recolha de dados para cada um deles.

A produção de néctar não foi considerada neste estudo, por se tratar de uma comparação entre dois sistemas de embalagem com a mesma função, que é a de transportar o néctar ao consumidor.

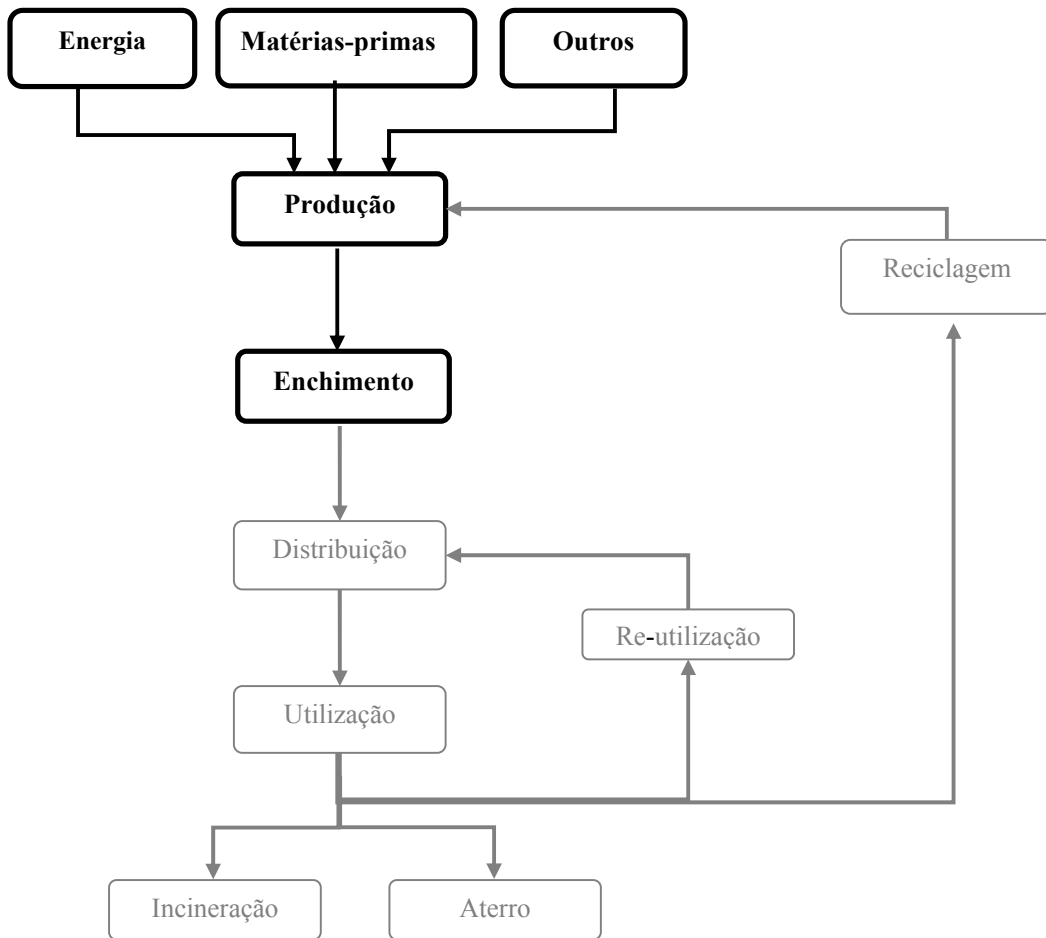
3.2.2. Unidade funcional

Atendendo à necessidade de quantificar o desempenho de cada um dos sistemas, de modo a que possam ser comparados entre si, torna-se essencial definir uma unidade funcional que traduza a função, a eficácia e durabilidade de cada sistema. Sendo assim, foi definida como unidade funcional (u.f.) **1000 embalagens de 0,33 L para néctares disponíveis aos consumidores**. Considerou-se o número de embalagens disponibilizadas ao consumidor visto o peso das mesmas ser diferente em cada sistema mas a quantidade de néctar acondicionada ser igual. A quantidade de 1000 embalagens foi adoptada por foma a facilitar a análise dos resultados apresentados.

3.2.3 Fronteiras do Sistema

Neste projecto, devido à dificuldade em analisar todos os parâmetros e à obtenção de dados para a fase de distribuição e reciclagem, considerou-se que o ciclo de vida dos sistemas em estudo seria composto por três fases principais: (i) a fase de produção das embalagens, que inclui as etapas de extracção das matérias-primas e os processos associados à sua produção; (ii) a fase de enchimento, que contabiliza todos os consumos e emissões associadas ao processo de enchimento e acondicionamento das embalagens; (iii) as várias etapas de transporte necessárias, com todas as emissões associadas aos mesmos.

Relativamente às fases de produção das embalagens primárias, transportes e enchimento os dados foram fornecidos pelas empresas que participaram no estudo, pelo que os valores apresentados e os resultados obtidos estão condicionados por esse motivo. Na figura 3 está representado um diagrama de blocos simples, elucidativo do ciclo de vida de um sistema de embalagem para néctares.



Error!

Figura 3 – Diagrama de blocos genérico associado a um sistema de embalagem para néctar.

Nota: A cinzento encontram-se as etapas que não foram consideradas neste estudo

3.2.4. Fontes de informação

A recolha de dados foi efectuada através de contacto directo com várias empresas. Para o sistema *ECAL* os dados foram fornecidos pela *Tetrapak* e pela *Sumolis*, visto a primeira ser a empresa produtora deste tipo de embalagem e a segunda utilizadora do mesmo para acondicionar os seus produtos; para o sistema *PET* os dados foram fornecidos pela *UNICER*, empresa da região e localizada perto da FEUP, o que facilitou o contacto e a recolha dos dados.

3.2.5. Pressupostos Assumidos

No decorrer do estudo foi necessário efectuar algumas considerações. Algumas das considerações gerais principais estão apresentadas a seguir. As restantes e as pontuais encontram-se referidas, quando necessário, ao longo do relatório.

- *Produção/Transformação*

Os dados correspondentes à extracção das matérias-primas foram obtidos em bases de dados, enquanto que os relativos à fase de produção propriamente dita foram obtidos através das empresas já mencionadas. Não foi considerado o transporte das matérias-primas desde o local da extracção até ao local da Produção/Transformação.

- *Enchimento*

No sistema *ECAL* os dados utilizados foram obtidos através da consulta da ficha técnica da máquina (TBA/21 050V) utilizada para efectuar o enchimento do tipo de embalagens em estudo.

- *Transportes*

Para a caracterização das etapas de transporte necessárias ao longo do ciclo de vida apenas se conseguiram obter dados reais para os transportes no sistema *PET*.

Considerou-se que o transporte era efectuado em camiões do tipo 28t, usando apenas 50% da sua capacidade de carga para os materiais e embalagens considerados no estudo. Assumiu-se que os camiões percorrem sempre o caminho de ida cheios e o de volta vazios, e que o peso das embalagens corresponde ao peso total que o camião pode carregar.

Na ausência de informação relativa ao tipo de transporte para o sistema *ECAL*, considerou-se que este era equivalente ao do sistema *PET*, tendo em conta a distância entre o local de transformação das embalagens e o local de enchimento.

Neste estudo foram apenas considerados, para o sistema *PET*, os transportes desde a etapa de fabrico das pré-formas até à de sopragem, e desde esta etapa até à de

enchimento. Pensa-se que será nestas fases onde o transporte tem maior impacto no ciclo de vida considerado.

Assumiui-se que todos os componentes constituintes das embalagens secundárias e terciárias são produzidos paralelamente às instalações de fabrico de pré-formas, de sopragem e de enchimento, para o *sistema PET*, e de transformação e enchimento para o *sistema ECAL*. O transporte desde o local de fabrico dos diversos componentes até às respectivas instalações de uso, não é considerado;

3.3. Resultados

Os resultados apresentados baseiam-se sempre na unidade funcional considerada, **1000 embalagens de 0,33 L para néctares disponíveis aos consumidores.**

Nesta secção é apresentada a compilação dos dados recolhidos, na fase de inventário, para ambos os sistemas.

Após a análise dos dados, realizou-se o tratamento dos mesmos de forma a identificar, para cada sistema, as fases de maior impacto ambiental

3.3.1. Inventário – Sistema PET

3.3.1.1. Caracterização das embalagens

Na tabela 1 apresenta-se a caracterização das embalagens PET por palete, com as designações industriais de cada tipo de embalagem, seguidas da descrição qualitativa e quantitativa.

Para melhor compreensão da nomenclatura utilizada, atente-se ao seguinte esquema:

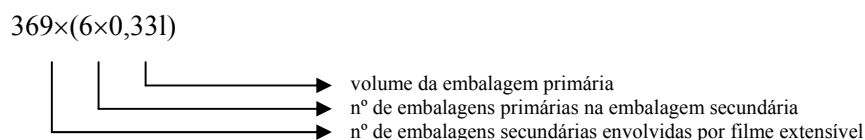


Tabela 1 – Caracterização das garrafas PET 33 cl, por palete.

Designação	Embalagem	Dimensão/ Volume	Material	Peso (gr)	nº por palete
369×(6×0,33 l)	Primária				
	Garrafa PET	0,33 litros	PET	34,5 ± 1	2214
	Cápsula de plástico	1 unidade	Polipropileno	4,23	2214
	Rótulo de polipropileno	1 unidade	Polipropileno	0,41	2214
	Secundária				
	Filme retráctil	6 garrafas	PEBD	24,5	369
	Pega de polipropileno	1 unidade	Polipropileno	1,3	369
	Etiqueta de código	1 unidade	Papel	0,2	369
	Terciária				
	Paleta	1,20×1,00 m ²	Madeira	394,3	1
	Separador de cartão	-	Cartão	144,6	8
	Filme de topo	-	PEBD	396,2	1
	Filme extensível	-	PEBD	2,90	-
Etiqueta de código	0,210×0,148 m ²	Papel		2	

Fonte: Com base em informações da UNICER.

3.3.1.2. Diagrama blocos

Na figura 4 encontra-se uma representação esquemática, através de um diagrama de blocos, dos processos mais relevantes do ciclo de vida do sistema *PET*.

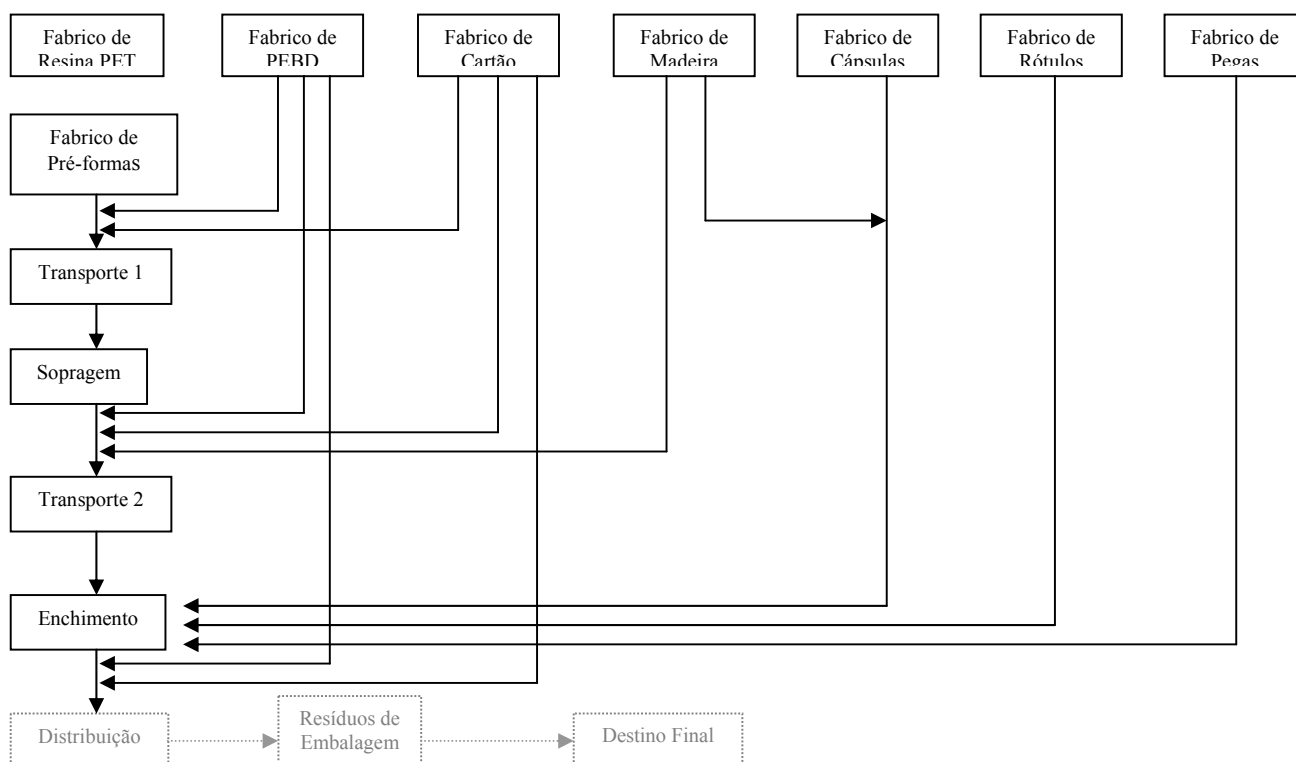


Figura 4 – Ciclo de vida considerado para o sistema *PET*.

Nota: A cinzento encontram-se as etapas que não foram avaliadas.

3.3.1.3. Descrição do Ciclo de Vida do sistema

Convém referir, antes de iniciar a caracterização do sistema PET, que todas as paletes de transporte são retornáveis, com excepção das de transporte das cápsulas que por conseguinte irão ser contabilizadas como recurso e resíduo na forma de madeira.

- *Produção da Resina PET*

O politeraftalato de etileno (PET) é um poliéster linear obtido a partir da condensação do glicol com o ácido teraftálico [3]. Este poliéster pode ser parcialmente cristalino (30%), ou amorfo (transparente), sendo as embalagens em estudo produzidas a partir deste último (ver figura 5).

A resina PET é produzida em Itália e é transportada até à unidade seguinte (fabrico de pré-formas) em camiões cisterna de 27 ton.



Figura 5 – Resina de PET.

- *Produção de Pré formas*

As pré-formas são produzidas na cidade Belga de Brecht, a partir da resina PET copolímero de grau alimentar. Estas são obtidas pelo processo de moldação por injeção, onde ficam definidas com grande precisão partes críticas da embalagem, como o gargalo (ver figura 6).

Com o intuito de serem transportadas até à etapa seguinte (Sopragem), as pré-formas são embaladas em caixas de cartão que contêm 7800 unidades cada. Cada caixa contém uma bolsa de polietileno e assenta numa palete *standard* (1,2 x 1,0 m) retornável.

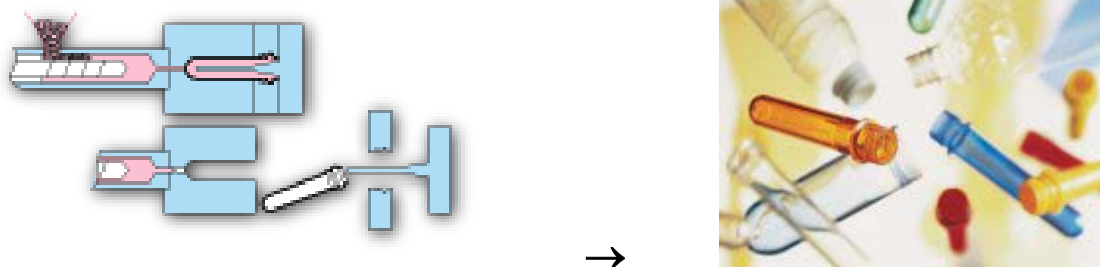


Figura 6 – Produção das pré-formas pelo processo moldação por injeção.

- *Transporte das Pré formas para o local de Sopragem (Transporte 1)*

O camião de transporte é do tipo *trailer*, tem capacidade para 52 paletes em duas alturas e percorre uma distância de 1728 km entre o local de fabrico das pré-formas (Brecht) e o de sopragem (Toledo).

- *Sopragem*

Nas instalações da Amcor em Toledo – Espanha é efectuada a insuflação (sopragem) das pré-formas com a finalidade de estas adquirirem a forma de garrafas com capacidade para 33 cl de néctar.

Antes da sopragem propriamente dita, as pré-formas são aquecidas num forno de infra-vermelhos até atingirem uma temperatura inferior à de fusão do PET, à qual se torna fácil a deformação do material (ver figura 7). De seguida efectua-se a sopragem, que é geralmente constituída por duas fases: na primeira ocorre a orientação molecular na direcção axial, através de um punção que estica a pré-forma nesta direcção; na segunda dá-se a orientação molecular na direcção transversal, provocada pela insuflação (sopragem) com ar comprimido. Esta biorientação é responsável pelas óptimas propriedades mecânicas que as embalagens PET apresentam.

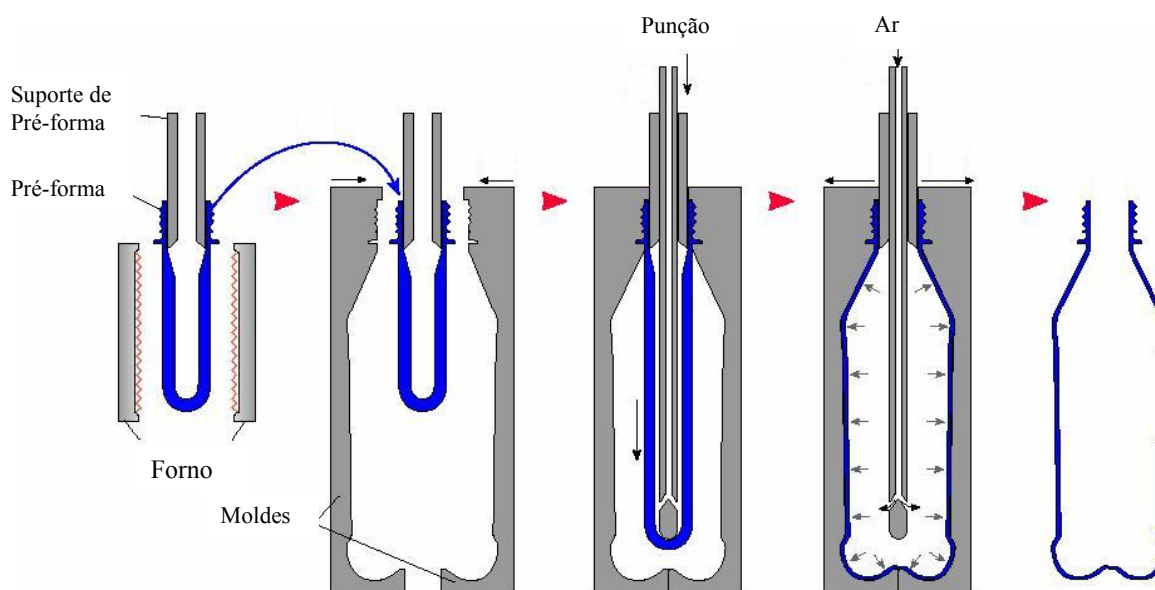


Figura 7 – Esquema representativo da fase de sopragem das pré-formas.

As garrafas são paletizadas em paletes *standard* (1,2 x 1,0 m) retornáveis, por forma a facilitar o transporte destas até à unidade seguinte (Enchimento). Assim, cada palete leva 3648 garrafas, dispostas em 12 camadas separadas por 13 cartões (cada camada contém 16 filas de 19 garrafas). No topo é colocada uma placa de madeira, e todo este conjunto é envolvido por filme extensível de polietileno.

- *Transporte das Garrafas Sopradas para o local de Enchimento*

O camião de transporte é do tipo trailer, tem capacidade para transportar 26 paletes, e percorre uma distância de 540,6 km entre o local de Sopragem (Toledo) e o de Enchimento (Santarém).

- *Enchimento*

A etapa de enchimento das garrafas sopradas é realizada nas instalações da Rical em Santarém – Portugal, e é constituída por várias fases.

No início da linha de enchimento, as paletes provenientes da instalação de *Sopragem* entram na *Despaletizadora* onde são separados os diversos componentes: (i) as

garrafas, que seguem para a *Enxaguadora*; (ii) as paletes, que são retornáveis à empresa Amcor; (iii) os cartões e os filmes de polietileno, que são recolhidos por Ventura Ferreira Bento (V.F.B.); (iv) as placas de madeira, que são queimadas e/ou aproveitadas pelos funcionários da Rical, ou são recolhidas também por V.F.B.;

Na *Enxaguadora* as garrafas são desinfetadas com água ozonada e de seguida são enviadas para a Enchedora. A água proveniente do enxaguamento segue para um tanque de armazenamento de efluentes, para posterior tratamento numa ETAR;

O néctar produzido na instalação da Rical é enviado para a Enchedora que se encarrega de encher a quente as garrafas PET, que seguem depois para a *Capsuladora*;

Na *Capsuladora* com esterilização U.V. as garrafas cheias são fechadas com cápsulas de polipropileno, que são previamente lavadas com água ozonada. Esta água é também enviada para um tanque de armazenamento de efluentes para posterior tratamento numa ETAR;

As garrafas capsuladas são enviadas para o *Inspector de Cheio*, onde aquelas que não possuem o volume de néctar requerido são rejeitadas e posteriormente enviadas para reciclagem;

As garrafas capsuladas que são aceites seguem para o *Inversor de Garrafas*, onde estas são invertidas com o intuito de higienizar, com o néctar pasteurizado, o espaço vazio entre a cápsula e o néctar;

As garrafas capsuladas passam no *Arrefecedor* com capacidade para 30000 litros de água, e que contém água descalcificada e *biocida* para evitar o surgimento de matéria microbiana. Este é dividido em vários estágios (tanques), sendo os dois primeiros aquecidos a vapor. A água circula entre os estágios e só é removida e recolhida nos tanque de armazenamento de efluentes, quando a linha pára para limpeza;

Com o intuito de secar as garrafas capsuladas molhadas provenientes do *Arrefecedor*, estas passam pelo *Secador*;

De seguida as garrafas capsuladas são rotuladas, com o auxílio de uma pequena quantidade de cola, na *Rotuladora*. Nesta operação é também necessário água descalcificada para a frequente limpeza dos pincéis de cola. O efluente proveniente desta operação é enviado para o respectivo tanque de armazenamento.

No *Inspector de Rótulo*, as garrafas que apresentarem o rótulo incorrectamente colocado são rejeitadas e posteriormente enviadas para reciclagem;

As garrafas rotuladas que são aceites no *Inspector* seguem para o *Marcador* a jacto de tinta. Aqui as garrafas são marcadas com a hora de enchimento, prazo de validade e o número de lote;

As garrafas marcadas são enviadas para a *Envolvedora (Pack's)*, onde são envolvidas, em grupos de seis unidades, por filme de polietileno retráctil com o auxílio de ar quente;

Em cada grupo de seis unidades de garrafas, vulgarmente denominados por *six-pack's*, é colocada uma etiqueta de papel e uma pega de polipropileno monorientado, pela *Aplicadora de Etiquetas* e pela *Aplicadora de Pegas*, respectivamente;

Os *six-pack's* com a respectiva etiqueta e pega são enviados para a *Paletizadora*. Em cada palete são colocadas nove camadas de *pack's* separadas por oito cartões, um filme de polietileno no topo, um filme extensível que envolve todo o conjunto, e duas etiquetas de papel. As paletes estão assim prontas a serem transportadas pelos diversos distribuidores.

Todas as unidades da linha de enchimento funcionam a energia eléctrica, e a maioria delas opera também com ar comprimido com a excepção da *Enxaguadora*, do *Arrefecedor*, do *Secador*, do *Marcador* de garrafas e da *Envolvedora* de *pack's*.

A água utilizada nas instalações da Unicer Refrigerantes – C.P. Rical provém totalmente de furos.

3.3.1.4. Consumos de Materiais e de Energia Associados ao Processo de Enchimento

Na tabela 2 encontram-se os valores correspondentes aos consumos aproximados de materiais e de energia associados ao processo de enchimento e embalagem, por embalagem primária para néctar.

Tabela 2 – Consumos de materiais e de energia do processo de enchimento e embalagem, por embalagem primária PET de néctar.

Electricidade [kWh]	Vapor* [kg Fuel]	Água [litros]	Outros compostos
0,026	$6,00 \times 10^{-3}$	$4,04 \times 10^{-1}$?

Fonte: Com base em informações da Unicer.

*Nota: Rendimento das caldeiras = 13 kg de vapor de água/kg de fuel

3.3.1.5. Logística associada às embalagens

A tabela 3 apresenta as localizações dos fornecedores mais representativos dos componentes das embalagens, bem como os tipos de transporte utilizados.

Tabela 3 – Logística associada às embalagens do sistema PET.

Embalagem	Localização do fornecedor mais representativo	Tipo de Transporte
Primária Pré-formas de PET Garrafas de PET Cápsulas de plástico Rótulos de polipropileno	Brecht (Bélgica) 40 km oeste de Madrid Barcelona Aldeia de Paio Pires – Lisboa	Capacidade para 52 paletes (1,0×1,2m) Capacidade para 26 paletes (1,0×1,2m) 7 toneladas Entre 500 kg e 3 500 kg
Secundária Filme retráctil Pega de polipropileno Etiqueta de código	Celorico de Basto Etten-Leur (Holanda) Wissous (França)	Entre 5 a 10 toneladas Grupagem (700 kg) Grupagem (400 kg)
Terciária Paleta (Europalete) Separador de cartão Filme de topo Filme extensível Etiqueta de código	UNICER (contrato c/ LPR) Guilhabreu –Porto Celorico de Basto Porto Wissous (França)	Camião com 300 paletes 4 toneladas Grupagem (6 ton.) Grupagem (3,5 ton.) Grupagem (5 ton.) Grupagem (300 kg)

Nota: Grupagem – camião com carga completa com materiais diversos para várias empresas (este transporte é muito comum pois é possível receber os materiais com um custo de transporte muito baixo: cerca de 5 cêntimos o quilo.)

3.3.2. Análise de impacto – Sistema PET

- Classificação

Para a classificação dos impactos ambientais escolheu-se o modelo *Eco-indicator 95 (Europe e)* [2]. Este considera as seguintes categorias de impacto ambientais: Efeito de estufa, Depleção da Camada do Ozono, Acidificação, Eutrofização, Emissão de Metais Pesados, Carcinogenia, *Smog* de Inverno, *Smog* de Verão, Emissão de Pesticidas, Esgotamento de Matérias-primas e Recursos Energéticos, e Deposição de Resíduos Sólidos.

- *Caracterização*

Na tabela 4 encontram-se compilados os valores encontrados ao longo da ponderação do contributo das diversas intervenções (consumo de recursos e emissões) em categorias ambientais.

Tabela 4 – Valores obtidos na fase de caracterização do sistema PET.

Categoria	Unidade	Resina	Pré-formas	Transp. 1	Sopragem	Transp. 2	Enchimento	Total
E. Estufa	kg CO ₂	8,08×10 ¹	1,11	4,74	4,71×10 ⁻¹	6,34	2,02×10 ¹	1,14×10 ²
C. Ozono	kg CFC11	4,20×10 ⁻⁵	0	0	0	0	0	4,20×10 ⁻⁵
Acidifi.	kg SO ₄	1,35	7,38×10 ⁻³	7,02×10 ⁻²	1,93×10 ⁻³	9,40×10 ⁻²	6,52×10 ⁻²	1,59
Eutrofi.	kg PO ₄	9,30×10 ⁻²	3,50×10 ⁻⁴	1,23×10 ⁻²	1,21×10 ⁻⁵	1,65×10 ⁻²	3,98×10 ⁻³	1,26×10 ⁻¹
M.Pesados	kg Pb	4,58×10 ⁻⁴	0	5,62×10 ⁻⁷	0	7,52×10 ⁻⁷	6,27×10 ⁻⁶	4,65×10 ⁻⁴
Carcino.	kg B(a)P	7,42×10 ⁻⁷	0	7,09×10 ⁻⁹	0	9,49×10 ⁻⁹	0	7,59×10 ⁻⁷
S. Inverno	kg SPM	9,94×10 ⁻¹	6,39×10 ⁻³	5,69×10 ⁻³	1,60×10 ⁻³	7,61×10 ⁻³	4,28×10 ⁻²	1,06
S. Verão	kg C ₂ H ₄	6,51×10 ⁻¹	1,76×10 ⁻³	7,33×10 ⁻³	8,38×10 ⁻⁴	9,80×10 ⁻³	4,20×10 ⁻²	7,13×10 ⁻¹
Pesticidas	kg act.s	0	0	0	0	0	0	0
Energia	MJ LHV	2,65×10 ³	2,91×10 ¹	0	3,78×10 ²	0	7,79×10 ²	3,83×10 ³
R. Sólidos	Kg	1,56	7,66×10 ⁻¹	0	1,40	0	1,68	5,40

No gráfico seguinte apresenta-se a comparação das percentagens com que cada etapa contribui para um total em cada categoria.

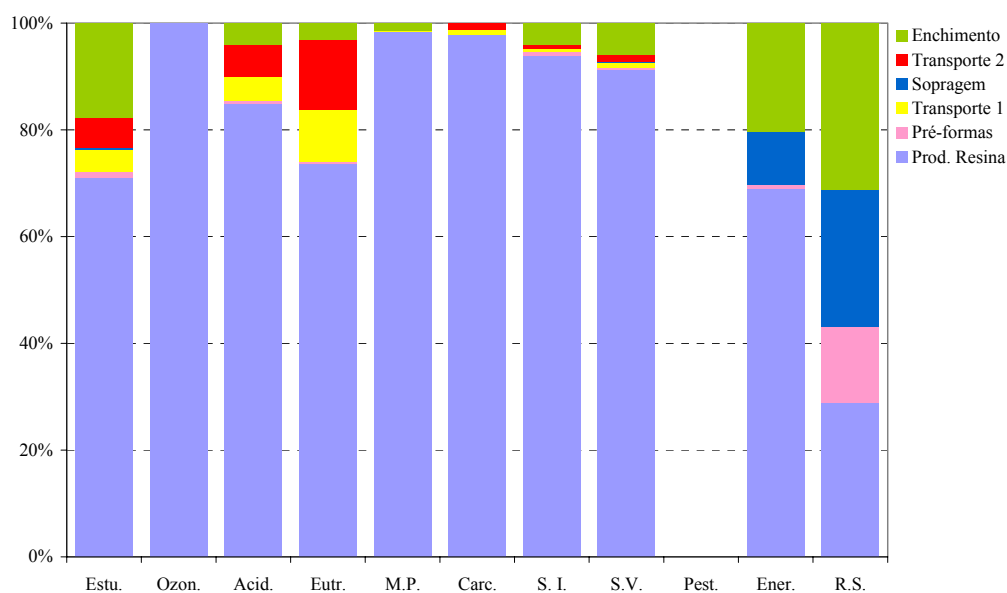


Figura 8 – Caracterização do sistema PET.

- *Normalização*

Os valores obtidos para a *Normalização* encontram-se normalizados de acordo com os valores médios associados a um cidadão europeu em função de cada categoria de impacto ambiental. Cada valor médio é determinado dividindo o valor total do impacto ambiental produzido pela Europa numa categoria, pelo número de cidadãos europeus. O inverso deste valor é designado por factor de normalização, que multiplicado pelo respectivo valor obtido na *Caracterização* indica-nos os valores associados à *Normalização*.

Os factores de normalização usados pelo método *Eco-indicator 95* encontram-se listados na tabela 5 [2]. Note-se que os valores de referência usados pelo programa *SimaPro* (ver CD anexo à referência [2]) referem-se ao ano de 1990 (no caso da categoria de Resíduos Sólidos a fonte foi *European Environment Agency*, 1998).

* Nota: Os países da Europa que são considerados para a obtenção destes valores são: Áustria, Alemanha, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Jugoslávia, Luxemburgo, Noruega, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Roménia, Suíça e Suécia.

Tabela 5 – Valores obtidos na normalização do sistema PET.

Categoria	Factor de Normalização	Resina	Pré-formas	Transp. 1	Sopragem	Transp. 2	Enchimento	Total
E. Estufa	$7,42 \times 10^{-5}$	$6,00 \times 10^{-3}$	$8,21 \times 10^{-5}$	$3,52 \times 10^{-4}$	$3,49 \times 10^{-5}$	$4,70 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$8,43 \times 10^{-3}$
C. Ozono	1,24	$5,20 \times 10^{-5}$	0	0	0	0	0	$5,20 \times 10^{-5}$
Acidifi.	$8,88 \times 10^{-3}$	$1,20 \times 10^{-2}$	$6,56 \times 10^{-5}$	$6,24 \times 10^{-4}$	$1,72 \times 10^{-5}$	$8,34 \times 10^{-4}$	$5,79 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-2}$
Eutrofi.	$2,62 \times 10^{-2}$	$2,44 \times 10^{-3}$	$9,16 \times 10^{-6}$	$3,23 \times 10^{-4}$	$3,17 \times 10^{-7}$	$4,32 \times 10^{-4}$	$1,04 \times 10^{-4}$	$3,31 \times 10^{-3}$
M.Pesados	$1,78 \times 10^1$	$8,15 \times 10^{-3}$	0	$1,00 \times 10^{-5}$	0	$1,34 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-4}$	$8,28 \times 10^{-3}$
Carcino.	$1,06 \times 10^2$	$7,87 \times 10^{-5}$	0	$7,52 \times 10^{-7}$	0	$1,01 \times 10^{-6}$	0	$8,05 \times 10^{-5}$
S. Inverno	$1,06 \times 10^{-2}$	$1,05 \times 10^{-2}$	$6,78 \times 10^{-5}$	$6,03 \times 10^{-5}$	$1,70 \times 10^{-5}$	$8,07 \times 10^{-5}$	$4,54 \times 10^{-4}$	$1,12 \times 10^{-2}$
S. Verão	$5,07 \times 10^{-2}$	$3,30 \times 10^{-2}$	$8,92 \times 10^{-5}$	$3,72 \times 10^{-4}$	$4,25 \times 10^{-5}$	$4,97 \times 10^{-4}$	$2,13 \times 10^{-3}$	$3,61 \times 10^{-2}$
Pesticidas	1,21	0	0	0	0	0	0	0
Energia	$6,29 \times 10^{-6}$	$1,66 \times 10^{-2}$	$1,83 \times 10^{-4}$	0	$2,38 \times 10^{-3}$	0	$4,90 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-2}$
R. Sólidos	$2,84 \times 10^{-4}$	$4,42 \times 10^{-4}$	$2,18 \times 10^{-4}$	0	$3,96 \times 10^{-4}$	0	$4,78 \times 10^{-4}$	$1,53 \times 10^{-3}$

Na figura 9 está representado o impacto com que cada etapa contribui em cada categoria.

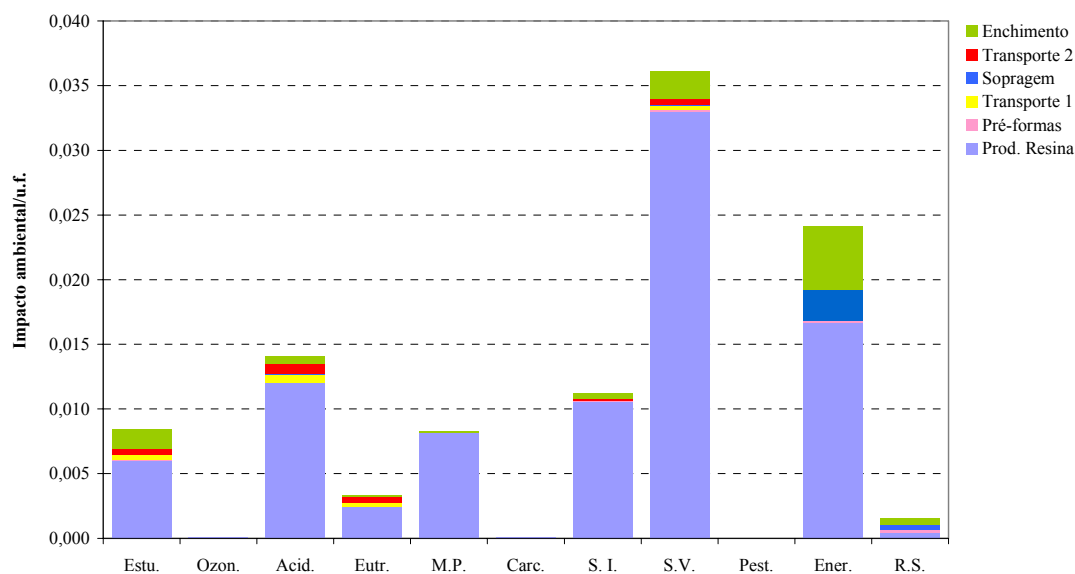


Figura 9 – Normalização do sistema PET.

3.3.2.1. Avaliação/Interpretação de Resultados – Sistema PET

Na figura 8 (caracterização PET) verifica-se, em termos percentuais, que a fase que acarreta maior peso em praticamente todas as categorias de impacto ambiental (com exceção da dos Resíduos Sólidos) é a produção da resina PET. Por outro lado, a fase de enchimento é a que mais contribui para a categoria de Resíduos Sólidos e é a segunda mais importante nas categorias de Efeito de Estufa, Metais Pesados, *Smog* de Inverno e *Smog* de Verão e Energia. As fases de fabrico das pré-formas e de sopragem também dão uma grande contribuição na categoria de Resíduos Sólidos. As categorias de impacto ambiental onde o transporte das pré-formas desde as instalações de fabrico até às de sopragem (transporte 1) e o transporte das garrafas desde estas últimas instalações até às de enchimento (transporte 2), têm maior relevo são o Efeito de Estufa, a Acidificação e a Eutrofização.

Quando os valores são normalizados é possível observar, a partir da figura 9, que o impacto ambiental associado ao ciclo de vida considerado para as garrafas PET é mais acentuado nas categorias de *Smog* de Verão, Energia, Acidificação e *Smog* de Inverno. O Efeito de Estufa e os Metais Pesados apresentam também valores significativos. Na generalidade, as principais fases que contribuem para estas categorias de impacto são, por ordem decrescente de importância: o fabrico da resina PET, o enchimento, o transporte 2 e o transporte 1.

De facto, a partir de factores de avaliação definidos pelo modelo “Eco-indicador 95” é possível confirmar através da tabela 6 e da figura 10, que a etapa de fabrico de resina PET é a principal responsável pelo impacto ambiental do sistema de garrafas PET considerado, sendo seguida, com uma larga distância, pelas etapas de enchimento e de transportes.

Tabela 6 - Valores obtidos após avaliação do sistema PET.

Categoria	Factor de Avaliação	Resina	Pré-formas	Transp. 1	Sopragem	Transp. 2	Enchimento	Total
E. Estufa	2,5	$1,50 \times 10^{-2}$	$2,05 \times 10^{-4}$	$8,79 \times 10^{-4}$	$8,74 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-3}$	$3,74 \times 10^{-3}$	$2,11 \times 10^{-2}$
C. Ozono	100	$5,20 \times 10^{-3}$	0	0	0	0	0	$5,20 \times 10^{-3}$

Acidifi.	10	$1,20 \times 10^{-1}$	$6,56 \times 10^{-4}$	$6,24 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^{-4}$	$8,34 \times 10^{-3}$	$5,79 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-1}$
Eutrofi.	5	$1,22 \times 10^{-2}$	$4,58 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-6}$	$2,16 \times 10^{-3}$	$5,21 \times 10^{-4}$	$1,65 \times 10^{-2}$
M.Pesados	5	$4,07 \times 10^{-2}$	0	$5,00 \times 10^{-5}$	0	$6,69 \times 10^{-5}$	$5,58 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-2}$
Carcino.	10	$7,87 \times 10^{-4}$	0	$7,52 \times 10^{-6}$	0	$1,01 \times 10^{-5}$	0	$8,05 \times 10^{-4}$
S. Inverno	5	$5,27 \times 10^{-2}$	$3,39 \times 10^{-2}$	$3,02 \times 10^{-4}$	$8,49 \times 10^{-5}$	$4,03 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-3}$	$5,61 \times 10^{-2}$
S. Verão	2,5	$8,25 \times 10^{-2}$	$2,23 \times 10^{-4}$	$9,29 \times 10^{-4}$	$1,06 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-3}$	$5,33 \times 10^{-3}$	$9,04 \times 10^{-2}$
Pesticidas	25	0	0	0	0	0	0	0
Energia	0	0	0	0	0	0	0	0
R. Sólidos	0	0	0	0	0	0	0	0

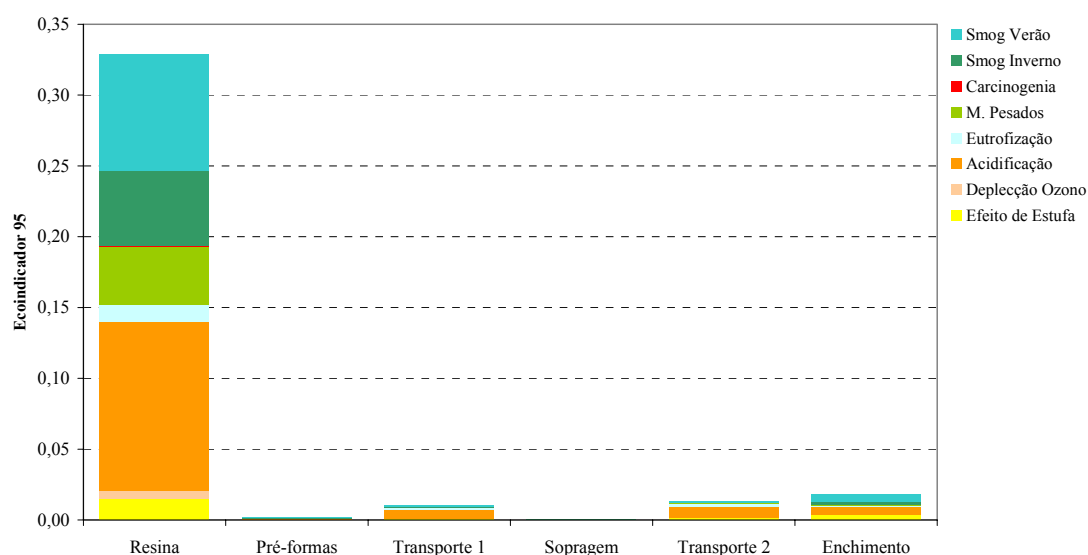


Figura 10 – Comparação dos ecoindicadores das fases principais do sistema PET.

Das fases referidas anteriormente, aquela que é passível de ser subdividida (de acordo com as considerações realizadas anteriormente neste estudo), é a de enchimento. Assim, na figura seguinte (figura 11) encontram-se representados graficamente os valores obtidos na normalização associada à referida subdivisão.

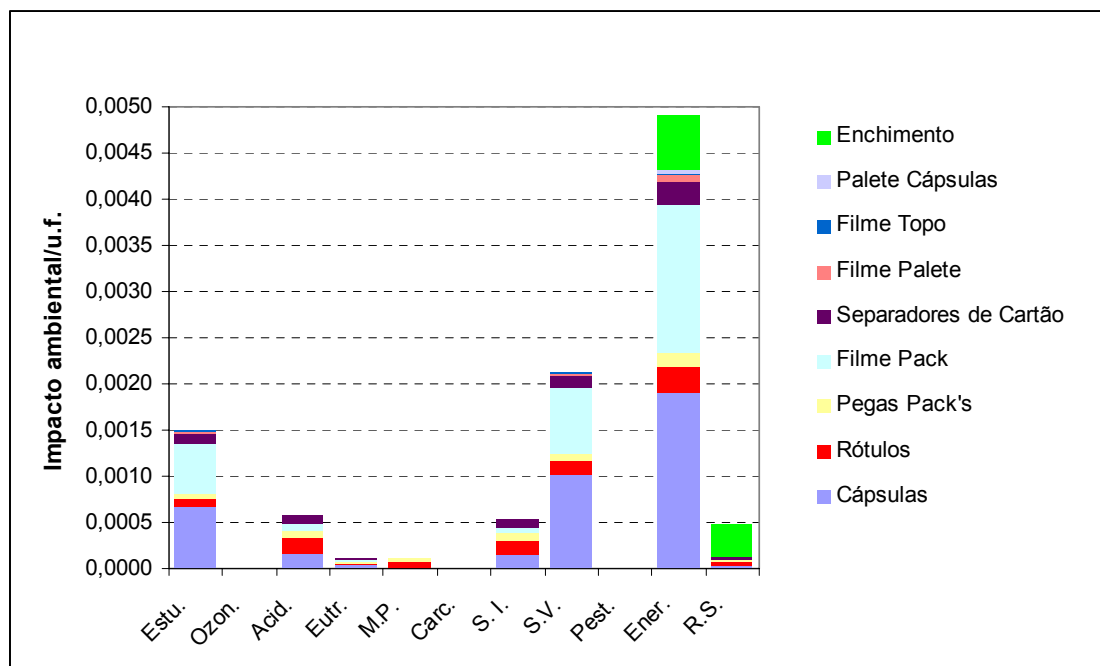


Figura 11 – Normalização da fase de enchimento das garrafas PET.

Observa-se que as etapas com maior contributo na generalidade das categorias de impacto ambiental são, por ordem decrescente, o fabrico de: cápsulas de polipropileno, filme de PEBD dos six-pack's, rótulos de polipropileno, separadores de cartão e pegadas de polipropileno dos six-pack's.

Relativamente à etapa de enchimento propriamente dita, contribui apenas nas categorias de Energia e de Resíduos Sólidos.

3.3.3. Inventário – Sistema ECAL

As embalagens de cartão para alimentos líquidos (*ECAL*) normalmente conjugam três materiais diferentes, o cartão, o polietileno e o alumínio, de forma a assegurar a protecção e conservação dos alimentos. No caso da embalagem considerada neste estudo, a embalagem Tetra Prisma Aseptic (TPA), 75% do peso da embalagem é cartão, o polietileno constitui 20% da embalagem e os restantes 5% são alumínio. A embalagem é composta por 6 camadas, sendo 4 delas de polietileno e as restantes de cartão e alumínio, como se pode observar na figura 12.

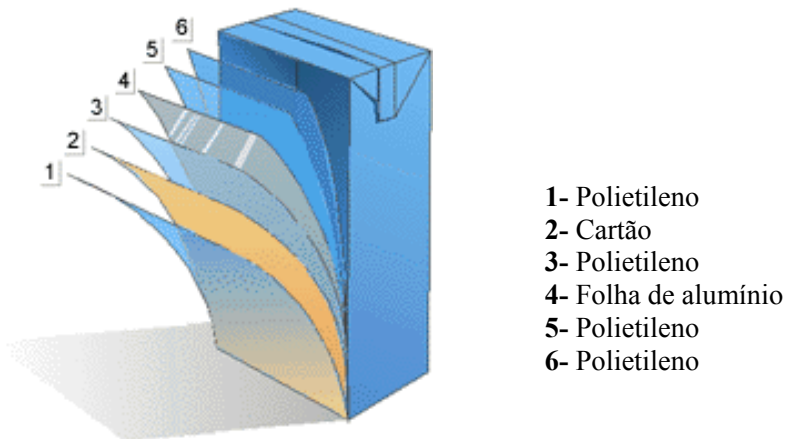


Figura 12 – Estrutura da embalagem de cartão para alimentos líquidos.

A camada externa é de polietileno e serve para impermeabilizar a embalagem. As duas camadas mais internas são ambas de polietileno e têm a função de selar completamente a embalagem. Entre estas duas camadas encontra-se uma camada de folha de alumínio que não entra em contacto com o líquido e que serve de barreira à entrada de ar e luz, permitindo aumentar o período de conservação do líquido. O cartão é usado com a função de dar resistência estrutural à embalagem e ao mesmo tempo permitir a impressão e identificação do produto e das suas características.

3.3.3.1. Caracterização das embalagens

A caracterização das embalagens do sistema *ECAL*, apresentada na tabela 7, foi efectuada considerando uma paleta. São apresentadas as designações industriais de cada tipo de embalagem, seguidas da descrição qualitativa e quantitativa. Para melhor compreensão da nomenclatura utilizada deve-se ter em atenção o exemplo seguinte:

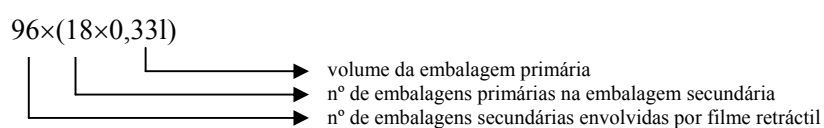


Tabela 7 – Características das embalagens do sistema *ECAL*, por paleta.

Designação	Embalagem	Dimensão/ volume	Material	Peso (gr)	nº por paleta
96 × (18×0,33 l)	Primária emb. cartão p/alimentos liq. Selo	0,33 litros 1 unidade	ECAL -	13,4 -	1728 1728
	Secundária Tabuleiro de cartão Filme retráctil	6 garrafas 1 unidade	Cartão PEBD	80,4 16,4	96 96
	Terciária Paleta (Europaleta) Separador de cartão Filme extensível	1,20×0,80 m ² - -	Madeira Cartão PEBD	25000 409 410	1 - -

Fonte: Com base em informações da Sumolis.

3.3.3.2. Diagrama de blocos

Na figura 13 encontra-se uma representação esquemática, através de um diagrama de blocos, dos processos mais relevantes do ciclo de vida do sistema *ECAL*.

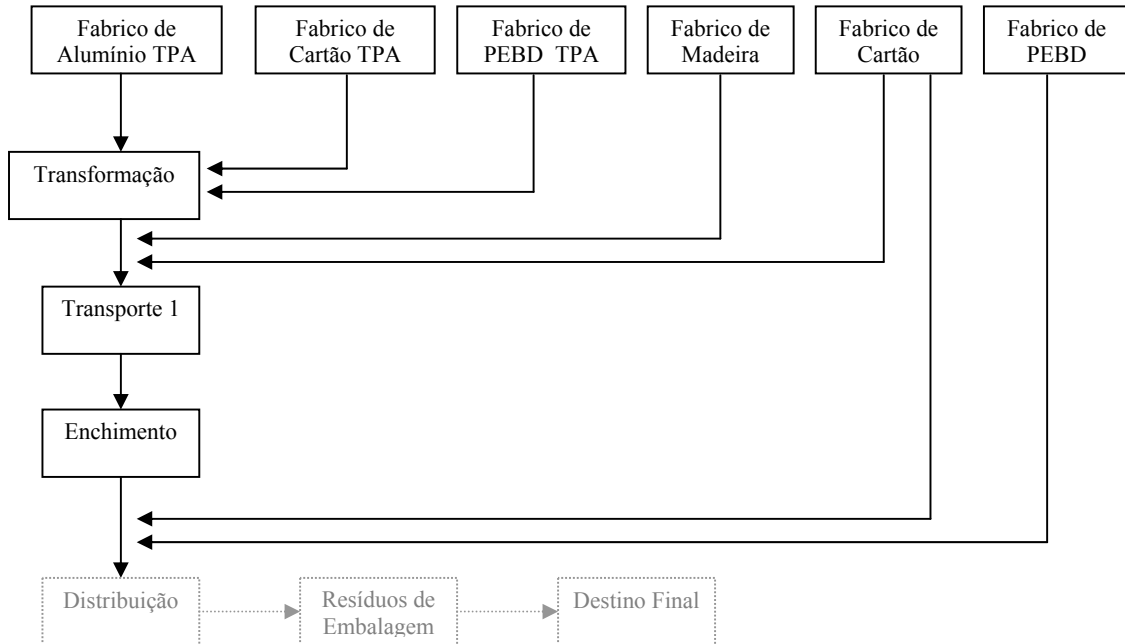


Figura 13 – Diagrama de blocos ECAL.

Nota: A cinzento encontram-se as fases que não foram consideradas neste estudo.

3.3.3.3. Caracterização do sistema

- Produção de alumínio

O alumínio metálico é produzido através de um processo electrolítico, a partir do oxido de alumínio. O alumínio fundido em barra é laminado em folhas de alumínio e é transportado por camião para as fábricas de transformação.

- Produção de cartão

A madeira é transformada em polpa, que é usada para fazer o papelão. O cartão é transportado para as fábricas de transformação por camião.

- *Produção de polietileno*

Os materiais usados para o fabrico do polietileno de baixa densidade (PEBD) são o gás natural e o petróleo. Através de uma série de processos (refinação, cracking, polimerização) é obtido o PEBD granulado. O PEBD granulado é transportado para as fábricas de transformação por camião.

- *Transformação*

Nas fábricas de transformação as matérias-primas são utilizadas para o fabrico de embalagens de cartão para alimentos.

O processo de fabrico consiste basicamente na colocação das camadas de polietileno a quente sobre o cartão impresso por litografia. Não é necessária a utilização de colas, pois devido ao calor o polietileno adere ao cartão. A camada de alumínio é colocada entre as duas camadas de polietileno através de laminação. No final é obtido um rolo compacto com milhares de embalagens vazias (11500), com o *layout* final da embalagem. Estes rolos são transportados para os clientes por camião.

- *Transporte da transformação até ao enchimento*

O transporte dos rolos, entre o local de transformação das embalagens (Moerdijk – Holanda) até ao local de enchimento (Carnaxide – Portugal), é efectuado por um camião semi-reboque, com capacidade para 20 paletes.

- *Enchimento*

As máquinas de enchimento são alugadas pela Tetra Pak. A descrição do processo de enchimento no *sistema ECAL* foi baseada em informações fornecidas pela própria empresa.

Os rolos são colocados na máquina, e as embalagens separadas automaticamente através da acção do calor. A selagem é também efectuada através de indução de calor. A esterilização da embalagem é conseguida à medida que esta passa por um banho de

peróxido de hidrogénio. Por acção de uns rolos é retirado o excesso de peróxido, sendo os resíduos evaporados com o auxílio de ar quente esterilizado.

O enchimento, propriamente dito, é efectuado numa câmara fechada e asséptica, onde é dada forma às embalagens vazias que se encontram nos rolos. O líquido é inserido e as embalagens seladas, como se pode observar na figura 14.

O sistema de enchimento, em particular, é especial: contém um flutuador magnético que funciona como um sensor do nível de líquido, e através de um programa informático especial é regulada uma válvula de modo a que o nível de néctar no tubo de material de embalagem (ver figura 14) de enchimento seja constante. Todas as embalagens são impressas com jacto de tinta de modo a serem facilmente identificadas. As embalagens que não correspondam aos padrões de enchimento e de selagem previamente estipulados são rejeitadas e enviadas para a reciclagem.

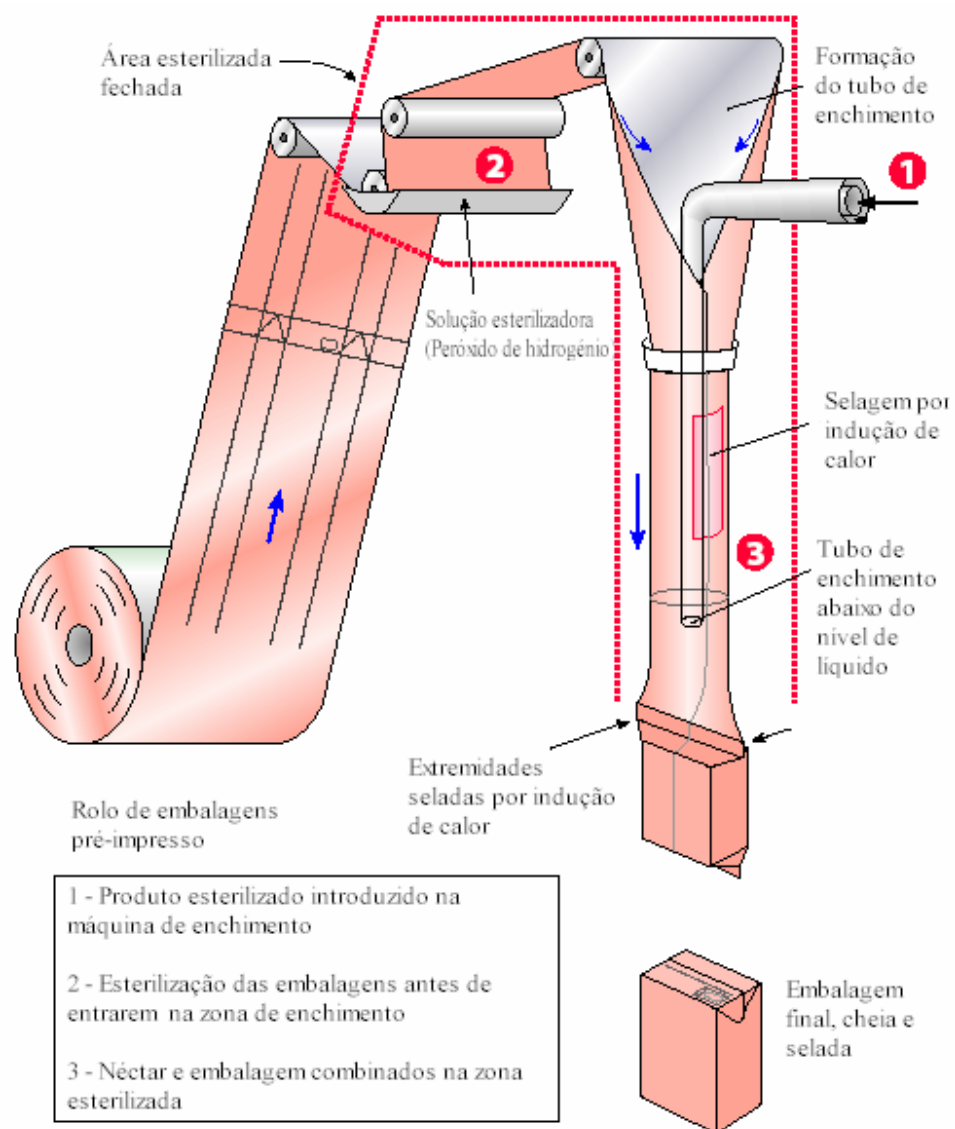


Figura 14 – Representação esquemática da fase de enchimento das ECAL's.

3.3.3.4. Consumos de Materiais e de Energia Associados ao Processo de Enchimento

Tabela 8 – Consumos médios de materiais e de energia associados ao processo de enchimento e embalagem, por embalagem primária ECAL de néctar.

Electricidade [kW]	Vapor [kg]	Água [litros]	Peróxido de Hidrogénio [litros]
$1,66 \times 10^2$	$3,00 \times 10^{-4}$	$3,83 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-4}$

Fonte: Com base em informações da Tetrapak.

3.3.4. Análise de impacto – Sistema ECAL

- Classificação

Tal como para o sistema PET, a classificação dos impactos ambientais para o sistema ECAL, baseia-se no modelo *Eco-indicator 95 (Europe e)* [2].

- Caracterização

Na tabela 9 encontram-se compilados os valores encontrados ao longo da ponderação do contributo das diversas intervenções (consumo de recursos e emissões) em categorias ambientais.

Tabela 9 – Valores obtidos na fase de caracterização do sistema ECAL.

Categoria	Unidade	Alumínio TPA	Cartão TPA	LPDE TPA	Transf.	Transp.	Enchimento	Total
E. Estufa	kg CO ₂	5,65	6,26	6,66	$1,72 \times 10^{-2}$	1,76	6,92	$2,73 \times 10^1$
C. Ozono	kg CFC11	$3,31 \times 10^{-7}$	$1,63 \times 10^{-6}$	$3,69 \times 10^{-6}$	$9,51 \times 10^{-9}$	0	$1,20 \times 10^{-6}$	$6,87 \times 10^{-6}$
Acidifi.	kg SO ₄	$4,64 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$	$4,91 \times 10^{-2}$	$1,27 \times 10^{-4}$	$2,60 \times 10^{-2}$	$5,02 \times 10^{-2}$	$2,03 \times 10^{-1}$
Eutrofi.	kg PO ₄	$1,63 \times 10^{-3}$	$2,14 \times 10^{-3}$	$4,52 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$4,57 \times 10^{-3}$	$4,99 \times 10^{-3}$	$1,79 \times 10^{-2}$
M.Pesados	kg Pb	$2,90 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-5}$	$7,47 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-7}$	$1,70 \times 10^{-4}$	$2,21 \times 10^{-4}$
Carcino.	kg B(a)P	$2,68 \times 10^{-5}$	$7,68 \times 10^{-7}$	$6,75 \times 10^{-8}$	$1,74 \times 10^{-10}$	$2,63 \times 10^{-9}$	$2,26 \times 10^{-8}$	$2,77 \times 10^{-5}$
S. Inverno	kg SPM	$5,23 \times 10^{-2}$	$2,49 \times 10^{-2}$	$3,37 \times 10^{-2}$	$8,70 \times 10^{-5}$	$2,11 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-2}$	$1,54 \times 10^{-1}$
S. Verão	kg C ₂ H ₄	$3,25 \times 10^{-3}$	$2,43 \times 10^{-3}$	$2,06 \times 10^{-2}$	$5,03 \times 10^{-5}$	$2,72 \times 10^{-3}$	$1,46 \times 10^{-2}$	$4,37 \times 10^{-2}$
Pesticidas	kg act.s	0	0	0	0	0	0	0
Energia	MJ LHV	$1,25 \times 10^2$	$1,23 \times 10^2$	$2,27 \times 10^2$	$3,08 \times 10^x$	0	$1,80 \times 10^3$	$2,30 \times 10^3$
R. Sólidos	kg	$8,32 \times 10^{-1}$	1,21	$1,10 \times 10^{-1}$	$2,83 \times 10^{-4}$	0	2,82	4,98

No gráfico seguinte apresenta-se a comparação das percentagens com que cada etapa contribui para um total em cada categoria.

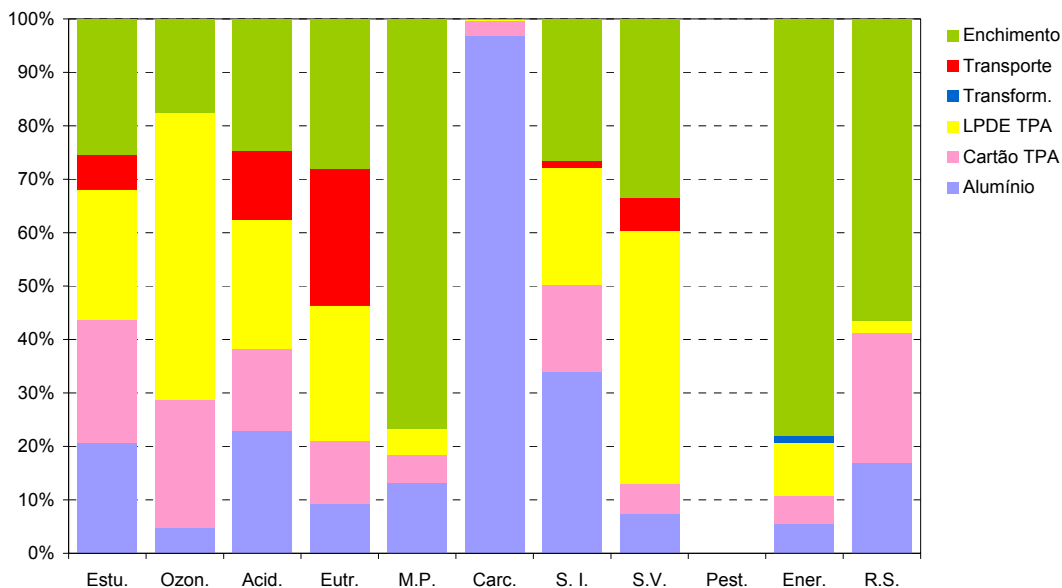


Figura 15 – Caracterização do sistema ECAL.

- *Normalização*

Os valores obtidos para a *Normalização* encontram-se normalizados de acordo com os valores médios associados a um cidadão europeu em função de cada categoria de impacto ambiental. Conforme anteriormente referido, cada valor médio é determinado dividindo o valor total do impacto ambiental produzido pela Europa numa categoria, pelo número de cidadãos europeus. O inverso deste valor é designado por factor de normalização, que multiplicado pelo respectivo valor obtido na *Caracterização* indicamos os valores associados à *Normalização*.

Tabela 10 – Valores obtidos na normalização do sistema ECAL.

Categoria	Factor de Normalização	Alumínio TPA	Cartão TPA	LPDE TPA	Transf.	Transp.	Enchimento	Total
E. Estufa	$7,42 \times 10^{-5}$	$4,19 \times 10^{-4}$	$4,64 \times 10^{-4}$	$4,94 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-6}$	$1,30 \times 10^{-4}$	$5,13 \times 10^{-4}$	$2,02 \times 10^{-3}$
C. Ozono	1,24	$4,11 \times 10^{-7}$	$2,03 \times 10^{-6}$	$4,57 \times 10^{-6}$	$1,18 \times 10^{-8}$	0	$1,49 \times 10^{-6}$	$8,51 \times 10^{-6}$
Acidifi.	$8,88 \times 10^{-3}$	$4,12 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-4}$	$4,36 \times 10^{-4}$	$1,12 \times 10^{-6}$	$2,31 \times 10^{-4}$	$4,45 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-3}$
Eutrofi.	$2,62 \times 10^{-2}$	$4,28 \times 10^{-5}$	$5,60 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$3,05 \times 10^{-7}$	$1,20 \times 10^{-4}$	$1,31 \times 10^{-4}$	$4,68 \times 10^{-4}$
M. Pesados	$1,78 \times 10^1$	$5,16 \times 10^{-4}$	$2,12 \times 10^{-4}$	$1,85 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-7}$	$2,32 \times 10^{-6}$	$3,02 \times 10^{-3}$	$3,93 \times 10^{-3}$
Carcino.	$1,06 \times 10^2$	$2,84 \times 10^{-3}$	$8,14 \times 10^{-5}$	$7,15 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-8}$	$2,79 \times 10^{-7}$	$2,40 \times 10^{-6}$	$2,94 \times 10^{-3}$
S. Inverno	$1,06 \times 10^{-2}$	$5,55 \times 10^{-4}$	$2,64 \times 10^{-4}$	$3,57 \times 10^{-4}$	$9,22 \times 10^{-7}$	$2,24 \times 10^{-5}$	$4,32 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-3}$
S. Verão	$5,07 \times 10^{-2}$	$1,65 \times 10^{-4}$	$1,23 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-3}$	$2,55 \times 10^{-6}$	$1,38 \times 10^{-4}$	$7,39 \times 10^{-4}$	$2,21 \times 10^{-3}$
Pesticidas	1,21	0	0	0	0	0	0	0
Energia	$6,29 \times 10^{-6}$	$7,85 \times 10^{-4}$	$7,71 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^{-3}$	$1,93 \times 10^{-4}$	0	$1,13 \times 10^{-2}$	$1,45 \times 10^{-2}$
R. Sólidos	$2,84 \times 10^{-4}$	$2,36 \times 10^{-4}$	$3,44 \times 10^{-4}$	$3,12 \times 10^{-5}$	$8,05 \times 10^{-8}$	0	$8,02 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-3}$

Na figura 16 encontra-se representado o impacto com que cada etapa contribui em cada categoria.

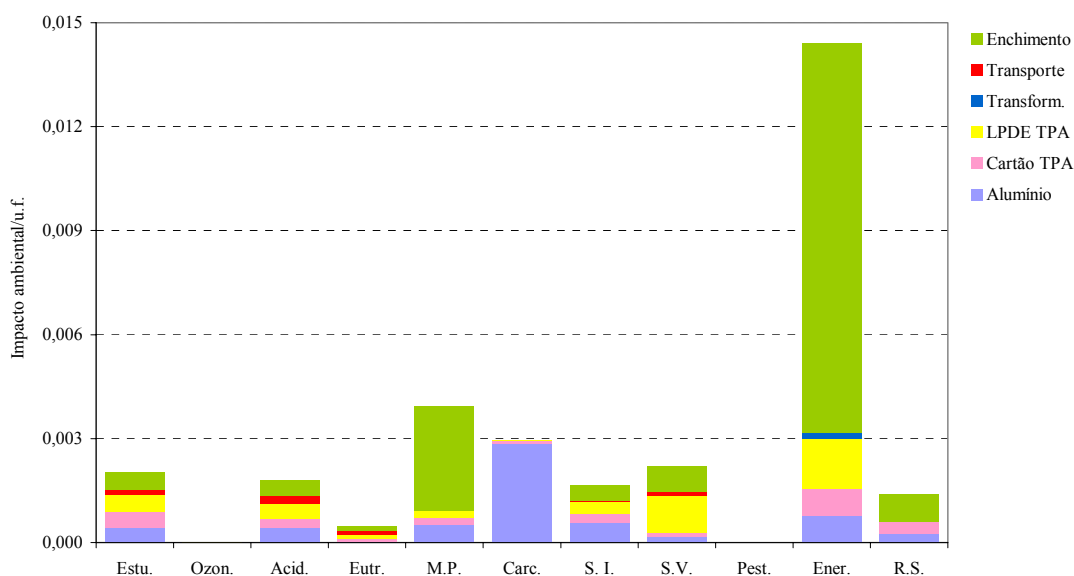


Figura 16 – Normalização do sistema ECAL.

3.3.4.1. Avaliação/interpretação de Resultados – Sistema ECAL

Na figura 15 (Caracterização ECAL) observa-se que, para a categoria de Carcinogenia contribui, com uma enorme percentagem, a fase de fabrico de alumínio.

Esta fase também exerce influência nas categorias de *Smog* de Inverno, Acidificação, Efeito de Estufa, Resíduos Sólidos e Metais Pesados.

O fabrico de cartão TPA (da embalagem primária) contribui, por ordem decrescente de importância, nas categorias de Resíduos Sólidos, Depleção do Ozono, Efeito de Estufa, *Smog* de Inverno, Acidificação e Eutrofização.

A fase que mais contribui para as categorias de Depleção do Ozono e de *Smog* de Verão é o fabrico de PEBD da embalagem primária. Esta fase tem também alguma expressão nas categorias de Efeito de Estufa, Acidificação, Eutrofização, *Smog* de Inverno e Energia.

A transformação das embalagens é a fase que menos contribui para qualquer uma das categorias de impacto ambiental, com excepção da de Energia, onde apenas a fase de transporte não tem qualquer contribuição.

A categoria de impacto onde a fase de transporte tem maior relevo é na Eutrofização, seguida das categorias de Acidificação, Efeito de Estufa e *Smog* de Verão.

O enchimento é a fase que mais influencia as categorias de Metais Pesados, Energia e Resíduos Sólidos. Esta fase também assume algum relevo nas restantes categorias, com excepção da de Carcinogenia.

Da normalização dos valores obtidos na caracterização, conclui-se, a partir da figura 16, que os impactos ambientais associados ao ciclo de vida das embalagens de cartão para alimentos líquidos são mais acentuados, por ordem decrescente, nas seguintes categorias: Energia, Metais Pesados e Carcinogenia. O Efeito de Estufa, Acidificação e *Smog* de Verão também têm valores significativos.

A partir de factores de ponderação definidos pelo modelo “Eco-indicador 95”, obtém-se os ecoindicadores correspondentes a cada fase importante do sistema ECAL, permitindo assim concluir qual é a mais desfavorável em termos ambientais. Assim, analisando a tabela 11 e a figura 17 é possível concluir que a produção de alumínio é a fase que mais contribui para o impacto ambiental global deste sistema. Para tal desempenho contribui maioritariamente a categoria de carcinogenia, a qual é penalizada pelos factores de ponderação adoptados pelo modelo escolhido. Este facto serve para

comprovar, mais uma vez, o carácter subjectivo deste tipo de indicadores, mesmo quando se compara dois sistemas.

Tabela 11 - Valores obtidos após avaliação do sistema ECAL.

Categoria	Factor de Avaliação	Alumínio TPA	Cartão TPA	PEBD TPA	Transf.	Transp.	Enchimento	Total
E. Estufa	2,5	$1,05 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-3}$	$1,24 \times 10^{-3}$	$3,19 \times 10^{-6}$	$3,26 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-3}$	$5,06 \times 10^{-3}$
C. Ozono	100	$4,11 \times 10^{-5}$	$2,03 \times 10^{-4}$	$4,57 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-6}$	0	$1,49 \times 10^{-4}$	$8,51 \times 10^{-4}$
Acidifi.	10	$4,12 \times 10^{-3}$	$2,78 \times 10^{-3}$	$4,36 \times 10^{-3}$	$1,12 \times 10^{-5}$	$2,31 \times 10^{-3}$	$4,45 \times 10^{-3}$	$1,80 \times 10^{-2}$
Eutrofi.	5	$2,14 \times 10^{-4}$	$2,80 \times 10^{-2}$	$5,92 \times 10^{-4}$	$1,53 \times 10^{-6}$	$5,99 \times 10^{-4}$	$6,54 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-3}$
M.Pesados	5	$2,58 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-3}$	$9,27 \times 10^{-4}$	$6,65 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-2}$	$1,97 \times 10^{-2}$
Carcino.	10	$2,84 \times 10^{-2}$	$8,14 \times 10^{-4}$	$7,15 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-7}$	$2,79 \times 10^{-6}$	$2,40 \times 10^{-5}$	$2,94 \times 10^{-2}$
S. Inverno	5	$2,77 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-3}$	$1,79 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-6}$	$1,12 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-3}$	$8,16 \times 10^{-3}$
S. Verão	2,5	$4,12 \times 10^{-4}$	$3,08 \times 10^{-4}$	$2,62 \times 10^{-3}$	$6,38 \times 10^{-6}$	$3,44 \times 10^{-4}$	$1,85 \times 10^{-3}$	$5,53 \times 10^{-3}$
Pesticidas	25	0	0	0	0	0	0	0
Energia	0	0	0	0	0	0	0	0
R. Sólidos	0	0	0	0	0	0	0	0

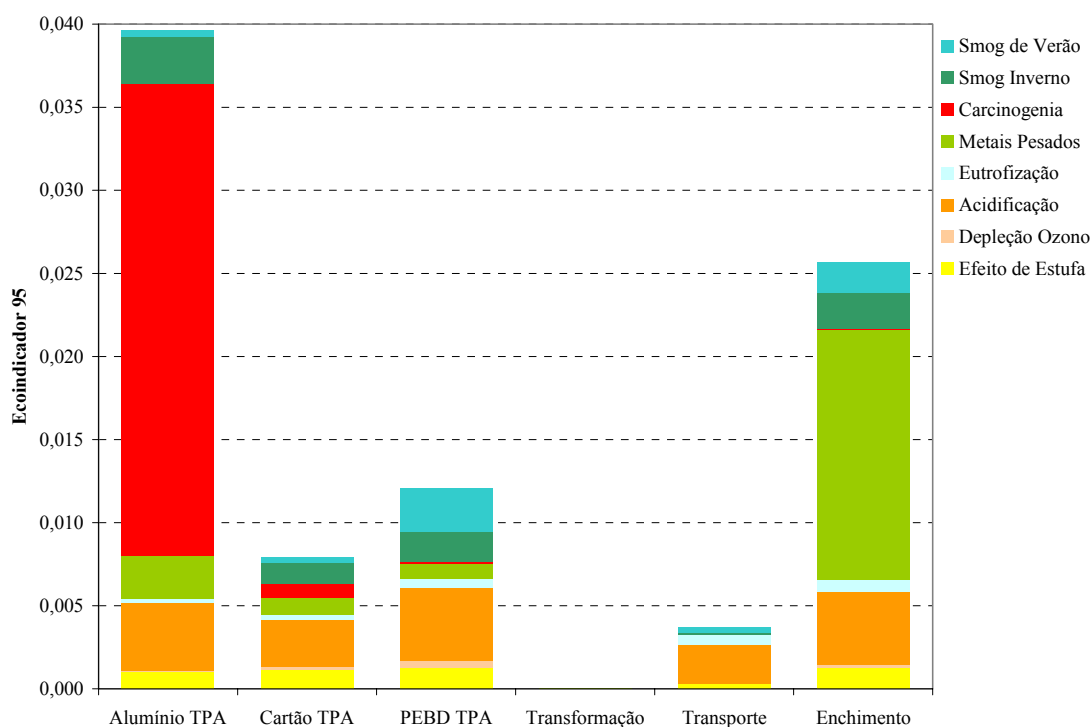


Figura 17 – Comparação dos ecoindicadores das fases principais do sistema ECAL.

Considerando que o enchimento é uma das fases com maior impacto no ciclo de vida das embalagens de cartão para alimentos líquidos, apresenta-se graficamente os valores relativos à normalização da subdivisão da referida fase.

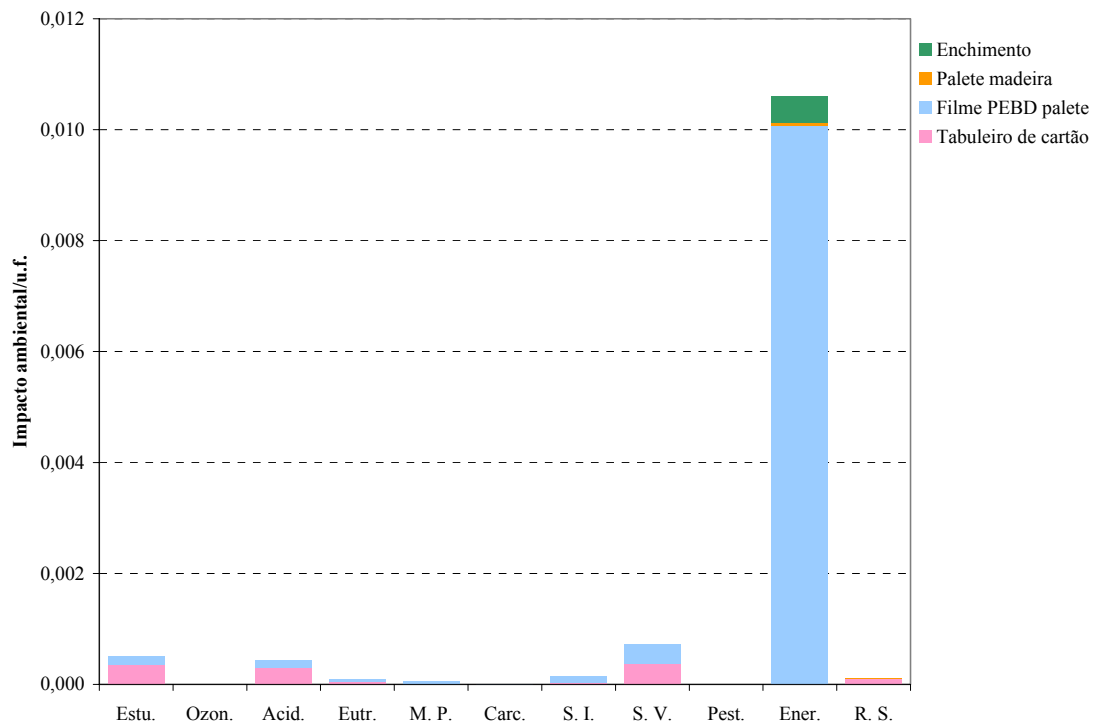


Figura 18 – Normalização da fase de enchimento das embalagens ECAL.

Observa-se que a categoria que acarreta maior impacto na fase global de enchimento é a de Recursos Energéticos, sendo que o maior contributo provém da etapa de produção de filme de PEBD. A etapa que menos contribui para o desempenho ambiental da fase de enchimento é a produção das paletes de madeira não retornáveis.

4. Conclusões

4.1. Comparação entre os dois sistemas

Comparando os gráficos das figuras 9 e 16 (normalização PET e ECAL), verifica-se que o sistema ECAL só tem maior impacto ambiental que o PET em termos de carcinogenicidade. Nas restantes categorias de impacto o sistema ECAL é claramente mais vantajoso. Por outro lado, a fase de transporte, comum a ambos os processos, acarreta um maior impacto no sistema PET do que no sistema ECAL, já que no primeiro caso, e para o mesmo tipo de camião, é transportada (por camião) até ao local de enchimento, uma quantidade inferior de embalagens.

A fase de enchimento, também existente nos dois processos, é a que mais contribui para a categoria de Resíduos Sólidos, uma vez que nesta etapa entram, para além das embalagens primárias, os componentes necessários ao acondicionamento destas, de forma a serem transportadas até às instalações de enchimento. Assim, à saída estes componentes são considerados desperdícios sólidos (que podem ter diversos destinos).

- *ECO – Indicador*

Efectuando a soma ponderada dos valores correspondentes a cada uma das categorias consideradas, obtém-se o seguinte resultado.

Tabela 12 – Valores obtidos para os ecoindicadores do sistema PET e ECAL.

Categoria	Factor de Ponderação	PET	ECAL
E. Estufa	2,5	$2,11 \times 10^{-2}$	$5,06 \times 10^{-3}$
C. Ozono	100	$5,20 \times 10^{-3}$	$8,51 \times 10^{-4}$
Acidificação	10	$1,41 \times 10^{-1}$	$1,80 \times 10^{-2}$
Eutrofização	5	$1,65 \times 10^{-2}$	$2,34 \times 10^{-3}$
M. Pesados	5	$4,14 \times 10^{-2}$	$1,97 \times 10^{-2}$
Carcinogenicidade	10	$8,05 \times 10^{-4}$	$2,94 \times 10^{-2}$

S. Inverno	5	$5,61 \times 10^{-2}$	$8,16 \times 10^{-3}$
S. Verão	2,5	$9,04 \times 10^{-2}$	$5,53 \times 10^{-3}$
Pesticidas	25	0	0
Energia	0	0	0
R. Sólidos	0	0	0

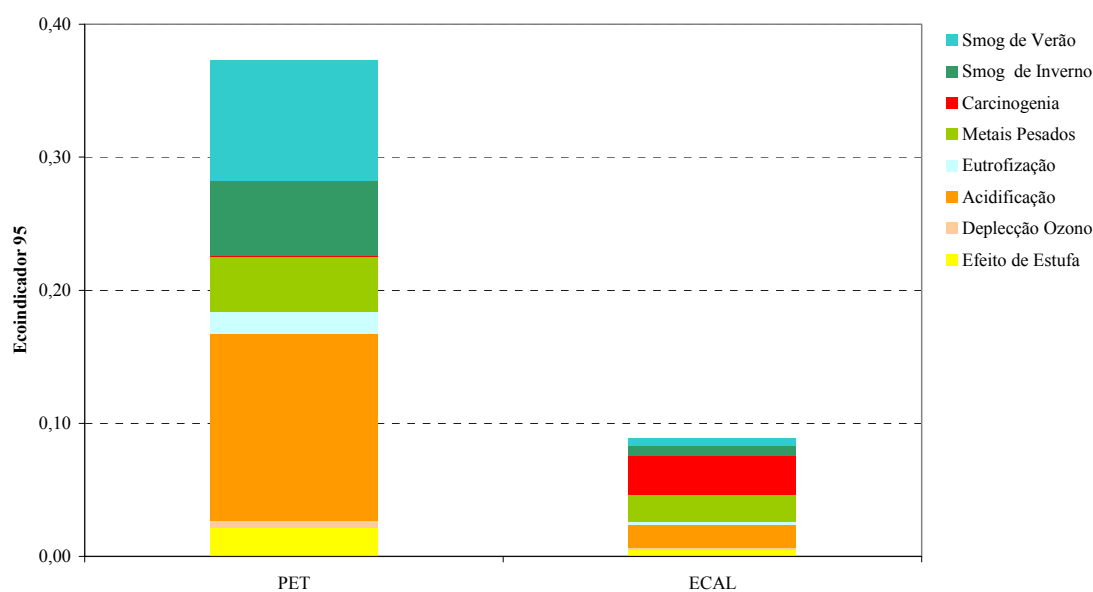


Figura 19 – Comparação dos ecoindicadores associados ao ciclo de vida das garrafas PET e ao das embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL).

A figura 19 demonstra que o impacto global relativo ao *sistema PET* é muito superior ao do *sistema ECAL*. É possível observar que o impacto associado a cada uma das categorias é sempre superior no caso das garrafas *PET*, com exceção da categoria de Carcinogenia onde o impacto é bastante inferior ao do *sistema ECAL*.

Assim, para as fronteiras e condições consideradas e, para o modelo de avaliação de impacto escolhido (“*Eco-indicador 95*”), conclui-se que entre os dois sistemas estudados o *sistema ECAL* é aquele que apresenta menor impacto ambiental global.

Deve-se ter em consideração que os resultados encontrados poderiam ser diferentes se as fronteiras dos sistemas fossem alargadas (completando, por exemplo, o

diagrama de blocos da figura 3), e/ou se as condições consideradas fossem alteradas, ou ainda se fosse escolhido outro modelo de Avaliação de Impacto Ambiental.

4.2. Sugestões Para Melhorar o Desempenho ambiental do Sistema PET

Uma vez que a produção da resina é a fase do ciclo de vida das garrafas PET com mais fraco desempenho ambiental (ver figura 10), então o primeiro passo a tomar para reduzir o impacto global do sistema PET seria o de tentar reduzir o impacto associado a esta fase. Uma solução possível seria a diminuição da quantidade de material empregue na produção de cada garrafa, ou seja, a diminuição do peso destas. Assim, tendo em conta o fim pretendido para este tipo de embalagem, deve-se encontrar um compromisso entre o peso e a resistência de cada garrafa.

Por outro lado, da análise da figura 11 conclui-se que seria possível melhorar o desempenho ambiental associado à fase global de enchimento se no final desta as garrafas não fossem agrupadas em 6 unidades (embalagem secundária), pois assim se reduziria o fabrico de filme de PEBD e de pegas de polipropileno dos *pack's*.

5. Agradecimentos

Eng.º José Sousa - Unicer

Eng.ª Cristina Costa - Unicer

Eng.º Paulo Freire – Unicer

Sr. Luís Melro – Unicer

Eng.º Alcides Gonçalves – Unicer

Eng.º Rogério Luís – Unicer

Eng.ª Ingrid Falcão – Tetra Pak (Portugal)

Eng.ª Vera Norte – Tetra Pak (Portugal)

Eng.ª Ana Coelho - Sumólis

Agradecimentos Especiais

Eng. Susana Xará – ESBUC

Erika Wallen – Tetra Pak (Suécia)

Roberto Subira – Amcor (Espanha)

6. Bibliografia

- [1] – ISO 14040 (1997). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, ISO 14000 International Standards Compendium, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.
- [2] - Ferrão, P.C., Introdução à gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida de produtos, IST press, Lisboa,1998;
- [3] - A.Gomes Castro, A.Sérgio Pouzada, *Embalagens para a Indústria Alimentar*, UTAD, Vila Real 1991.
- [4] - A. Barkman, C. Askham, L. Lundahl, E. Ækstad, *Investigating the life-cycle environmental profile of liquid food packaging systems*, Tetra Pak reports.
- [5] – www.tetrapak.com.br
- [6] – www.tetrapak.com
- [7] – www.pac-it.org.nz/resources
- [8] – www.frigoglass.com/site/pet_resin/m_frames.html
- [9] – www.pontoverde.pt
- [10] – www.spi.pt