

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

**Avaliação do Ciclo de Vida  
Da Rolha de Cortiça Natural**

Rui Pedro Moreira da Silva

Licenciado em Engenharia Química  
Pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos  
Requisitos do grau de mestre em  
Engenharia do Ambiente  
(Gestão e Tratamento de Resíduos Industriais)

Dissertação realizada sob a supervisão de  
Professora Doutora Belmira Neto,  
Do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
Da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Fevereiro 2009

## Agradecimentos

À Professora Doutora Belmira Neto orientadora desta tese de mestrado,  
pelo apoio e motivação emprestados.

À CorkSupply Portugal S.A. pela abertura à elaboração de um estudo desta natureza.

À Eng.<sup>a</sup> Ana Cristina Mesquita pela sua colaboração e disponibilidade.

À Dra. Liliana Santos pelo apoio e acima de tudo paciência e compreensão que  
tornaram possível a elaboração deste trabalho.

## Resumo

Portugal é líder mundial na produção de produtos de cortiça. A rolha de cortiça natural, usada como vedante de garrafa de vinho, é o produto principal da indústria corticeira. A produção nacional actual de rolhas de cortiça natural é de 3.500 milhões de unidades por ano, representando uma cota de cerca 70% da produção mundial. A rolha de cortiça natural, produto em foco nesta tese, é vulgarmente classificada como um produto natural, reciclável e biodegradável. No entanto, a avaliação dos impactes ambientais associados a este vedante, efectuada tendo por base o contexto nacional da exploração do sobreiro, da produção e comercialização da rolha de cortiça, não é conhecido.

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é aplicada, nesta tese, à rolha de cortiça natural, de forma a avaliar o impacte ambiental. O sistema estudado inclui a gestão florestal, preparação da cortiça, fabricação e acabamento, embalagem, transporte e gestão de fim de vida e a avaliação do impacte ambiental é realizada usando três métodos distintos de ponderação. O primeiro considera todos os problemas ambientais igualmente importantes; o segundo usa um método proposto por um painel de peritos e o terceiro, utiliza a metodologia “*distance to target*”. Os fluxos de entradas e saídas do sistema associado aos materiais e energia são estimados com base em informação disponibilizada por uma empresa nacional fabricante de rolhas de cortiça natural. Os resultados obtidos permitem identificar e avaliar os problemas ambientais para a situação corrente e para outras situações que envolvem a formulação de cenários que, de modo simples, visam a avaliação do impacte ambiental para três situações distintas da situação corrente. O primeiro cenário avalia uma alternativa ao processo de gestão de resíduos florestais corrente. O segundo cenário considera que a reciclagem é a única possibilidade para o fim de vida da rolha, e finalmente o terceiro cenário analisa os resultados obtidos por eliminação de uma das operações de produção específica da empresa que disponibilizou a informação processual.

Os resultados demonstram que a rolha de cortiça natural contribui para sete categorias de impacte ambientais. As quatro categorias que possuem uma importância relativa considerada significativa para o impacte ambiental são a Formação de Oxidantes Fotoquímicos, o Aquecimento Global, os Resíduos e a Acidificação. Os outros problemas como o Consumo de Recursos não Renováveis, Eutrofização e Toxicidade Humana possuem uma relevância comparativamente inferior. Os processos que mais contribuem para o impacte ambiental global são a Fabricação, o Fim de Vida e a Gestão Florestal. Os cenários formulados conduzem a reduções do impacte ambiental por comparação com o caso inicial. A maior redução é verificada para o cenário no qual se elimina uma das operações de produção, específica da empresa que disponibilizou a informação. Este cenário reduz o impacte ambiental global em relação ao caso inicial em 21%. Os outros cenários apresentam reduções de impacte de 13% (cenário que inclui uma alternativa para o processo corrente de gestão de resíduos florestais) e inferior a 1% (cenário que considera a reciclagem como única via para o fim de vida).

## Abstract

Portugal is the largest worldwide producer of cork products such as natural cork stoppers used as a closure for bottled still wines. Cork stoppers are the dominant product of the cork industry. The current national production of natural cork stoppers amounts to 3,500 million closures per year. This represents a share of about 70% of the worldwide cork stoppers' production. This figure presents an exportation value of about 850 million Euros.

The Life Cycle Assessment (LCA) methodology is applied in this thesis to cork stoppers in order to assess their environmental impact. The system analysed included forest management, cork preparation, manufacturing and finishing, packaging, transportation and end-of-life management. An indicator for the overall environmental impact is assessed by using three different weighting methodologies: considering all environmental problems equally important; using an expert panel method and using the distance to target methodology. The environmental impact is assessed by considering data available from a natural cork stoppers manufacturing company located in Portugal. Not only, does this study allow for the identification of the environmental problems associated with the life cycle of cork stoppers but it also analyses scenarios including either alternatives processes or waste management options. The three different scenarios analysed include: Scenario I) an alternative to the current management procedure for the forest's solid waste (controlled burning for wood wastes generated in the forest management), Scenario II) consideration of recycling as the only possible option for the end-of-life management of natural cork stoppers and finally Scenario III) evaluates the elimination of a specific production process used by the company that supplied the process data.

Results show that cork stoppers contribute to seven environmental problems. The most important ones are the production of Solid Waste, Global Warming, The Photochemical Oxidant Formation and Acidification. The other problems, the Abiotic Depletion, Eutrophication and Human Toxicity, have a comparatively lower importance. The processes that mostly contribute to the environmental are: Manufacturing, the End of Life and the Forest Management. From the analysis of the scenarios it is possible to conclude that they lead to a reduction of the calculated environmental impact, when compared to the initial case. The scenario III leads to a reduction of the overall environmental impact up to 21%. The other scenarios lead to reduction of 13% (Scenario I) and less than 1% (Scenario II).

# Índice

<b>ÍNDICE</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>V</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>I</b>
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS, ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE	2
<b>CAPÍTULO 2. O SECTOR CORTICEIRO E O AMBIENTE</b>	<b>5</b>
2.1. A IMPORTÂNCIA DO SECTOR CORTICEIRO	5
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SECTOR CORTICEIRO: ENFOQUE NO SUBSECTOR ROLHEIRO	7
2.3. O SUBSECTOR ROLHEIRO E O AMBIENTE	11
2.3.1. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA ROLHA DE CORTIÇA: ESTADO DA ARTE	11
<b>CAPÍTULO 3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL</b>	<b>15</b>
3.1. EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA DE ACV: SÍNTESE	15
3.2. A METODOLOGIA DE ACV	16
3.3. A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À ROLHA DE CORTIÇA NATURAL	17
3.3.1. DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO	18
3.3.2. UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA	18
3.4. INVENTÁRIO	34
3.4.1 GESTÃO FLORESTAL	36
3.4.2 PREPARAÇÃO DE CORTIÇA	38
3.4.3 FABRICAÇÃO E PRODUÇÃO	39
3.4.4 ACABAMENTO	42
3.4.5 FIM DE VIDA	43
3.4.6 TRANSPORTE EXTERNO E INTERNO	44
3.5. AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL	47
3.6. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	56
3.7.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE I: VARIAÇÃO DOS VALORES DOS DADOS DO INVENTÁRIO	57
3.7.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE II: VARIAÇÃO DOS FACTORES DE NORMALIZAÇÃO	59
3.7.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE CASOS COMBINADOS (ASC): VARIAÇÃO DOS VALORES DOS DADOS DO INVENTÁRIO	61
3.8. ANÁLISE DE CENÁRIOS	62
3.8.1. CENÁRIO I: QUEIMA CONTROLADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS NO PROCESSO DE GESTÃO FLORESTAL	62
3.8.2. CENÁRIO II: A RECICLAGEM COMO ÚNICA ALTERNATIVA PARA A GESTÃO DE FIM DE VIDA DAS ROLHAS DE CORTIÇA NATURAL	63
3.8.3. CENÁRIO III: ELIMINAÇÃO DO SUB-PROCESSO INNOCORK® (PROCESSO DE FABRICAÇÃO EXCLUSIVO DA EMPRESA QUE SERVIU COMO CASO DE ESTUDO).	64
3.8.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS CENÁRIOS I, II E III	64

<b><u>CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</u></b>	<b>67</b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b>71</b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR</u></b>	<b>78</b>
<b><u>ANEXO I – AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS: RESULTADOS DA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO</u></b>	<b>80</b>
<b><u>ANEXO II – ESTIMATIVA DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ASSOCIADO AO TRANSPORTE EXTERNO</u></b>	<b>83</b>
<b><u>ANEXO III – CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL EM FINAL DE VIDA (DEPOSIÇÃO EM ATERRO OU INCINERAÇÃO)</u></b>	<b>86</b>
<b><u>ANEXO IV – AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS RESULTADOS DO IMPACTE AMBIENTAL DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL.</u></b>	<b>90</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Organização da tese. ....	4
Figura 2. Estimativa da área de sobreiro para cada país produtor de cortiça. ....	5
Figura 3. Distribuição da floresta de exploração de cortiça em Portugal.....	7
Figura 4. Distribuição geográfica do número de trabalhadores pelos subsectores (preparador, transformador e aglomerador) da indústria corticeira nacional (%). ....	8
Figura 5. Cotas de exportação de produtos de cortiça.....	9
Figura 6. Principais países de destino das exportações portuguesas de rolhas de cortiça.....	9
Figura 7. Vias de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos para os cinco países maiores consumidores de vinho engarrafado e para o caso Português. ....	10
Figura 8. Etapas da metodologia da avaliação de ciclo de vida, definido em NP EN ISO 14040-2008.. ....	17
Figura 9. Processos do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.....	19
Figura 10. Representação esquemática do ciclo de vida completo da rolha de cortiça natural, com referência ao processo INNOCORK usado na empresa CorkSupply Portugal S.A.21	
Figura 11. Secção transversal de um sobreiro. ....	23
Figura 12. Caldeiras de cozedura de cortiça.....	24
Figura 13. Imagem de cortiça cozida com diferentes qualidades e calibres.....	25
Figura 14. Imagem do processo de Rabaneação. ....	26
Figura 15. Posição da Brocagem em relação à rabanada. ....	27
Figura 16. Imagem do tambor de Lavação.....	28
Figura 17. INNOCORK ®– Processo de desodorização e remoção de odores estranhos.....	30
Figura 18. Marcação a Tinta (esquerda) e Marcação por Indução térmica (direita). ....	31
Figura 19. Imagem do tambor de aplicação de Tratamento de Superfície. ....	32
Figura 20. Fluxos de cortiça desde a extracção da matéria-prima (cortiça de árvore) até à produção de rolhas para o sector corticeiro (rolheiro e granulador). ....	34
Figura 21. Entradas e saídas de materiais e energia do sistema em análise por sub-processo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.....	35
Figura 22. Resultados da etapa de Caracterização: Contribuição da UF (1000 rolhas de cortiça natural) para as sete categorias de impacte ambiental.....	52
Figura 23. Resultados da Análise Sensibilidade II. Resultados obtidos por utilização de Factores de Normalização para a região Mundo. Comparação de resultados entre o caso zero e os diferentes casos de sensibilidade para os três métodos usados na ponderação (MP1 a MP3). ....	60
Figura 24. Resultados calculados (por categoria de impacte ambiental) para o impacte ambiental (%) para os três cenários (Cenário I, II e III) quando em comparação com o caso zero e por utilização do método de ponderação 1 (MP1: Todos os problemas ambientais igual igualmente importantes). ....	66
Figura 25. Resultados calculados (por processo do ciclo de vida) para o valor do impacte (%) para os três cenários (Cenário I, II e III) em comparação com o caso zero usando o método de ponderação 1 (MP1: Todos os problemas ambientais igualmente importantes). ....	66

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Extração mundial de cortiça em cru (valores médios anuais) .....	6
Tabela 2. Consumo mundial de vinho global engarrafado em 2005.....	10
Tabela 3. Resultados do estudo ECOBILANCIO, 2006 em termos de problemas ambientais .....	13
Tabela 4. Resultados do estudo PWC/ECOBILAN, 2008 em termos de problemas ambientais.....	14
Tabela 5. Características físicas da rolha de cortiça natural.....	18
Tabela 6. Fluxos de Entrada e Saída do processo de Gestão Florestal por Unidade Funcional (UF).....	37
Tabela 7. Fluxos de entrada e saída do processo de Preparação de Cortiça por UF.....	38
Tabela 8. Características do efluente industrial.....	39
Tabela 9. Fluxos de entrada e saída do processo de Fabricação e Produção por UF.....	40
Tabela 10. Características do efluente industrial do sub-processo de Lavação.....	42
Tabela 11. Fluxos de entrada e saída do processo de Acabamento por UF.....	42
Tabela 12. Fluxos de entrada e saída do processo de Fim de Vida por UF.....	44
Tabela 13. Fluxos de entrada e saída do processo de Transporte Externo e Interno por UF.....	45
Tabela 14. Categorias de Impacte ambiental consideradas.....	48
Tabela 15. Factores de Caracterização.....	49
Tabela 16. Factores de Normalização para referencial Europa Ocidental .....	50
Tabela 17. Factores de Ponderação usados neste trabalho.....	51
Tabela 18. Contribuição relativa (%) da rolha de cortiça natural para cada categoria de impacte ambiental utilizando três metodologias de ponderação na avaliação d impacte ambiental...53	53
Tabela 19. Contribuição (%) de cada processo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural para o impacte ambiental tendo em conta três metodologias de ponderação distintas.....	54
Tabela 20. Contribuição relativa das emissões para o impacte ambiental total (IA) para cada processo o ciclo de vida da rolha de cortiça natural usando o método de ponderação 1.....	55
Tabela 21. Variação dos dados do inventário por processo e sub-processo.....	57
Tabela 22. Resultados da Análise Sensibilidade I (ASI): Variação (%) no valor do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação (MP) considerados. Apenas são apresentados os valores com variações superiores a 1% do valor de IA.....	59
Tabela 23. Análise de Sensibilidade II: Variação dos Factores de Normalização.....	59
Tabela 24. Resultados da Análise Sensibilidade II (ASII): Variação (%) nos resultados calculados do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação considerados (MP1, MP2 e MP3).....	61
Tabela 25. Análise de Sensibilidade de casos Combinados (ASC): Variação simultânea dos dados de inventário considerados significativos (casos combinados).....	61
Tabela 26. Resultados da Análise Sensibilidade de casos Combinados (ASC): Variação (%) do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação considerados (MP1, MP2 e MP3).....	62
Tabela 27. Factores de Emissão para queima não controlada e queima controlada em fornos a lenha.....	63
Tabela 28. Equações utilizadas para a estimativa de consumo de combustível no transporte terrestre, marítimo e aéreo.....	85
Tabela 29. Resultados da etapa de caraterização. Comparação com resultados apresentados por Ecobilancio, 2006 e PWC/ECOBILAN, 2008.....	90



## Glossário

**Apara de broca:** Parte restante da rabanada após brocagem.

**Bocados de cortiça:** Peças de cortiça virgem ou de reprodução cuja superfície é inferior a 400 cm<sup>2</sup>.

**Broca:** Máquina que serve a perfurar lâminas de cortiça e que utiliza um sistema de serras de diâmetro correspondente ao diâmetro dos discos a fabricar.

**Lenticelas:** Estruturas que atravessam o tecido suberoso e permitem as trocas gasosas entre a atmosfera e os tecidos vivos da árvore.

**Calços:** Partes da cortiça formadas na base do tronco, em contacto directo com o solo (chamados “zapatas” em Espanha).

**Corpo:** Peça cilíndrica em cortiça natural, constituída de uma ou mais peças, ou em cortiça aglomerada, obtida por extrusão, moldagem ou brocagem após moldagem, e objecto de transformação complementar para a fabricação da rolha.

**Cortiça Amadia:** Cortiça proveniente do terceiro descortiçamento, que perfaz cerca de 40/50 anos, sendo a de qualidade ideal para o fabrico de rolhas de cortiça natural.

**Cortiça crua:** Cortiça de reprodução que não foi submetida a nenhum tratamento depois da extracção.

**Cortiça de trituração:** Refugos cozidos resultantes da preparação da cortiça e/ou da sua transformação em rolhas.

**Cortiça em “raça” :** Cortiça preparada não classificada.

**Cortiça preparada:** Cortiça de reprodução, tendo sido já cozida, aplanada, seleccionada e eventualmente submetida a uma operação de "escolha" (usualmente designada por cortiça “em raça” ou traços”).

**Cortiça rolhável:** Cortiça apta para transformação em rolhas e destinada ao seu fabrico.

**Cortiça triturada:** Fragmentos de cortiça, de dimensões variadas, obtidos por trituração ou moagem da cortiça preparada ou trabalhada por talha.

**Cortiça virgem:** Cortiça proveniente do primeiro descortiçamento do tronco e dos ramos do sobreiro.

**Disco:** Peça cilíndrica em cortiça natural de espessura e diâmetro variáveis, obtida por corte no sentido perpendicular às camadas de crescimento da prancha de cortiça.

**Faceamento da cortiça:** formação de pranchas de cortiça de forma regular com o corte das faces de orientação para o fabrico de rolhas de cortiça natural.

**Fardo:** Conjunto de pranchas de cortiça preparada por classes visuais e calibres.

**Fuste:** Parte do caule desprovida de ramos, compreendida entre o solo e as ramificações principais

**Granulados:** Fragmento de cortiça, de dimensão variável, obtido por trituração ou moagem da cortiça preparada ou proveniente da fabricação de rolhas, e classificado por granulometria e massa volúmica. A granulometria poderá variar entre 0,25 e 8,0 mm.

**Indústria rolheira:** Indústria de transformação da cortiça em rolhas para vinhos tranquilos ou vinhos efervescentes, para bebidas gaseificadas, cidra, cerveja e bebidas espirituosas.

**INNOCORK®:** “Processo de redução de aromas estranhos, nomeadamente 2,4,6-Tricloanisol”, Numero de Patente: 1 444 075 B, Inventores: CorkSupply Portugal, S.A. e Instituto Superior Técnico.

**Mancha amarela:** Mancha amarelada que se desenvolve nas costas da cortiça, que eventualmente apresenta uma descoloração no tecido suberoso adjacente, podendo desenvolver um odor característico.

**Prancha:** Cortiça crua ou preparada, de qualidade e calibre susceptíveis de uma ulterior transformação por talha.

**Refugo:** Cortiça de reprodução, de baixa qualidade, não susceptível de ser transformada em rolhas.

**Rolha:** Produto obtido da cortiça e/ou de cortiça aglomerada, constituído por uma ou mais peças, destinado a vedar garrafas ou outros recipientes e a preservar o seu conteúdo.

**Rolha de cortiça aglomerada:** Rolha obtida por aglutinação de granulados de cortiça com aglutinantes, através de um processo de moldagem ou extrusão, e com uma granulometria compreendida entre 0,25 e 8 mm.

**Rolha de cortiça aglomerada com discos de cortiça natural, para vinhos tranquilos e vinhos “frisantes” (rolha técnica 1+1):** Rolha formada por um corpo em cortiça aglomerada e um ou dois discos de cortiça natural colados num ou nos dois topos.

**Rolha DIAM<sup>®</sup>:** Rolhas aglomerada onde o aglomerado sofreu um processo de extração de odores estranhos através da extração supercítica por CO<sub>2</sub>. (patente pertencente à empresa OENEO BOUCHAGE SAS).

**Traço / rabanada:** Peça obtida da cortiça preparada, e conseguida através de corte no eixo radial e sobre toda a espessura da prancha de cortiça e que apresenta a forma de um paralelepípedo rectangular.

## Capítulo 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

Às actividades económicas estão frequentemente ligados diversos factores que contribuem para o desenvolvimento sustentável, nomeadamente a protecção do ambiente. A exploração da floresta de cortiça ocupa uma vasta extensão nos países mediterrânicos. A área total ocupada é de cerca de 2,3 milhões de hectares repartida entre os países europeus (Portugal, Espanha, França e Itália) e do norte de África (Argélia, Marrocos e Tunísia). A relevância desta indústria é tal que a exploração estimada do sobreiro, na parte oeste do mediterrâneo, remonta a cerca de 300.000 toneladas de cortiça anuais (APCOR, 2008).

Os vedantes de cortiça para vinhos são o produto dominante da exploração do sobreiro. A bibliografia especializada demonstra o domínio dos vedantes para vinho, sendo que estes representam cerca de 49% do valor comercializado de produtos de cortiça (APCOR, 2008). Constata-se portanto que estes são os produtos com o maior valor acrescentado resultantes da transformação da cortiça.

A rolha de cortiça natural, produto em foco nesta tese, é vulgarmente classificada como um produto natural, reciclável e biodegradável. No entanto, a avaliação dos impactes ambientais associados a este vedante, efectuada tendo por base o contexto nacional da exploração do sobreiro, da produção e comercialização da rolha de cortiça, não está disponível na bibliografia revista. No entanto, a avaliação dos impactes, considerando as actividades que ocorrem ao longo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural, é importante para permitir identificar os problemas ambientais (categorias de impacte) que possam estar associados à rolha de cortiça natural. A avaliação dos impactes ambientais associados a um produto com uma grande expressão na exportação total mundial (cerca de 70% das rolhas de cortiça natural são produzidas em Portugal) é necessária num mercado que, apesar de outrora ser dominado pela falta de alternativas viáveis, dispõem agora de produtos alternativos que podem substituir a rolha de cortiça na utilização como vedante em garrafas de vinhos. Existem estudos que focam a vertente ambiental do produto rolha de cortiça mas a informação disponível está associada com a determinação da “pegada de carbono”. Neste estudo o levantamento ambiental tem por base apenas a identificação de emissão de gases com efeito de estufa e inclui apenas algumas fases do ciclo de vida, excluindo a fases relativas ao final de vida da rolha de cortiça (Forgues, 2007).

Outros estudos (ECOBILANCIO, 2006) incluem uma avaliação do ciclo de vida da rolha de cortiça, incluindo na análise as etapas que vão desde o descortiçamento, passando pela produção da rolha até ao fim de vida. Neste estudo é realizada uma avaliação mais completa dos impactes ambientais ao longo de todas as fases do ciclo de

vida, incluindo também as fases relacionadas com o fim de vida da rolha de cortiça natural. No entanto, os resultados obtidos reflectem a realidade italiana, relativa às operações realizadas durante as fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural. Embora as operações de fabrico possam ser semelhantes a Itália é responsável pela produção de apenas cerca de 5% da quantidade anual mundial de cortiça (APCOR, 2008). A utilização da fronteira geográfica Itália influencia de forma significativa os resultados obtidos. Os processos de fabricação e produção, transporte e fim de vida utilizam dados deste país, sofrendo por falta de representatividade para o sector rolheiro maioritariamente distribuído pela península ibérica. A distribuição das rolhas apenas para o mercado italiano também não é representativa uma vez que a Itália representa apenas 12% das rolhas colocadas no mercado. Este estudo também não apresenta um valor único para o impacte ambiental, ou seja, para este estudo a avaliação dos impactes é efectuada com base na etapa de classificação e caracterização sendo os resultados apresentados por indicador de impacte ambiental. As etapas de normalização e ponderação, previstas na norma ISO 14040 (14040 2008), não são realizadas para o estudo citado.

Estas situações corroboram a necessidade de realizar uma avaliação do impacte ambiental associado ao produto (rolha de cortiça natural) utilizando informação processual nacional. Não obstante, os resultados disponíveis no estudo anterior poderão ser usados para uma análise comparativa dos impactes ambientais, associados à rolha de cortiça natural, produzida em dois mercados distintos em termos de cota de mercado. As lacunas constatadas na bibliografia revista, relativa à avaliação do impacte ambiental da rolha de cortiça natural, conduz à necessidade de nesta tese ser quantificado, um indicador único, para o impacte ambiental da rolha de cortiça natural tendo em consideração todas as operações realizadas durante as fases do ciclo de vida (tipo berço-túmulo). Esta análise recorre a informação nacional relativa ao processo de exploração do sobreiro e manufactura da rolha e informação mundial relativa à distribuição pelos mercados e inerentes alternativas de fim de vida do produto em causa.

### **1.2. Objectivos, Estrutura e Organização da tese**

O objectivo desta tese visa a avaliação dos potenciais impactes ambientais causados durante o ciclo de vida da rolha de cortiça natural. A metodologia a ser utilizada prevê uma abordagem do tipo *cradle-to-grave* (berço-túmulo) e a informação processual usada é fornecida por uma empresa do sector rolheiro localizada no norte de Portugal. A informação utilizada está associada à tecnologia dos processos, aos consumos de materiais e às emissões de poluentes, resíduos sólidos e efluentes líquidos.

A quantificação do impacte permite a avaliação ambiental dos processos associados às fases do ciclo de vida do produto. Esta avaliação possibilita avaliar os problemas ambientais (categorias de impacte) causados durante o ciclo de vida da rolha de cortiça natural.

Alguns cenários simples, apresentando alternativas aos processos, correntemente implementados na situação nacional, são analisados por comparação com o caso zero (caso zero, onde a avaliação de impactes é efectuada para a situação corrente). Por fim são retiradas conclusões e confrontando-se os resultados obtidos neste estudo, com outros estudos disponíveis incidindo na avaliação do ciclo da rolha de cortiça natural.

Esta tese divide-se em cinco capítulos, tal como apresentado na Figura 1:

- Capítulo 1 - Introdução
- Capítulo 2 - O sector Corticeiro e o Ambiente
- Capítulo 3 - Avaliação do Ciclo de Vida da rolha de cortiça natural
- Capítulo 4 - Conclusões e Trabalho Futuro.

Neste capítulo (Capítulo 1) são definidos os objectivos, a estrutura e organização dos capítulos da tese.

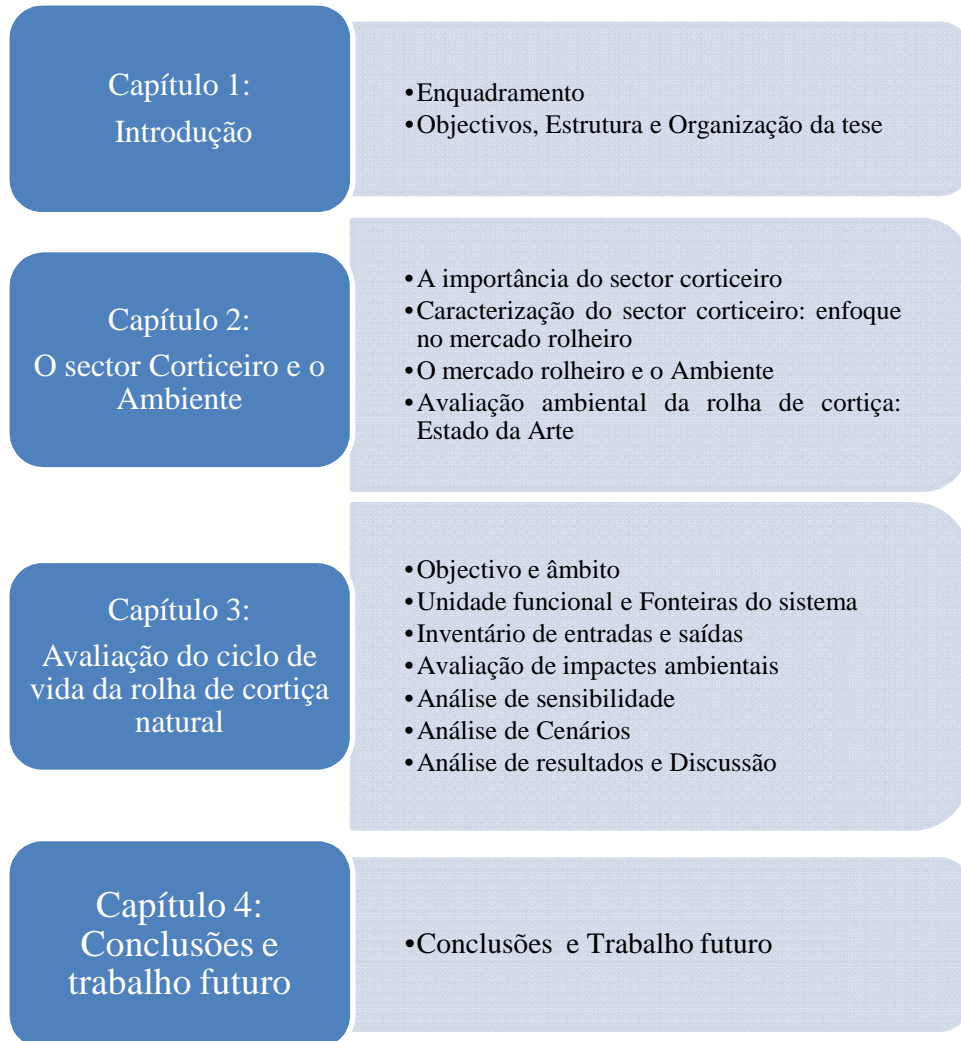
No Capítulo 2 é evidenciada a importância do sector corticeiro e subsector rolheiro para a economia nacional e internacional. São apresentadas algumas considerações sobre o subsector rolheiro e o ambiente, assim como é resumido o estado da arte em relação às avaliações ambientais realizadas para a rolha de cortiça natural. Como resultado é evidenciada a carência de informação sobre os impactes ambientais de rolhas de cortiça natural, assim como as limitações existentes nos estudos disponíveis sobre a avaliação ambiental de rolhas de cortiça.

No Capítulo 3 é efectuada uma breve referência a evolução da metodologia ACV e é apresentada a metodologia usada, seguindo o descrito na norma ISO 14040 (ISO 14040, 2008). Este capítulo inclui: a definição do objectivo e âmbito, a unidade funcional e as fronteiras do sistema, o inventário e a avaliação de impactes ambientais. O inventário das entradas e saídas de materiais e energia é elaborado com base em informação fornecida por várias origens (informação obtida através de uma empresa do sector localizada no norte de Portugal, informação recolhida da bibliografia apresentando estatísticas de exploração do montado de sobro e valores de produção e exportação da rolha de cortiça natural). A informação recolhida em termos de consumos de recursos naturais e emissão de poluentes para o ar, solo e água será usada para a avaliação dos impactes ambientais. A metodologia de avaliação de impactes ambientais inclui: a classificação, a caracterização, a normalização e a ponderação (onde são utilizados vários métodos). Objectiva-se a quantificação usando um indicador único agregado para o impacto ambiental. É também realizada uma análise de sensibilidade com vista a determinar a influência da variação dos parâmetros considerados significativos no resultado final.

Em seguida, neste capítulo, são formulados cenários que, de modo simples, visam a avaliação do impacto ambiental para três situações distintas da situação analisada anteriormente (caso zero). O cenário I visa avaliar a eventual alteração do valor do

impacte ambiental resultado de modificações introduzidas no processo de Gestão Florestal. O cenário II visa analisar uma situação onde a reciclagem é considerada como via alternativa na gestão de fim de vida das rolhas. Por último, o cenário III visa avaliar a influência da eliminação de um processo de fabricação da rolha que é exclusivo da empresa responsável pelo fornecimento da informação processual.

Finalmente, no Capítulo 4 são delineadas conclusões e apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros. Sempre que possível os resultados obtidos nesta tese são confrontados com outros resultados obtidos em estudos similares.



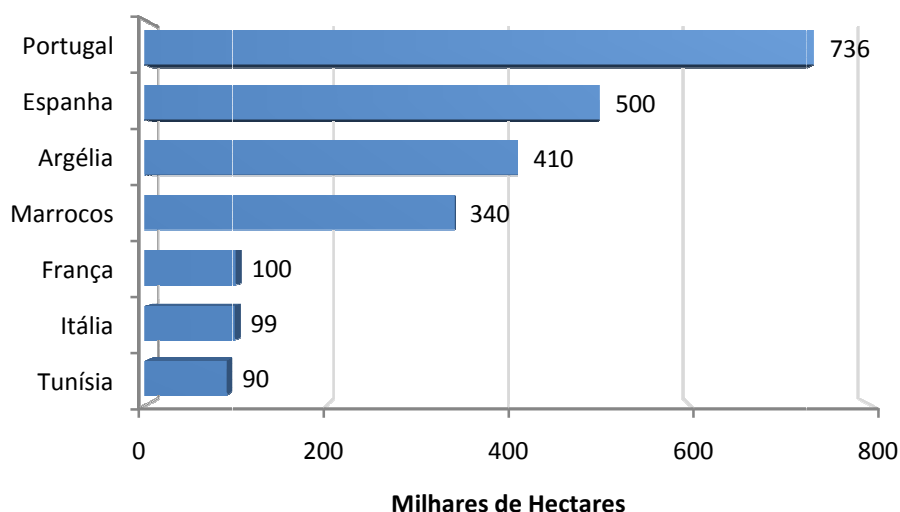
**Figura 1. Organização da tese.**

## Capítulo 2. O sector Corticeiro e o Ambiente

### 2.1. A importância do sector corticeiro

Nesta secção é incluída informação disponível de modo a caracterizar o sector corticeiro a nível mundial e afirmar o sector a nível nacional.

A exploração da floresta de cortiça ocupa uma vasta extensão nos países mediterrânicos ocupando uma área de cerca de 2.7 milhões de hectares. Em Portugal a área de exploração do montado de sobre Portugal é de aproximadamente 736.000 hectares (Figura 2). Este valor representa cerca de um terço da área mundial dedicada à exploração da floresta de cortiça. Em relação a valores nacionais a exploração de cortiça é realizada numa área de montado de sobre que representa cerca de 23% da floresta nacional (APCOR, 2008).



**Figura 2. Estimativa da área de sobreiro para cada país produtor de cortiça (dados de 2006) (APCOR, 2008).**

A cortiça é extraída em cinco países mediterrâneos e a sua extracção mundial ascende anualmente a valores aproximados de 340 mil toneladas. A liderança mundial portuguesa no sector é representada pelo facto de Portugal ser responsável de mais de metade (53%) da cortiça extraída actualmente, seguido pela Espanha que é responsável por cerca de 30% da extracção mundial (ver Tabela 1). O restante (cerca de um terço da extracção mundial) ocorre em países mediterrâneos como: Itália (5%), Argélia (5%), Marrocos (4%), Tunísia (3%) e França (1%) (APCOR, 2008).



**Tabela 1. Extracção mundial de cortiça em cru (valores médios anuais) (dados de 2007) (APCOR, 2002)**

<b>País</b>	<b>Extracção média anual (ton.)</b>	<b>%</b>
Portugal	157.000	52,9
Espanha	88.400	29,5
Itália	17.000	5,5
Argélia	15.000	5,2
Marrocos	11.000	3,7
Tunísia	7.500	2,5
França	3.400	1,1
<b>TOTAL</b>	<b>299.300</b>	<b>100</b>

Os trabalhadores da indústria corticeira correspondem a 25% do volume total de emprego no sector florestal (APCOR, 2000). A indústria transformadora de cortiça em Portugal desenvolveu-se originariamente em Silves, Évora, Azambuja e Setúbal, mas posteriormente o desenvolvimento do sector ocorreu no distrito de Aveiro onde finalmente se fixou a indústria rolheira. Actualmente, o distrito de Aveiro possui o maior número de trabalhadores do sector corticeiro. Cerca de 11 mil trabalhadores representam aproximadamente 73% dos 15 mil trabalhadores do sector a nível nacional. A posição líder do distrito de Aveiro é seguida de Setúbal (com 2722 trabalhadores), Faro (com 546) e Évora (com 275).

Portugal exporta actualmente perto de 900 milhões de euros por ano em produtos de cortiça. A maior cota de produção destina-se ao mercado externo (90% da cortiça produzida destina-se à exportação), e apenas 10% tem como destino o mercado interno. No universo nacional das empresas verifica-se que 40% das empresas portuguesas se dedicam à exportação. Reforçando a posição do mercado português, as estatísticas recentes confirmam que em termos globais cerca de 60% das transacções de cortiça a nível mundial têm origem em Portugal. Este valor eleva-se para cerca de 80% quando nos referimos a transacções de produtos já transformados (APCOR, 2008). A nível nacional, o valor das exportações portuguesas de cortiça representa cerca de 0,7 % do PIB (preços de mercado), 2,24 % do valor das exportações portuguesas e mais 33% do conjunto das exportações portuguesas de produtos florestais (APCOR, 2008).

O sector da cortiça é um caso especial na economia portuguesa pois é o único onde Portugal tem a primeira posição a nível mundial em vários domínios relacionados com a produção de matéria-prima, a produção de produtos transformados e nas exportações. Em relação à produção de matéria-prima, a liderança de Portugal já era um facto no último quartel do século XIX. Na indústria de manufactura o país possui uma cota de 60% do valor da produção mundial de produtos de cortiça transformados. Por último em relação às exportações o país contribui com mais de dois terços das exportações mundiais em volume de produtos transformados de cortiça (77% para os produtos semi-transformados; 82% para os produtos transformados de cortiça natural; 68% para os produtos aglomerados) (Mendes, 2002).

É importante salientar a posição do subsector rolheiro no mercado global de produtos de cortiça. Os vedantes de cortiça para vinhos são o produto dominante da exploração do sobreiro. As estatísticas de produção indicam que são anualmente produzidas cerca de 13 mil milhões de rolhas de cortiça natural e 1,5 mil milhões de rolhas de cortiça aglomerada, correspondendo a cerca de 49% do total de cortiça produzida (APCOR, 2008). O sector rolheiro compreende portanto mais de 75% do valor das exportações da indústria da cortiça (APCOR, 2008).

### 2.2. Caracterização do sector corticeiro: enfoque no subsector rolheiro

A caracterização do sector é necessária para a realização do estudo de ACV. Nesta secção são referidas as estatísticas existentes para caracterizar o sector corticeiro a nível nacional, assim como outras estatísticas (subsector rolheiro) consideradas.

A exploração do montado de sobreiro nacional é realizada maioritariamente no Alentejo (72% da exploração nacional). Lisboa e Vale do Tejo ocupam a segunda posição com 21% (Figura 3) (APCOR, 2008).

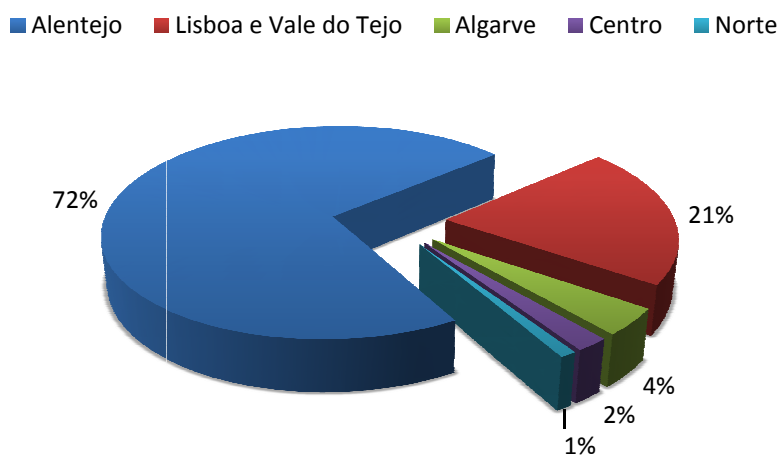


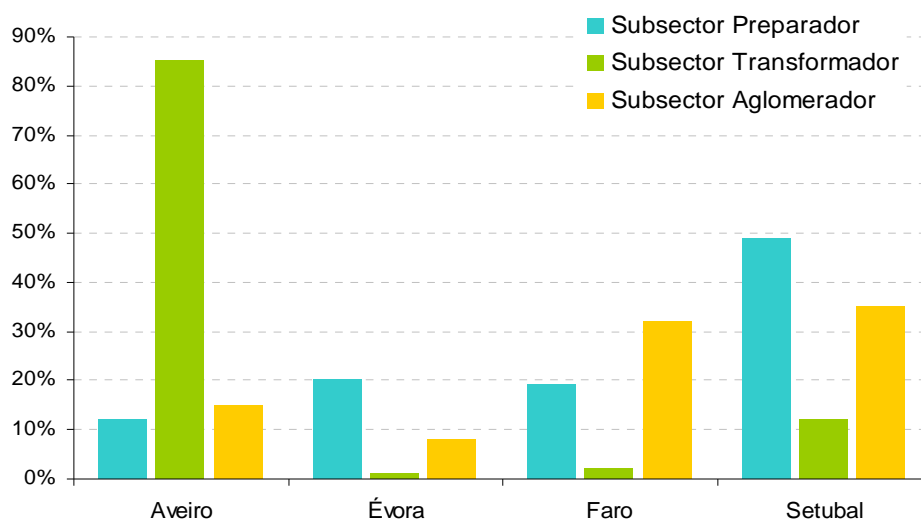
Figura 3. Distribuição da floresta de exploração de cortiça em Portugal (APCOR, 2008)

Apesar da exploração do montado ser efectuada no sul do país as empresas da indústria corticeira (incluindo os subsectores industriais de preparação, transformação e aglomeração) distribuem-se por doze distritos. No entanto, somente os distritos de Aveiro (incluindo essencialmente o concelho de Santa Maria da Feira) e de Setúbal são responsáveis por cerca de, respectivamente, 58% e 28% do total de trabalhadores do sector corticeiro (ver Figura 4).

Tal como referido anteriormente, a actividade na indústria corticeira inclui os subsectores: Preparador, Transformador e Aglomerador. O subsector Preparador inclui

as actividades de preparação de cortiça (especificamente cozedura, traçamento, enfardamento e estabilização da cortiça). Do subsector Transformador fazem parte as actividades associadas à manufactura da rolha de cortiça. Estas compreendem o fabrico e acabamento de rolhas naturais e técnicas (ver Glossário para definição). No subsector Aglomerador realizam-se actividades de aglomeração de produtos de cortiça com vista à produção de materiais para a construção civil, para o sector automóvel, aeronáutico, etc. Em resumo este subsector inclui a produção de produtos não vedantes.

Uma das características do sector corticeiro é a ligação entre subsectores. O subsector Aglomerador utiliza matéria-prima proveniente tanto do subsector Preparador (utilizando a cortiça considerada não-rolhável) como do subsector Transformador (com a utilização dos desperdícios de cortiça da produção de rolhas). O sector corticeiro é, por este facto, diversas vezes considerado como isento de resíduos, uma vez que a cortiça é aproveitada entre todos os subsectores (incluindo o pó de cortiça que pode ser utilizado como combustível para caldeiras das empresas do sector)



**Figura 4. Distribuição geográfica do número de trabalhadores pelos subsectores (preparador, transformador e aglomerador) da indústria corticeira nacional (%) (APCOR, 2006).**

As rolhas de cortiça natural lideram as exportações portuguesas de cortiça (ver Figura 5). A cota de exportação de rolhas de cortiça natural é de 49% (equivalente a cerca de 415 Milhões de Euros). Em seguida estão colocados os materiais de construção com uma cota de exportações de 20% (176 Milhões de Euros). A categoria *Outros produtos de cortiça* com 16% da cota de exportação (de cerca 135 milhões de Euros) inclui produtos para a indústria automóvel, aeronáutica. Existem também exportações de cortiça (1% da cota de exportações com cerca de 8 milhões de Euros) como matéria-prima para indústrias de transformação situadas em Espanha, Itália e França (APCOR, 2008).

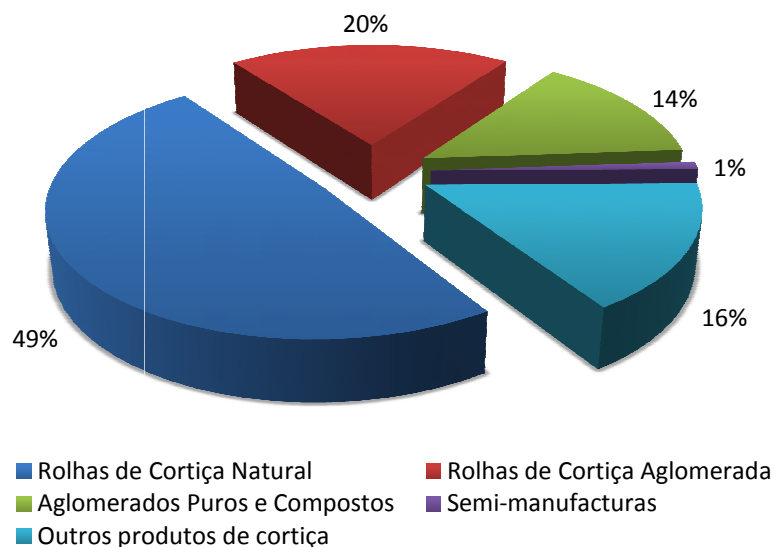


Figura 5. Cotas de exportação de produtos de cortiça (dados de 2007) (APCOR, 2008).

As rolhas de cortiça natural são essencialmente exportadas para países produtores de vinho. Os principais destinos das exportações portuguesas de cortiça são a França (21%), os EUA (16%), a Espanha (13%), a Alemanha (8%) e a Itália (8%) (ver Figura 6). Estes países recebem cerca de 70% das exportações nacionais, os restantes países, como por exemplo, a Austrália, a África do Sul ou Suíça recebem no total apenas um terço das exportações nacionais (APCOR, 2008).

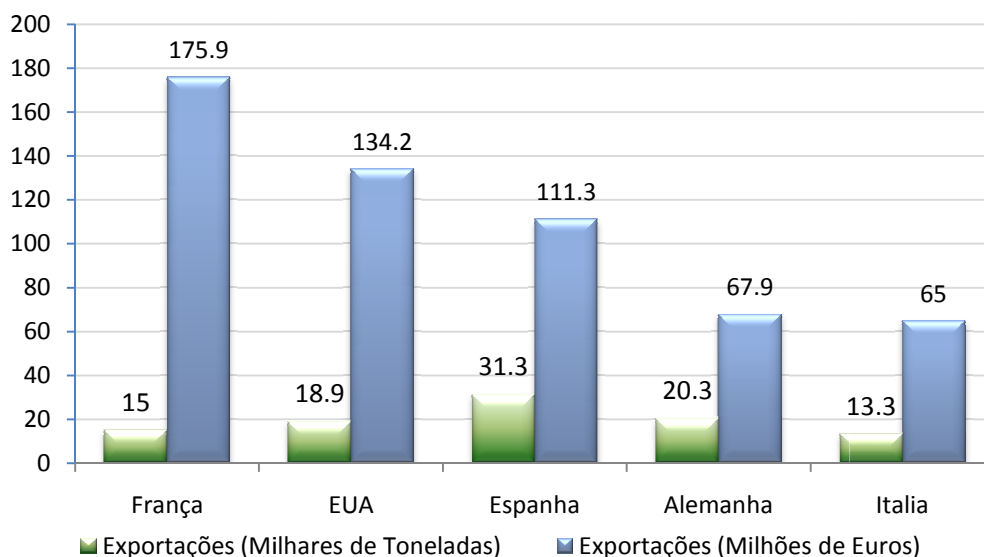


Figura 6. Principais países de destino das exportações portuguesas de rolhas de cortiça (dados de 2007) (APCOR, 2008).

De modo a confrontar os principais destinos das exportações portuguesas foi analisada qual a distribuição do consumo mundial de vinho (ver Tabela 2). Conclui-se que os principais países para onde são exportadas as rolhas de cortiça coincidem com os cinco principais países consumidores de vinho (representando cerca de 50% do consumo mundial).

Tabela 2. Consumo mundial de vinho global engarrafado em 2005. (Consumo mundial de vinho = 239 877 hectolitros) (Wine Institute, 2007).

País	Consumo de vinho (Hectolitros)	Cota de consumo (%)
<b>França</b>	34 000	14%
<b>Itália</b>	28 000	12%
<b>EUA</b>	25 529	11%
<b>Alemanha</b>	20 200	8%
<b>Espanha</b>	14 000	6%
China	12 000	5%
Argentina	11 500	5%
Reino Unido	11 500	5%
Rússia	8 500	4%
Roménia	6 000	3%
Austrália	5 000	2%
<b>Portugal</b>	<b>4 950</b>	<b>2%</b>

Um outro aspecto importante relacionado com a rolha de cortiça está relacionado com o seu destino de final de vida. A realidade nacional e internacional evidencia que a rolha de cortiça usada actualmente tem um destino idêntico ao dos resíduos sólidos urbanos. A Figura 7 apresenta as opções de gestão de RSU (resíduos sólidos urbanos) existentes para os principais países consumidores de vinho. É possível concluir que a gestão de resíduos sólidos urbanos passa em geral pela deposição em aterro, com excepção da Alemanha onde é predominantemente realizada a incineração de resíduos sólidos.

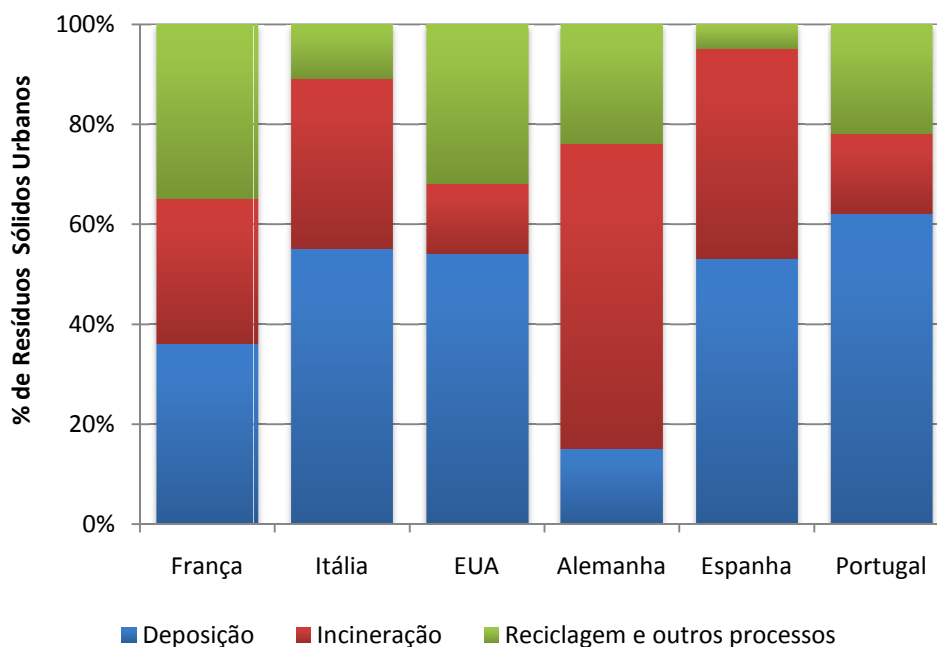


Figura 7. Vias de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos para os cinco países maiores consumidores de vinho engarrafado e para o caso Português (ano de 2007), (EEA, 2007).

## 2.3. O subsector Rolheiro e o Ambiente

A extracção regular da cortiça do sobreiro é um factor importante com vista à sustentabilidade dos montados. Os montados, como sistemas ambientais multifuncionais e estáveis, estão adaptados a uma exploração económica em harmonia com a protecção ambiental. O valor ambiental dos sistemas de montados de sobreiro está relacionado com o seu comportamento como barreira contra a desertificação. Entre outros factores estes povoamentos prestam serviços ecológicos importantes, alguns destes incluem a fixação do dióxido de carbono, a libertação de oxigénio, o aumento da taxa de infiltração das águas das chuvas no solo, a protecção contra a erosão dos solos, a criação de certos microclimas, a criação de *habitats* para diversos grupos florísticos e faunísticos, e a criação de áreas de lazer, aumentando a qualidade de vida das populações (Gil, 2000).

Apesar desta evidente componente de preservação ecológica associada aos produtos de cortiça, a crescente procura de produtos amigos do ambiente é evidente numa sociedade que cada vez mais se preocupa com as questões ambientais. Neste âmbito, a rolha de cortiça natural, como principal produto da exploração corticeira, carece uma avaliação ambiental. Esta avaliação permite identificar a carga ambiental de um produto que é reutilizável, reciclável, mas para o qual o impacto ambiental e, mais especificamente os problemas ambientais associados, são desconhecidos. Esta pesquisa revela-se importante para o sector corticeiro e rolheiro o qual poderá beneficiar da identificação dos problemas ambientais associados a um dos seus principais produtos (a rolha de cortiça).

### 2.3.1. Avaliação ambiental da rolha de cortiça: Estado da Arte

O número de estudos disponíveis na bibliografia visando a avaliação ambiental da rolha de cortiça não é vasto. No entanto, alguns dos estudos revistos visam a avaliação dos impactos ambientais da rolha de cortiça. Nestes estudos o objecto da avaliação é apenas a rolha de cortiça natural ou, a rolha de cortiça avaliada simultaneamente, por comparação, com outros vedantes alternativos para vinhos. Outros estudos, abordam apenas alguns dos problemas ambientais causados pela rolha de cortiça natural, como por exemplo, a avaliação da pegada de carbono, focando na avaliação das emissões de gases com efeito de estufa para as diferentes fases do ciclo de vida. Seguidamente, são apresentados estes estudos, identificadas as metodologias utilizadas na avaliação e resumidas as principais conclusões.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a ferramenta usada para quantificar os problemas ambientais de um produto, associados às distintas fases do seu ciclo de vida. A metodologia de ACV é descrita em normalização internacional (ISO 14040, 2008). As fases do ciclo de vida da rolha de cortiça incluem: a desbóia da cortiça virgem no sobreiro, a armazenagem, a preparação, fabricação, acabamento / o transporte para o

cliente engarrafador, a sua utilização, terminando com a sua eventual deposição na natureza como resíduo sólido.

Alguns estudos avaliam o impacto ambiental da rolha de cortiça natural, como por exemplo, o estudo de ECOBILANCIO (2006). Este estudo avalia ambientalmente o ciclo de vida da rolha de cortiça incluindo as etapas que vão desde o descortiçamento até ao seu fim de vida utilizando dados exclusivamente italianos na avaliação ambiental para todas as fases do ciclo de vida da rolha de cortiça. O estudo referido apresenta, no entanto, algumas limitações. Este estudo não considera o processo de Gestão Florestal na avaliação, no entanto, numa avaliação ambiental completa, este aspecto não deverá ser descurado. Um outro aspecto, está relacionado com a utilização da informação relativa aos fluxos de materiais e energia tendo como base a realidade italiana. A Itália possui uma área de sobreiro pouco significativa, em comparação com os restantes países exploradores do montado de sobre e, é apenas responsável por uma extracção de cerca 6% de cortiça (ver Figura 2 e Tabela 1). Consequentemente, a informação utilizada no estudo citado relativa aos fluxos de materiais e energia não é representativa da produção mundial de rolhas. Alguns exemplos destes factos estão associados aos valores do inventário usados para, por exemplo, estimar os valores de emissão de gases através dos factores de emissão que são característicos para cada país, os valores associados aos consumos de combustível e consequente emissão de poluentes associados ao transporte das rolhas (o estudo citado não considera a exportação). O estudo citado quantifica cada uma das categorias de impacto ambiental identificadas anteriormente recorrendo apenas à etapa de classificação/caracterização da norma ISO 14040 (ISO 14040, 2008). No entanto, esta norma prevê a inclusão na avaliação de impactes mais duas etapas: etapas de normalização e ponderação. Como resultado de uma avaliação de impactes ambientais mais completa, o impacto ambiental é quantificado num indicador único agregado para o sistema de produto.

A conclusão retirada do estudo, para as fronteiras do estudo consideradas, é que durante o seu ciclo de vida, a rolha de cortiça, contribuiu para nove categorias de impacto, nomeadamente: produção de gases com efeito de estufa, deterioração da camada de ozono, acidificação, eutrofização, metais pesados, “*Winter Smog*” (emissão de partículas e de SO<sub>2</sub>), formação de oxidantes fotoquímicos, consumo de energia primária e produção de resíduos sólidos (Tabela 3). Neste estudo, não é efectuada referência à metodologia adoptada para quantificação dos fluxos de materiais e energia e na avaliação do impacto ambiental.

**Tabela 3. Resultados do estudo em termos de problemas ambientais (ECOBILANCIO, 2006). Os resultados são expressos por unidade de rolha de cortiça natural.**

Problema ambiental	Indicador Ambiental	Unidade
Gases de Efeito de Estufa	7,08E-03	kg CO <sub>2</sub> eq
Deterioração da camada de Ozono	7,29E-10	kg CFC11
Acidificação	5,15E-05	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrofização	4,10E-06	kg PO <sub>4</sub> .eq
Metais pesados	2,14E-08	kg Pb eq
“Winter Smog” (Emissão de partículas e de SO <sub>2</sub> )	3,89E-05	kg PM
Formação de oxidantes Fotoquímicos	5,85E-06	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Consumo de energia primária	1,65E-01	MJ
Resíduos Sólidos	3,07E-03	kg

Um outro estudo recente visou uma avaliação da rolha de cortiça natural em comparação com vedantes alternativos de alumínio e plástico (PWC/ECOBILAN, 2008). Este estudo conclui que a rolha de cortiça natural, para os indicadores ambientais avaliados no estudo, tem um melhor desempenho ambiental. A rolha, em comparação com os vedantes de alumínio e plástico, é apresentada como a melhor alternativa em termos de consumo de energia não-renovável, de emissões de gases com efeito de estufa, na contribuição para a acidificação atmosférica, na formação de oxidantes fotoquímicos, na eutrofização de águas superficiais e para a produção total de resíduos sólidos. Tal como o estudo anterior, este estudo não inclui as etapas de normalização e ponderação previstas na norma (ISO 14040, 2008). Ou seja, não é calculado um indicador global de impacto para a rolha de cortiça natural. Ainda, este estudo considera que as rolhas produzidas em Portugal são unicamente exportadas para o Reino Unido. Consequentemente são apenas consideradas as opções existentes de final de vida neste país. Mas o Reino Unido não faz parte dos cinco principais destinos de exportação de rolhas (ver Figura 6) e também este mercado de consumo de vinho/rolhas apenas representa 5% da cota de consumo mundial (ver Tabela 2). Estes factos revelam que, neste estudo, os dados usados no inventário reflectem condições muito específicas de produção de rolhas em território nacional e exportação exclusiva para o Reino Unido. Os resultados obtidos incluem nove problemas ambientais diferentes (ver Tabela 4).

A partir dos resultados apenas poderemos concluir que durante o ciclo de vida e para as fronteiras do estudo consideradas, a rolha de cortiça, contribuiu para nove categorias de impacto, nomeadamente, gases com efeito de estufa, consumo de energia não renovável, consumo de água, acidificação atmosférica, formação de oxidantes fotoquímicos, eutrofização da água e para a produção de resíduos.



**Tabela 4. Resultados do estudo em termos de problemas ambientais (PWC/ECOBILAN, 2008). Os resultados são expressos por 1000 unidades de rolha de cortiça natural.**

Problema ambiental	Indicador ambiental <sup>1</sup>	Unidade
Gases de Efeito de Estufa	1533,7	g CO <sub>2</sub> eq
Consumo de água	25,6	m <sup>3</sup>
Contribuição para a Acidificação atmosférica	1,4	g H <sup>+</sup> eq
Contribuição para a Eutrofização	0,6	g PO <sub>4</sub> eq
Contribuição para a Formação de oxidantes Fotoquímicos	3,5	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Consumo de energia não renovável	102,2	MJ
Produção de Resíduos	3,7	Kg

<sup>1</sup> Calculado usando o software TEAM 4.5™, desenvolvido por ECOBILAN - PWC (2006).

Um outro estudo foca a avaliação da pegada de carbono da rolha de cortiça (Forgues, 2008). Neste estudo é realizada uma avaliação comparativa, das emissões de gases com efeito de estufa, para diferentes vedantes usados nas garrafas de vinho, incluindo as rolhas de cortiça, roscas de alumínio com diferentes percentagens (35% e 70%) de alumínio obtido por reciclagem na sua composição, e rolhas DIAM<sup>®</sup> (ver Glossário para definição). Os resultados revelam que a pegada de carbono para a rolha de cortiça natural é de 8 g CO<sub>2</sub>-eq. / rolha, para as rolhas DIAM<sup>®</sup> o valor é igual a 21 g CO<sub>2</sub>-eq., e, para os vedantes de alumínio o valor é de 52 e 36 g CO<sub>2</sub>-eq., respectivamente, para uma composição de 35% e 70% de alumínio reciclado. Neste estudo, foi utilizada a metodologia BILAN CARBONE<sup>®</sup>. Esta metodologia permite o cálculo das emissões de gases de efeito de estufa de um produto, serviço ou instituição/organização (ADEME, 2005).

Os três estudos revistos evidenciam algumas limitações e lacunas que justificam a elaboração de um trabalho de ACV sobre a rolha de cortiça natural, incluindo uma análise mais completa das fases do ciclo de vida do produto, uma visão mais global sobre a realidade de mercado e por consideração das várias alternativas de gestão de final de vida da rolha de cortiça. Um outro aspecto a salientar, está associado à necessidade da disponibilização de informação ambiental a um nível mais agregado, por avaliação dos impactes ambientais incluindo as etapas de classificação/caracterização, normalização e ponderação da norma ISO 14040 (2008).

## Capítulo 3. Avaliação do ciclo de vida da rolha de cortiça natural

### 3.1. Evolução da metodologia de ACV: Síntese

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) ou em inglês *LCA - Life Cycle Assessment*, surgiu nos anos 60 devido às crescentes limitações na disponibilidade de matérias-primas e de recursos energéticos, e na sequência da necessidade de encontrar maneiras de avaliar o uso de energia e de consumos de recursos (SAIC, 2006). O primeiro estudo visando uma ambiental do ciclo de vida de produtos surgiu, nos Estados Unidos, e foi designado na altura por uma Análise do Recursos e do Perfil Ambiental (em inglês: *Resource and Environmental Profile Analysis*). Este estudo, realizado para a empresa Coca-Cola, considera, para vários tipos de embalagens distintas, a energia, os materiais e as consequências ambientais da produção de embalagens desde a extracção de recursos naturais até à deposição de resíduos (Baumann e Tillman, 2004). Na Europa, este tipo de estudos eram designados por Balanço Ecológico (SAIC, 2006).

A crise petrolífera do início dos anos 70, juntamente com o aparecimento de interesses públicos no controlo de custos, incentivaram os grupos industriais a assegurar a exactidão da informação ambiental tornada pública. Vários estudos fazendo a avaliação ambiental de produtos foram realizados entre 1970 e 1975. Existem registos de 15 estudos de Análise do Recursos e do Perfil Ambiental (SAIC, 2006). No entanto, ao crescente volume de estudos realizados junta-se o facto de que os resultados obtidos nem sempre eram concordantes. No início da década de 90, as crescentes preocupações acerca do uso inapropriado dos resultados de ACV em programas de marketing e divulgação de produtos, acentuam a necessidade de normalização da metodologia. Surgem então, no período 1997-2002, as normas internacionais ISO da série 14000 que apresentam as etapas da metodologia a serem executadas no âmbito da realização de um estudo de avaliação do ciclo de vida.

A definição de ACV tal como definida na norma é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (NP EN ISO 14040, 2008). Este conceito considera todo o ciclo de vida de um produto (Curran, 1996). O termo de “ciclo vida” refere-se às actividades principais desde o processamento (fabricação), uso e manutenção e a eliminação final do produto, incluindo a aquisição da matéria-prima exigida para a sua produção. A ACV avalia todas as fases do ciclo de um produto, permitindo a avaliação dos impactes ambientais cumulativos resultantes de todos os estágios no ciclo de vida do produto.

A ACV permite avaliar os impactes ambientais potenciais associados a um produto, um processo, ou um serviço, através da inventariação da energia, materiais relevantes e emissões associadas ao produto. À avaliação dos impactes segue-se a interpretação de

resultados de forma a fornecer informação útil para a tomada de decisões que pode ser feita a vários níveis, permitindo por exemplo a escolha de um produto ou processo que provoque o menor impacto ambiental. Esta informação associada a outros factores, como o custo e o desempenho de forma a seleccionar um produto ou processo produtivo em detrimento de outro.

### 3.2. A Metodologia de ACV

A metodologia descrita na Norma NP EN ISO 14040 de 2008, baseia-se numa abordagem sistemática e faseada, e inclui quatro etapas, nomeadamente: definição de objectivo e âmbito, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação. O esquema das etapas metodológicas descrito da norma é apresentado na Figura 8. Seguidamente são descritas as principais etapas (NP EN ISO 14040, 2008):

- Definição do Objectivo e Âmbito - Define e descreve o produto, o processo ou a actividade. Estabelece o contexto em que a avaliação é realizada e identifica as fronteiras limites do sistema do produto.
- Análise de inventário – identifica e quantifica a energia, o uso da água e de materiais, assim como as emissões ambientais (por exemplo, emissões para o ar, deposição de resíduos, descargas de efluentes, etc.). Como resultado é obtido a caracterização ambiental do ciclo de vida, para posterior avaliação.
- Avaliação de impacto ambiental - avalia os potenciais efeitos humanos e ecológicos da utilização de recursos energéticos, de água e matérias-primas e, as emissões ambientais identificadas na análise de inventário. Como resultado é obtida informação clara sobre a influência do produto e dos seus processos de ciclo de vida, no impacto ambiental. Esta etapa prevê a realização de três passos com vista à obtenção de um indicador agregado de impacto ambiental. Estes passos são designados por Caracterização, Normalização e Ponderação.
- Interpretação - avalia os resultados da análise de inventário e avaliação de impacto. Analisa resultados, delinea conclusões, identifica limitações e proporciona recomendações baseadas nos resultados das fases anteriores da ACV. Esta fase tem como objectivo ainda a transmitir os resultados da avaliação de impacto ambiental de uma forma clara e transparente, em concordância com o objectivo e âmbito do estudo.

Esta etapa compreende ainda uma análise de sensibilidade, que visa estimar os efeitos das escolhas efectuadas, dos métodos e dados, nos resultados calculados do impacto ambiental

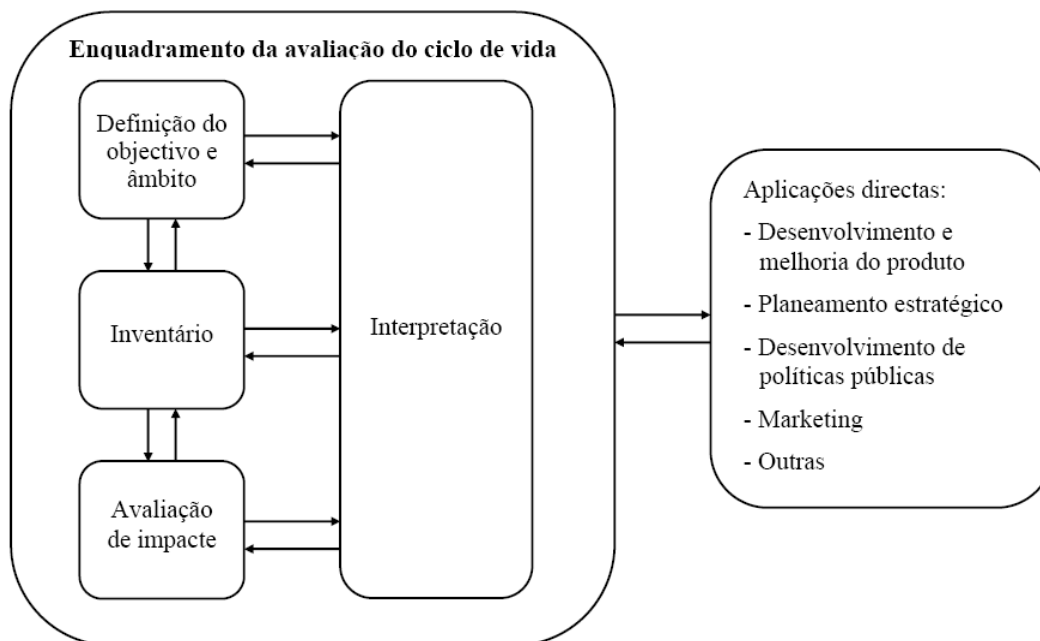


Figura 8. Etapas da metodologia da avaliação de ciclo de vida, definido em NP EN ISO 14040-2008. (ISO 14040, 2008).

Os resultados de ACV podem ter várias aplicações, nomeadamente, no desenvolvimento e melhoria do produto (melhoria do processo produtivo ou outros processos de forma a minimizar o impacte ambiental global), no planeamento estratégico (estudo poderá servir como ponto de partida para várias decisões de estratégia ambiental, energética, etc.), no desenvolvimento de políticas públicas (melhorando a integração da empresa ou organização no meio público) e com vista ao *marketing* (através da divulgação dos resultados de ACV de modo a melhorar a imagem pública de uma empresa ou organização).

### 3.3. A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada à rolha de cortiça natural

A rolha de cortiça natural é o vedante de garrafa de vinho mais utilizado em todo mundo. A predominância na utilização é devida à sua boa capacidade de vedação e impermeabilização. A estrutura celular da rolha atribui-lhe características particulares a nível da compressão, mantendo ao mesmo tempo, a sua impermeabilidade a líquidos.

Para além das propriedades mecânicas a rolha permite micro-trocas gasosas entre o vinho e o ar exterior possibilitando a ocorrência de fenómenos de oxidação (envelhecimento do vinho). Este facto torna a rolha parte integrante do produto comercializado e não apenas da embalagem.

Nesta tese é avaliado o impacte ambiental causado pela rolha de cortiça - vedante para vinho - ao longo do seu ciclo de vida e, recorrendo a informação específica da realidade

industrial relativa aos fluxos de materiais e energia. A recolha de informação usada foi essencialmente realizada por três métodos: através de entrevistas a entidades implicadas na exploração do montado de sobro (ex.: Produtores Florestais), através da medição de dados do processo numa empresa nacional (CorkSupply Portugal S.A.) cuja principal actividade é a produção de rolhas de cortiça natural e, por último, recorreu-se à informação bibliográfica, para por exemplo, identificar os principais mercados de exportação da rolhas e identificação, para esses mercados, das opções correntes na gestão de fim de vida das rolhas de cortiça natural.

Em seguida são descritas as etapas da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida descritas na Norma EN ISO 14040 -2008 (ISO 14040, 2008), nomeadamente: a definição do objectivo e âmbito (aqui são descritos e delineados a unidade funcional e fronteiras do sistema), a análise do inventário e a avaliação de impactes.

### 3.3.1. Definição do objectivo e âmbito

O objectivo desta tese centra-se na avaliação dos potenciais impactes ambientais associados ao produto (rolha de cortiça natural) incluindo a identificação das fases do ciclo de vida do produto que apresentam, comparativamente, um potencial impacte ambiental mais elevado. A metodologia de ACV a ser utilizada no trabalho prevê uma abordagem do tipo *cradle-to-grave* (berço ao túmulo) e a inventariação da informação processual tem por base a informação nacional relativa à tecnologia dos processos, consumos de materiais e emissões de poluentes. Este estudo visa a obtenção de um indicador único de impacte ambiental para o sistema em análise, para tal, recorre às etapas de Caracterização, Normalização e Ponderação.

### 3.3.2. Unidade Funcional e Fronteiras do sistema

Nesta tese é considerada como unidade funcional - 1000 rolhas de cortiça natural. Tal como referido anteriormente este tipo de rolha é a mais comercializada, possuindo uma cota de produção igual a 70% (CSP, 2007). As características físicas da rolha de cortiça natural são apresentadas na Tabela 5.

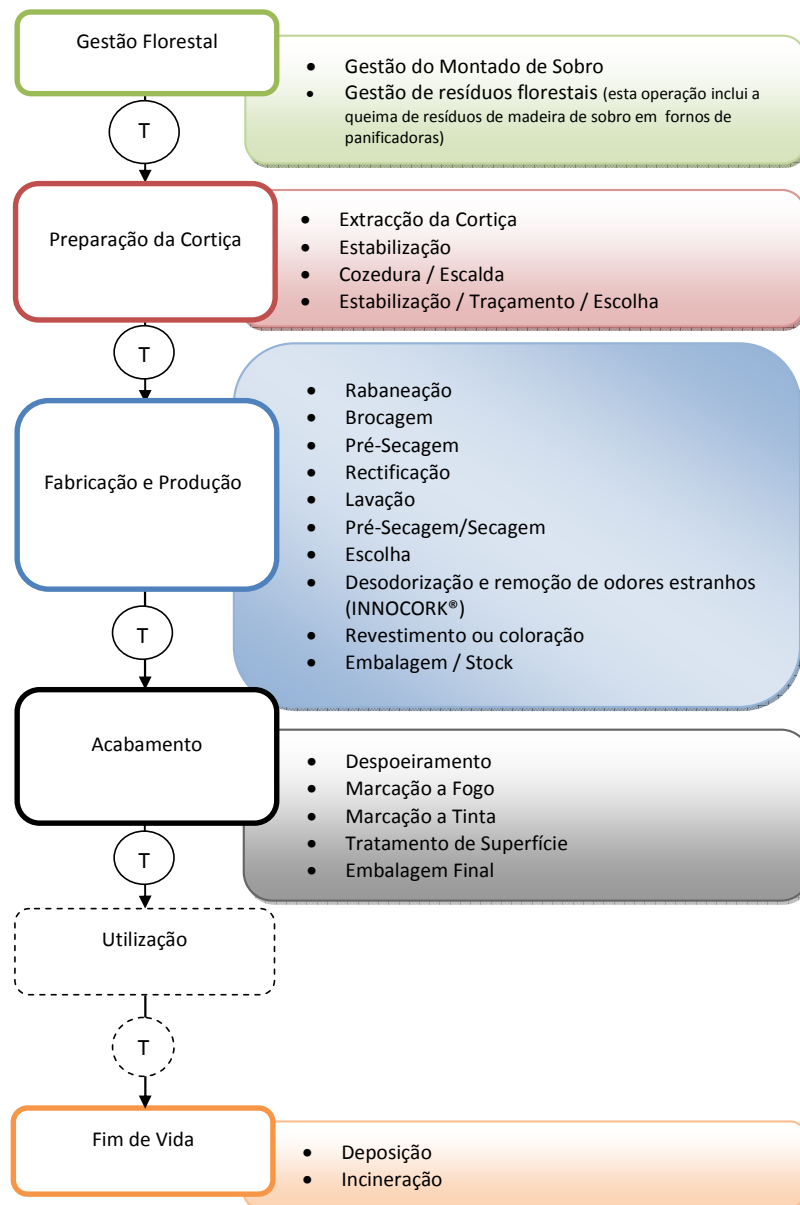
**Tabela 5. Características físicas da rolha de cortiça natural (CIPR, 2007).**

<i>Características da rolha de cortiça natural</i>	
Comprimento médio	45 mm
Diâmetro médio	24 mm
Tipo de Lavação	Lavação peróxido
Massa Volúmica Média (1000 Rolhas de cortiça natural)	120 – 220 kg/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>
Humidade média	5%

A massa volúmica apresenta uma gama de variação, devida à heterogeneidade da matéria-prima.

As fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural em estudo neste trabalho incluem a extracção da cortiça, a manufactura da rolha e as diferentes opções de fim de vida. Estas etapas compreendem alguns processos principais como a Gestão Florestal, a Preparação da Cortiça, a Fabricação e Produção, o Acabamento e o Fim de Vida. Para além destas fases sequenciais foram considerados sub-sistemas intervenientes no ciclo de vida da rolha de cortiça natural. Os sub-sistemas incluem a produção de energia eléctrica, a gestão dos resíduos produzidos na gestão florestal, o transporte realizado nas instalações fabris bem como o transporte de cortiça (matérias-primas, subprodutos e produtos em fim de vida).

A Figura 9 apresenta as fases do ciclo de vida em análise (detalhando as operações realizadas nessas fases) e também inclui os subsistemas de modo a delinear a fronteira do sistema em estudo.



**Figura 9. Processos do ciclo de vida da rolha de cortiça natural. (Nota: T = Transporte). Os processos representados por linha tracejada (Utilização e Transporte) foram excluídos do estudo.**

Neste estudo optou-se por separar as operações de acabamento de rolhas das operações de fabrico da rolha. Na indústria rolheira é comum considerar o processo de Acabamento em separado, devido à especificidade das operações realizadas. As operações de Acabamento são efectuadas pelas empresas que vendem directamente ao cliente engarrafador, representando apenas cerca de 5% das empresas do subsector rolheiro (APCOR, 2006). As restantes (cerca de 95% das empresas) realizam as actividades associadas à fabricação/produção de rolhas. A motivação pela separação está então associada apenas a questões de divisão empresarial e de negócio, não estando associada a uma divisão de operações relacionadas directamente com as distintas fases do ciclo de vida da rolha.

Neste estudo é incluído o transporte entre os diferentes processos. Sejam eles intra-empresariais, designados como transporte interno (realizados por empilhadores, etc.) ou inter-empresariais, designado como transporte externo (transporte de cortiça em cru, transporte de rolhas entre processos e transporte de rolhas até ao cliente final).

Este estudo não analisa o processo de Utilização. Apesar da sua eventual relevância, considerou-se que a quantificação de materiais e energia usados ou causados por esta fase possuem, comparativamente, pouco significado em face aos outros processos analisados.

A análise realizada exclui do seu sistema algumas operações que estão de um modo mais indirecto associadas ao produto - rolha de cortiça natural. Os processos excluídos compreendem eventuais impactes associados, ao transporte e destino final de subprodutos e resíduos de cortiça (como a apara de brocagem e rabaneação); às operações de engarrafamento e transporte de vinho engarrafado, os relacionados com a construção de edifícios, equipamentos e máquinas, a produção de materiais subsidiários (produtos auxiliares para a produção de rolhas de cortiça), e os potenciais impactes ambientais resultantes das actividades nas áreas administrativas e de controlo de qualidade.

Não é incluído na fronteira do sistema toda a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados durante o ciclo de vida da rolha de cortiça natural. Considera-se uma gestão adequada das embalagens geradas, assim como os restantes resíduos sólidos urbanos, não sendo contabilizados neste estudo.

A Figura 10 apresenta esquematicamente o ciclo de vida da rolha de cortiça natural.



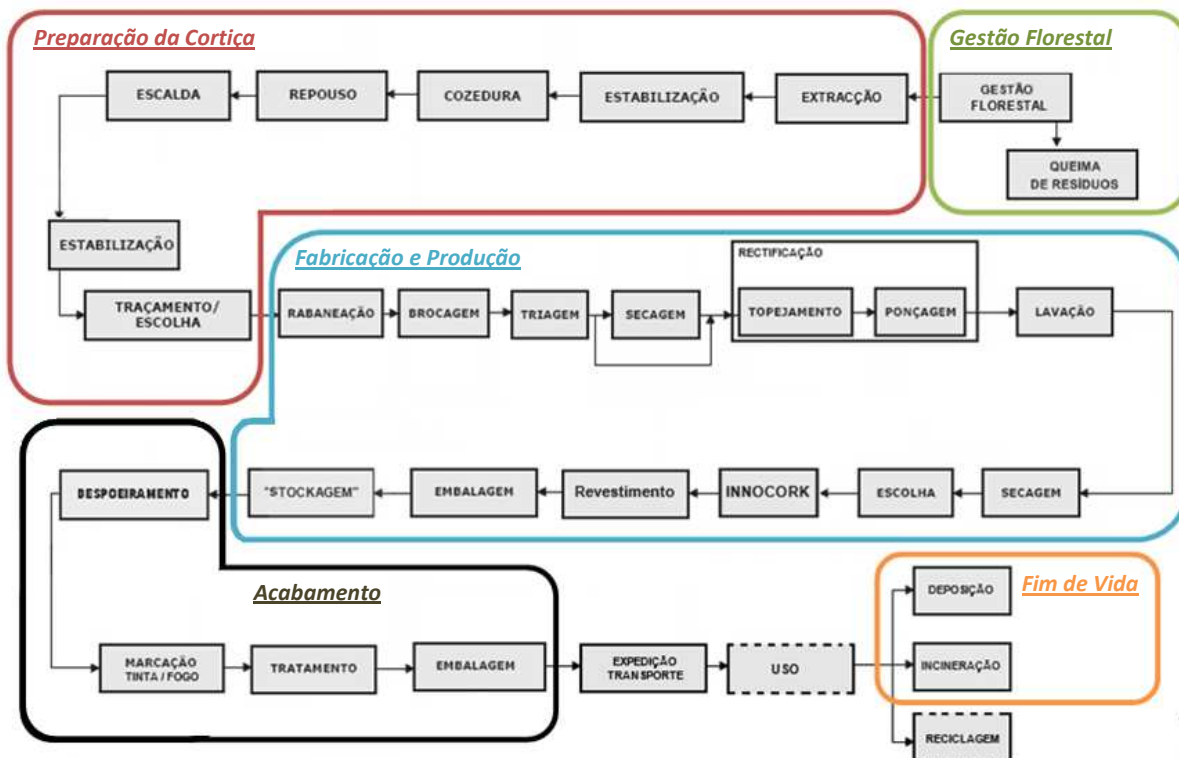


Figura 10. Representação esquemática do ciclo de vida completo da rolha de cortiça natural, com referência ao processo INNOCORK usado na empresa CorkSupply Portugal S.A. No esquema é incluindo os processos que vão desde a gestão florestal até às opções de fim de vida da rolha de cortiça natural (deposição, incineração e reciclagem).

### Processo de Gestão Florestal

Do processo de Gestão Florestal faz parte a o sub-processo de gestão do montado de sobreiro que inclui algumas actividades de manutenção, nomeadamente as podas, desbastes, corta-matos, gradagem, fertilizações e regeneração do montado. Inclui também a gestão dos resíduos florestais produzidos na gestão florestal, compreendendo o transporte de madeira de sobreiro, produzida nas operações de podas e desbastes, para queima em fornos das indústrias panificadoras.

Em seguida serão descritas as operações que integram o processo de Gestão Florestal.

### Gestão do Montado de Sobreiro

A cortiça é extraída de uma espécie vegetal, designada por *Quercus Suber L.*, esta árvore tem como *habitat* natural a bacia Ocidental do Mediterrâneo. Entre as várias características que distinguem o sobreiro das restantes árvores da sua espécie, sobressai a capacidade de se regenerar naturalmente após cada extracção da sua casca, vulgarmente designada por cortiça. Um sobreiro apresenta um tempo de vida entre os 170 e os 200 anos de idade, podendo durante este período, ser descortiçado cerca de 15 a 18 vezes.



A gestão dos montados de sobreiro compreende várias actividades de manutenção, incluindo nomeadamente a Poda, o Desbaste, o Corta-mato e Gradagem e a Fertilização. A actividade de **Poda** realiza-se duas a três vezes no ciclo de vida de um sobreiro. O principal objectivo desta operação centra-se na promoção do crescimento do fuste (ver Glossário para definição) em altura e sem ramos, equilibrando as suas dimensões relativas da copa do próprio fuste. A actividade de **Desbaste**, tradicionalmente executada de 9 em 9 anos (povoamentos novos) e de 15 em 15 anos (povoamentos adultos) tem como objectivo a eliminação das árvores doentes ou decrépitas, mal conformadas ou produtoras de cortiça de qualidade inferior. A actividade de **Corta-mato e Gradagem**, são operações de limpeza e manutenção de matas (Gil, 2006). O Corta-mato remove a vegetação rasteira do montado sem ocorrer qualquer mobilização de terras, mantendo assim a fonte de minerais fixados por este, disponíveis para a floresta sobreiral. O processo de Gradagem, por outro lado, apresenta vantagens como a diminuição do risco de incêndios, a diminuição do nível de compactação do solo, a redução de erosão no solo e permite manter algum equilíbrio nutricional, com a libertação de gás carbónico aprisionado.

Na **Fertilização** há adição de fertilizantes ao solo permitindo um melhor crescimento das árvores e um aumento da vitalidade das florestas suberícolas. As composições dos fertilizantes incluem cal, óxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), óxido de potássio ( $K_2O$ ), cálcio, magnésio e boro (Fonte: Produtores Florestais).

Na operação - *Gestão do Montado de Sobreiro* - são produzidos resíduos florestais. Estes resíduos, fundamentalmente constituídos por biomassa, e provenientes das operações de Poda, Desbaste e Corta-mato e Gradagem podem ter vários destinos. O mais comum será que o mato solto (Corta-mato e Gradagem) ficar depositado no montado da sua proveniência sofrendo decomposição e envolvido pelo solo. No entanto, o resíduo de madeira de árvore (da Poda e Desbaste), é usado em fornos de padarias ou fábricas de produção de carvão natural. Neste processo são consideradas as emissões causadas pelo uso de combustível nas motosserras utilizadas no desbaste e nos tractores utilizados para o corta-mato e gradagem.

O transporte e queima de resíduos de madeira de sobreiro são contabilizados neste estudo, sendo as emissões gasosas provenientes desta operação alocadas ao ciclo de vida da rolha de cortiça.

### **Preparação da cortiça**

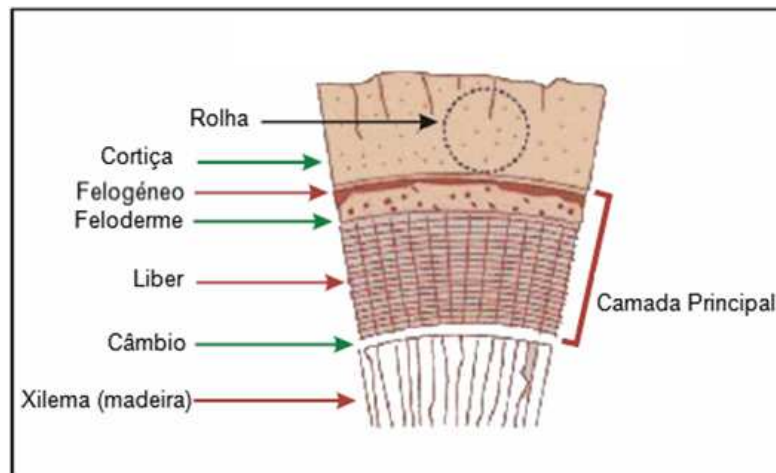
No processo de Preparação da Cortiça ocorrem as todas as actividades de preparação da matéria-prima para a sua utilização posterior. Deste processo fazem parte as operações de Extracção da Cortiça, Estabilização, Cozedura e Escalda e a Estabilização / Traçamento / Escolha das pranchas.

Em seguida são descritas as operações que integram o processo de Preparação da Cortiça.

### *Extracção da Cortiça*

A Extracção de Cortiça ou descortiçamento é uma operação que se realiza entre Maio e Agosto, altura em que a cortiça se solta do entrecasco, extraindo-se em média cerca de 30 kg por árvore (Gil, 2006). A primeira extracção de cortiça ocorre normalmente quando a árvore atinge os 25-30 anos. A partir daí a cortiça é, extraída nos períodos seguintes (normalmente de 9 ou de 10 anos), e que é designada por secundeira na segunda tiragem e por amadia nas tiragens ou extracções subsequentes (Gil, 2006).

A extracção da cortiça é feita, ainda hoje, por um processo manual com a ajuda de um machado. A habilidade necessária à extracção da cortiça não permite automatizar a operação. Devido ao facto desta operação ser totalmente manual, as emissões geradas nesta operação são apenas as que dizem respeito ao consumo de combustível relacionado com o transporte dos trabalhadores para o montado de sobreiro. Valores de produção indicam que a partir de 1 tonelada de cortiça amadia se produzem cerca de 650 kg de prancha (cortiça cozida e preparada) (ver glossário para definição), da qual 65 % tem calibre rolhável, de onde se obtém 130 kg de rolha de cortiça natural (Gil, 2006). Na operação seguinte são separados os calibres rolháveis dos não rolháveis. A cortiça não rolhável destina-se à fabricação de discos para rolhas técnicas ou à indústria aglomeradora. Estes subprodutos não são contabilizados neste estudo. A figura 11 apresenta a secção transversal do sobreiro.



**Figura 11. Secção transversal de um sobreiro (WWF, 2006).**

### *Estabilização*

A operação que sucede o descortiçamento é a Estabilização. Esta operação visa a estabilização física da cortiça e é realizada através de repouso ao ar livre durante um período mínimo de 6 meses. Neste período a cortiça perde seivas naturais do sobreiro,

quer por secagem ao ar, quer por lixiviação pelas águas das chuvas, existindo em simultâneo uma estabilização dimensional das pranchas. Decorrido o tempo de estabilização a cortiça é vendida directamente aos industriais que a transformam, ou a intermediários, normalmente locais, que posteriormente a vendem às empresas que procedem à transformação.

A esta operação estão associadas emissões para o ar resultantes do transporte da cortiça efectuada por camiões.

### *Cozedura e Escalda*

Este processo tem como principais objectivos a limpeza da cortiça, o aumento da espessura e redução da densidade da cortiça. Esta operação de desinfecção, provoca ainda um amaciamento e aumento da elasticidade da cortiça. Na cozedura as pranchas de cortiça são imersas em água limpa a ferver por um período de, pelo menos, uma hora, sendo usual 60-90 minutos (Gil, 2006). Em resultado o volume da cortiça aumenta em cerca de 20% e conseqüentemente existe diminuição da densidade. Esta operação pode ser realizada em autoclaves, pela acção do vapor sobreaquecido, ou em caldeiras abertas, por acção da água a ferver. Este último processo é o mais comum (ver Figura 12). Os combustíveis mais usados para esta operação são o gás natural (em caldeiras mais recentes e autoclaves) e a biomassa (madeira e pó de cortiça em caldeiras mais artesanais). Os processos menos comuns incluem o aquecimento eléctrico (Gil, 2006).

A esta operação produz um efluente líquido com uma elevada carga orgânica que deve ser tratado antes da sua descarga. Possui também na sua constituição uma elevada quantidade de fenóis e clorofenóis.



**Figura 12. Caldeiras de cozedura de cortiça.**  
Caldeiras artesanais (aberta e com usando madeira) (Figura da esquerda)  
Caldeiras mais recentes (fechada, e usando gás natural) (Figura da direita)

Algumas necessidades de produção associadas às operações seguintes, tornam necessário que a cozedura ocorra em duas fases. A uma primeira cozedura com uma duração de 60-75 minutos, seguida de um repouso que ainda pode ser de algum tempo (semanas a meses) ainda com a cortiça enfardada, seguida de uma nova cozedura de 30-

40 minutos nas mesmas condições. Esta segunda operação é também designada por Escalda e origina uma elevada quantidade de efluente líquido. Este efluente apresenta uma carga orgânica elevada e uma quantidade não desprezável de alguns metais como o zinco e o cobre. Note-se no entanto a presença de fenóis e clorofenóis prejudica o tratamento biológico deste efluente, pois estes compostos inibem o desenvolvimento das culturas biológicas (Gil, 2006).

Em resumo, na operação de Cozedura e Escalda são gerados efluentes líquidos contendo na sua composição uma elevada carga orgânica, sólidos suspensos, fenóis, sulfatos, nitratos e ferro.

### *Estabilização / Traçamento / Escolha*

Após a cozedura procede-se à estabilização da cortiça. A estabilização, após cozedura, é necessária para aplanar as pranchas e permitir o seu repouso de modo a que a cortiça obtenha a consistência necessária para a sua transformação. Este repouso é efectuado ao ar livre e em pilha em local com piso adequado (CIPR, 2007). Só depois deste período (de uma a três semanas), procede-se à selecção das pranchas. Na operação de Traçamento as pranchas são cortadas de modo a obter peças de cortiça com calibre e qualidade mais ou menos homogêneos que são classificadas em classes de calibre e de qualidade. Nesta fase são separados os refugos, ou seja, é separada a cortiça que não possui as características necessárias para o fabrico de rolhas (Macedo, 2001). Esta cortiça tem como destino a indústria granuladora.

Depois do Traçamento a prancha é recortada para o melhorar o aspecto da secção e permitir uma melhor rabaneação (subprocesso descrito a seguir). Nesta fase, os desperdícios, os refugos e as aparas de traçamento ou recorte são absorvidos pela indústria granuladora. A Figura 13 apresenta cortiça com diferentes qualidades e calibres.



**Figura 13.** Imagem de cortiça cozida com diferentes qualidades e calibres.

Em suma, o processo de Preparação de Cortiça consome combustível e utiliza água nas operações de Cozedura e Escalda. Consequentemente, gera emissões gasosas causadas pela utilização dos combustíveis e o efluente líquido da cozedura das pranchas de

cortiça. Os subprodutos de cortiça são utilizados como matéria-prima na indústria granuladora, não existindo desperdícios.

### *Fabricação e Produção*

Fazem parte do Processo de Fabricação e Produção de rolhas de cortiça, as operações de Rabaneação, Brocagem, Pré-Secagem, Rectificação, Lavação, Pré-Secagem/Secagem, Escolha, Desodorização e remoção de odores estranhos (INNOCORK®), Revestimento / Coloração e Embalagem/Stock. Em seguida serão descritas estas operações.

#### *Rabaneação*

A rabaneação corresponde ao corte de tiras transversais de cortiça (designadas, em linguagem empresarial por rabanadas,), perpendicularmente à direcção axial da cortiça, numa serra de disco com uma altura que depende do comprimento das rolhas pretendidas (ver Figura 14). Nesta operação o aproveitamento mássico das pranchas traçadas para o fabrico de rolhas é pequeno. As rolhas, como produto final, representam menos de 25% da massa inicial da cortiça resultante do processo de Preparação de Cortiça (Saraiva e Soares, 1980; Borges e Cunha, 1985; Pereira et al., 1994; Beja, 2001; Lopes, 2001).

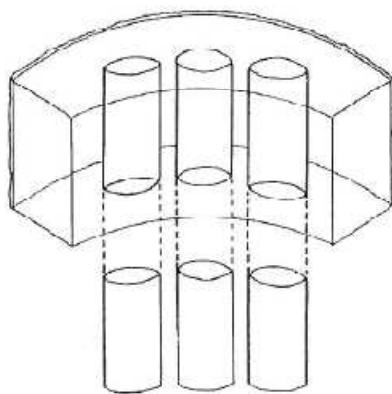
Esta operação gera subprodutos constituídos principalmente por aparas de rabaneação e pelas rabanadas brocadas. Estes subprodutos são triturados e consumidos pelo subsector de aglomeração.



**Figura 14. Imagem do processo de Rabaneação.**

### *Brocagem*

Nesta operação a rabanada é furada utilizando um tubo cilíndrico cortante de metal, oco e em rotação. A brocagem é efectuada na direcção perpendicular ao crescimento da cortiça (ver Figura 15). Na maior parte das instalações fabris, esta operação é realizada manualmente. O operador procede à perfuração de forma a evitar os defeitos presentes na cortiça (canais de parasitas, manchas, fendas, etc.) Esta especificidade da função contribui fortemente para a baixa produtividade desta operação (entre 1800 e 2800 rolhas/hora) (Gil, 2006). Esta operação pode também ser realizada usando equipamentos automáticos (brocas automáticas), no entanto, estes equipamentos possuem um rendimento qualitativo menor que o trabalho manual. Salienta-se que quer no trabalho manual como o que usa equipamentos automáticos os lubrificantes utilizados são de qualidade alimentar.



**Figura 15. Posição da Brocagem em relação à rabanada (Gil, 2006).**

Nesta operação são gerados subprodutos com várias utilizações. Estes podem ser aproveitados para granulado de cortiça, para a manufactura de rolhas técnicas (rolhas concebidas para engarrafar vinhos destinados a ser consumidos num prazo de 2 a 3 anos) ou então, são usados na produção de produtos de cortiça aglomerada que são usados no isolamento ou na construção.

### *Pré-Secagem*

Esta operação realiza-se para diminuir o teor de humidade das rolhas. As rolhas deverão possuir teores de humidade baixos (menos de 11%) (CIPR, 2006) de forma a garantir a estabilidade dimensional das rolhas após a secagem final, facilitar o acabamento superficial por abrasão e prevenir contaminações microbiológicas.

Este processo é realizado em estufa de secagem. Normalmente é utilizado gás natural para o aquecimento, mas estas estufas podem em alternativa ser eléctricas. O tempo de repouso em estufa depende da capacidade de secagem das mesmas, do teor de humidade inicial das rolhas, e das condições ambientais de humidade e temperatura.

A esta operação está associado o consumo de gás natural e a consequente emissão de poluentes atmosféricos.

### *Rectificação*



Esta operação visa a obtenção de uma rolha cilíndrica com uma superfície regular e dentro dos limites dimensionais pretendidos. A rolha da operação anterior é corrigida dimensionalmente por abrasão (uso de cilindros abrasivos em rotação). A rectificação engloba duas operações: Ponçagem e Topejamento (os equipamentos utilizados são eléctricos). Na Ponçagem, o corpo das rolhas é rectificado de forma a evitar a ovalização. Este processo é realizado através dos cilindros abrasivos em rotação, permitirá a obtenção de rolhas com a dimensão radial pretendida. O Topejamento consiste em lixar os topos das rolhas para que fiquem paralelos e perpendiculares ao corpo e ao mesmo tempo ajustar dimensionalmente a rolha ao comprimento correcto. É ainda frequente a realização de operações de escolha das rolhas a fim de as separar por classes de qualidade, de acordo com padrões homogéneos, segregando as rolhas com defeitos.

A operação de rectificação é a principal responsável pela produção do resíduo de pós de cortiça. De facto cerca de 90% do pó de cortiça gerado é proveniente da Ponçagem e Topejamento da superfície (INETI, 2002). Este subproduto é, no entanto, usado em indústrias de colmatagem de rolhas (ver glossário), ou é aproveitado como recurso energético em caldeiras de pó de cortiça nas indústrias do sector.

As rolhas que devido aos seus defeitos não possam seguir para as operações seguintes, são direccionadas como subprodutos e utilizadas por outras indústrias para a fabricação de rolhas técnicas (ver glossário).

### *Lavação*

A operação de rectificação é seguida de uma série de processos de lavagem que visam a desinfecção e a melhoria do aspecto visual. A lavagem faz-se com produtos químicos oxidantes, que podem atacar o material suberoso. A lavação decorre em tambores de lavagem de eixo horizontal onde são colocadas as rolhas que sofrem a acção sequencial de vários agentes químicos: oxidantes (peróxido de hidrogénio - agente oxidante), hidróxido de sódio (mais comum) ou cal (catalizadores), ácido cítrico, bissulfato de sódio e enzimas (para neutralização ácida dos resíduos de peróxido) (ver Figura 16).



**Figura 16. Imagem do tambor de Lavação**

Esta operação gera águas residuais com uma elevada carga orgânica (valores de CQO na ordem dos 7000 mg/L) e com pH básico (superior a 7.5) (APCOR, 2004). Na prática empresarial corrente este efluente é tratado por um processo de coagulação, floculação e decantação. O efluente tratado é descarregado em colector municipal e as lamas geradas são depositadas em aterro.

### *Pré-secagem / Secagem*

Esta operação visa retirar a humidade interna das rolhas de modo a serem atingidos valores de 6 a 8% de humidade (Gil, 2006). A secagem pode ser efectuada segundo vários métodos: secagem ao ar, secagem usando ar quente ou secagem em estufa de vácuo. O processo mais comum inclui a pré-secagem seguido de secagem em estufa de ar quente. Este processo, quando comparado com a estufa de vácuo é mais barato garante a qualidade da secagem a baixo custo.

A esta operação está associado o consumo energético (gás natural, electricidade ou outro) e a consequente emissão de poluentes atmosféricos

### *Escolha*

Na operação de escolha procede-se à selecção das rolhas por classes de qualidade. Esta operação inclui a identificação e quantificação dos defeitos das rolhas do ponto de vista da vedação (porosidade, defeitos estruturais ou de fabricação). O reconhecimento dos defeitos pode ser efectuada por observação visual (escolha manual), ou por contagem óptica de canais lenticulares (escolha automática). Na escolha manual a identificação dos defeitos é realizado visualmente, sendo retiradas manualmente as rolhas que não preencham os requisitos de qualidade pré-definidos. A escolha automática as rolhas (em rotação) são inspeccionadas por uso de um feixe luminoso projectado na perimetria e nos topos das rolhas.

Esta operação não é responsável pela geração de resíduos, uma vez que as rolhas rejeitadas tem como destino a indústria de aglomeração. Esta operação utiliza equipamento eléctrico de relativo baixo consumo.

### *Desodorização e remoção de odores estranhos (INNOCORK®).*

Este processo desenvolvido e patenteado pela empresa *CorkSupply Portugal S.A.* é exclusivamente utilizado por esta empresa. Nesta operação é reduzida a incidência de odores estranhos, nomeadamente (o 2,4,6 tricloanisol (o vulgarmente designado TCA) em rolhas de cortiça natural. Esta operação permite baixar em cerca de 80% os níveis de TCA presentes nas rolhas sujeitas a este processo (CSP, 2007). O processo usa uma mistura em fase gasosa de vapor de água, álcool etílico e ar pré-aquecido para limpar a superfície das rolhas (ver Figura 17).



Esta operação utiliza gás natural como combustível para a produção de vapor e aquecimento do ar. A corrente gasosa de limpeza, contendo alguns compostos orgânicos voláteis é emitida para a atmosfera. Esta operação não dá origem a resíduos sólidos.



**Figura 17. INNOCORK ®– Processo de desodorização e remoção de odores estranhos.**

### *Revestimento / Coloração*

A operação de revestimento tem como principal objectivo a melhoria da qualidade visual das rolhas conseguido através da homogeneização da cor entre rolhas do mesmo lote. Esta homogeneização é conseguida pela aplicação de emulsões ou dispersões pigmentadas que conferem à superfície das rolhas uma determinada cor. As emulsões usadas podem ser de base aquosa ou de base de solvente, obrigando estas últimas a cuidados de operação especiais, devido à sua inerente perigosidade. Todo o produto aplicado fica reticulado na superfície das rolhas.

### *Embalagem / Stock*

O armazenamento do produto numa fase de semi-acabado é efectuado em sacos plásticos de 5.000 ou 10.000 rolhas. Verifica-se que para na indústria nacional cerca de 80% dos industriais terminam as actividades de produção nesta operação e alimentam as restantes 20% empresas que procedem a um acabamento final e por fim comercializam as rolhas de cortiça natural.

Nesta operação a geração de resíduos é esporádica, uma vez que a embalagem é feita a granel e em sacos reutilizáveis até à sua inutilização.

### *Acabamento*

Deste processo fazem parte as operações de despoeiramento, marcação (a fogo e a tinta) e tratamento de superfície. Em seguida serão descritas as operações que integram o processo de Acabamento das rolhas de cortiça natural.

#### *Despoeiramento*

Esta operação é importante para preparar a superfície das rolhas para as operações posteriores de marcação e tratamento de superfície. O tratamento por despoeiramento consiste no rolar desordenado das rolhas durante um período de tempo (normalmente entre 10 a 20 min.), num cilindro horizontal com extracção de ar. As poeiras das fendas e lenticelas (ver glossário) são assim removidas, evitando-se a contaminação do vinho com resíduos, embora pode desfavorecer o aspecto superficial das rolhas, pela maior evidência dos poros e a possível quebra e boleamento das arestas dos topos das rolhas.

O pó desta operação é recolhido e enviado juntamente com o pó produzidos nos restantes sub-processos para as indústrias de colmatagem ou para valorização energética em caldeiras de pó.

#### *Marcação a Fogo e Marcação a Tinta*

Nesta operação as rolhas de cortiça poderão ser impressas de acordo com as especificações do cliente, através da impressão a tinta ou impressão a fogo. A marcação a tinta usa uma tinta com características que lhe permita entrar em contacto com alimentos. Estas tintas têm por base pigmentos orgânicos, não contêm metais pesados e são insolúveis em água e álcool (Gil, 2006). Este tipo de marcação não pode ser aplicado no entanto nos topos das rolhas, devendo a marcação nesta superfície ser feita por indução térmica (vulgarmente denominada por marcação a fogo) (ver Figura 18). Prevê-se que cada marcador de tinta possua uma vida útil de 2 milhões de rolhas enquanto um marcador a fogo tenha uma duração quase vitalícia.



**Figura 18. Marcação a Tinta (esquerda) e Marcação por Indução térmica (direita).**

### *Tratamento de Superfície*

O final do processo de acabamento inclui um tratamento lubrificante que confere à rolha uma maior facilidade para inserção e extracção da garrafa, melhorando a capacidade de vedação. Esta operação combina a parafinação e a siliconagem, a frio ou a quente. Esta operação consiste na aplicação, em tambor rotativo, de produtos hidrofóbicos (parafinas e silicones) com a função de impermeabilizar a rolha, reduzindo a absorção de vinho, e da sua lubrificação (ver Figura 19). Basicamente usam-se dois tipos de produtos: a parafina (sólida, em óleo ou em emulsão) e a silicone (como elastómero, ou em óleo ou em emulsão). O processo mais utilizado no acabamento final da rolha é a parafinação e siliconagem com aquecimento (Gil, 2006).



**Figura 19. Imagem do tambor de aplicação de Tratamento de Superfície.**

A parafinação a quente ocorre num misturador onde são introduzidas simultaneamente as rolhas e seguidamente a emulsão de parafina. Este misturador é aquecido a cerca de 30°C promovendo a aderência da parafina à superfície das rolhas, (parafinação ocorre por fricção). A siliconagem pode ser efectuada por um processo semelhante ao anterior ou então por pulverização. São utilizados parafinas sólidas, emulsões parafínicas ou silicone (óleos, emulsões de elastómeros). Os tratamentos de lubrificação podem também compreender dois ou mais destes tratamentos (ex: conjunto de emulsões de parafina e silicone) e os outros produtos devem possuir características para o contacto alimentar.

O processo utiliza energia eléctrica para o funcionamento dos equipamentos, e o aquecimento de tambores.

### *Embalagem Final*

A embalagem efectua-se em sacos impermeáveis (polietileno herméticos) geralmente de 500 a 1500 rolhas, onde previamente se efectuou o vácuo, geralmente em atmosfera de

dióxido de enxofre, o que reduz uma eventual contaminação superficial posterior por fungos. As rolhas são depois colocadas em caixas de cartão e expedidas para o cliente final (engarrafador).

Nesta operação são gerados emissões gasosas constituídas por dióxido de enxofre usado como agente desinfectante.

### ***Utilização***

A utilização das rolhas deverá ser associado ao engarrafamento. O engarrafamento das rolhas de cortiça pode ser efectuado de várias maneiras existindo no mercado um número elevado de equipamentos para este fim. Usualmente rolhas são colocadas na linha de enchimento onde são alimentadas a maxilas de pré-compressão antes da introdução no gargalo. A garrafa está colocada directamente debaixo destas maxilas, onde passa um pistão que empurra a rolha comprimida para o gargalo da garrafa, altura em que rapidamente tenta recuperar as suas dimensões iniciais, comprimindo-se de encontro às paredes do gargalo e promovendo a vedação. A partir deste ponto a rolha faz parte da embalagem total do produto vinho. A colocação do vinho no mercado e o seu trajecto de transporte variam consoante o produtor de vinho. Este processo termina na altura da retirada da rolha da garrafa e com a rejeição da rolha de cortiça natural.

Este processado não é considerado no estudo realizado.

### ***Fim de Vida***

A rolha da garrafa de vinho, após utilização, segue normalmente o mesmo destino dos resíduos sólidos urbanos. As opções de final de vida da rolha de cortiça natural são na actualidade comuns às opções existentes para a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) de uma determinada região ou país. Constata-se que a deposição e a incineração são correntemente o destino mais comum para os RSU nos países europeus (EEA, 2007). A via de reciclagem, embora possa ser futuramente uma alternativa, ainda se apresenta como uma iniciativa recente. A análise das vias de gestão dos RSU's permite concluir que a França, EUA, Itália, Alemanha e Espanha são os países com a maior expressão no consumo mundial de vinho (ver Tabela 2). As práticas de fim de vida para estes países são a deposição em aterro, a incineração e reciclagem (ver Figura 7).

### ***Transporte Interno e Externo***

As operações de transporte ocorrem em várias das fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural. O transporte é necessário para o transporte de materiais, subprodutos ou produtos entre fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural. Para além deste facto, poderão estar associados a transportes às diferentes operações de ciclo de vida. Optou-

se aqui por distinguir o transporte interno (aquele que ocorre dentro de instalações fabris), do externo (refere-se aos transportes que ligam as várias fases do ciclo de vida a rolha (desde a extracção até ao destino final). Para o transporte interno recorre-se normalmente ao empilhador eléctrico ou a gás. O tipo de transporte externo (rodoviário, marítimo ou por avião) é determinado pela quantidade de material a transportar e do destino final. O transporte na Europa é normalmente terrestre, enquanto que para outros mercados o avião ou transporte marítimo são soluções correntes.

### 3.4. Inventário

A inventariação dos fluxos de materiais e energia requer uma análise cuidada dos diversos processos do ciclo de vida. Em primeiro lugar foram analisados os balanços de massa da matéria-prima cortiça desde a sua extracção até à produção da rolha. Esta análise permite relacionar a unidade funcional (UF=1000 rolhas de cortiça natural) com a utilização de matéria-prima, nomeadamente, na estimativa de emissões e consumos nos processos de Gestão Florestal e Preparação da Cortiça. A Figura 20 apresenta esquematicamente o fluxo de material cortiça desde a extracção até à produção de rolhas de cortiça natural, incluindo os fluxos dos subsectores rolheiro e do granulador. Para o sistema em estudo (que apenas inclui as operações associadas à produção da rolha de cortiça natural) podemos concluir que por cada 100 kg de cortiça extraída são produzidas cerca de 2600 rolhas (26UF). O restante material é usado no subsector granulador.

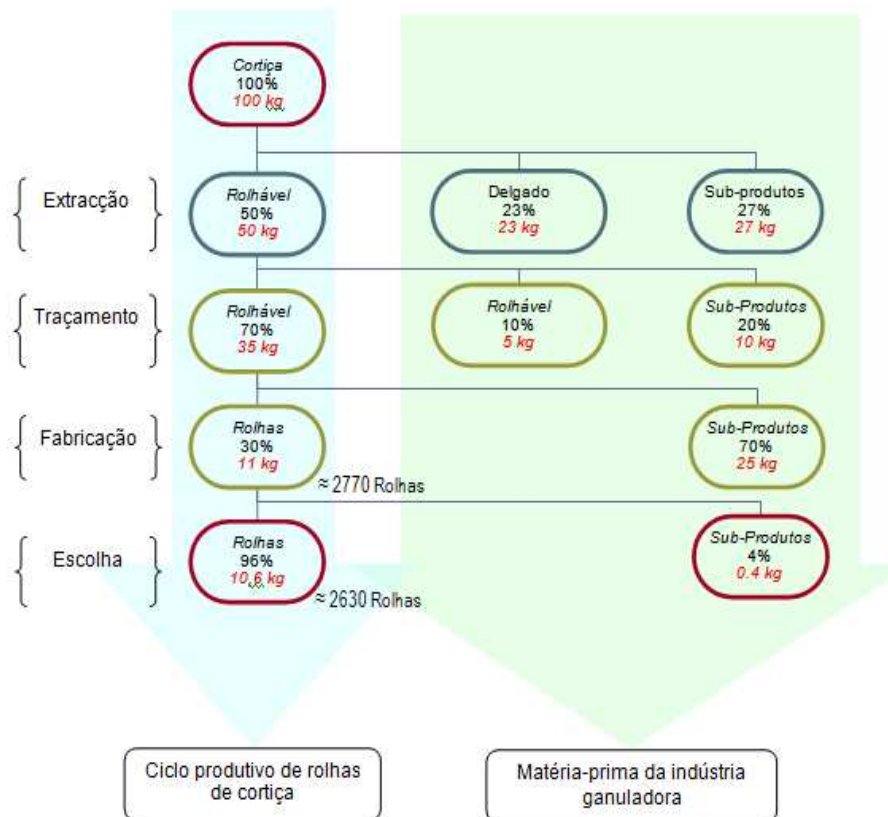
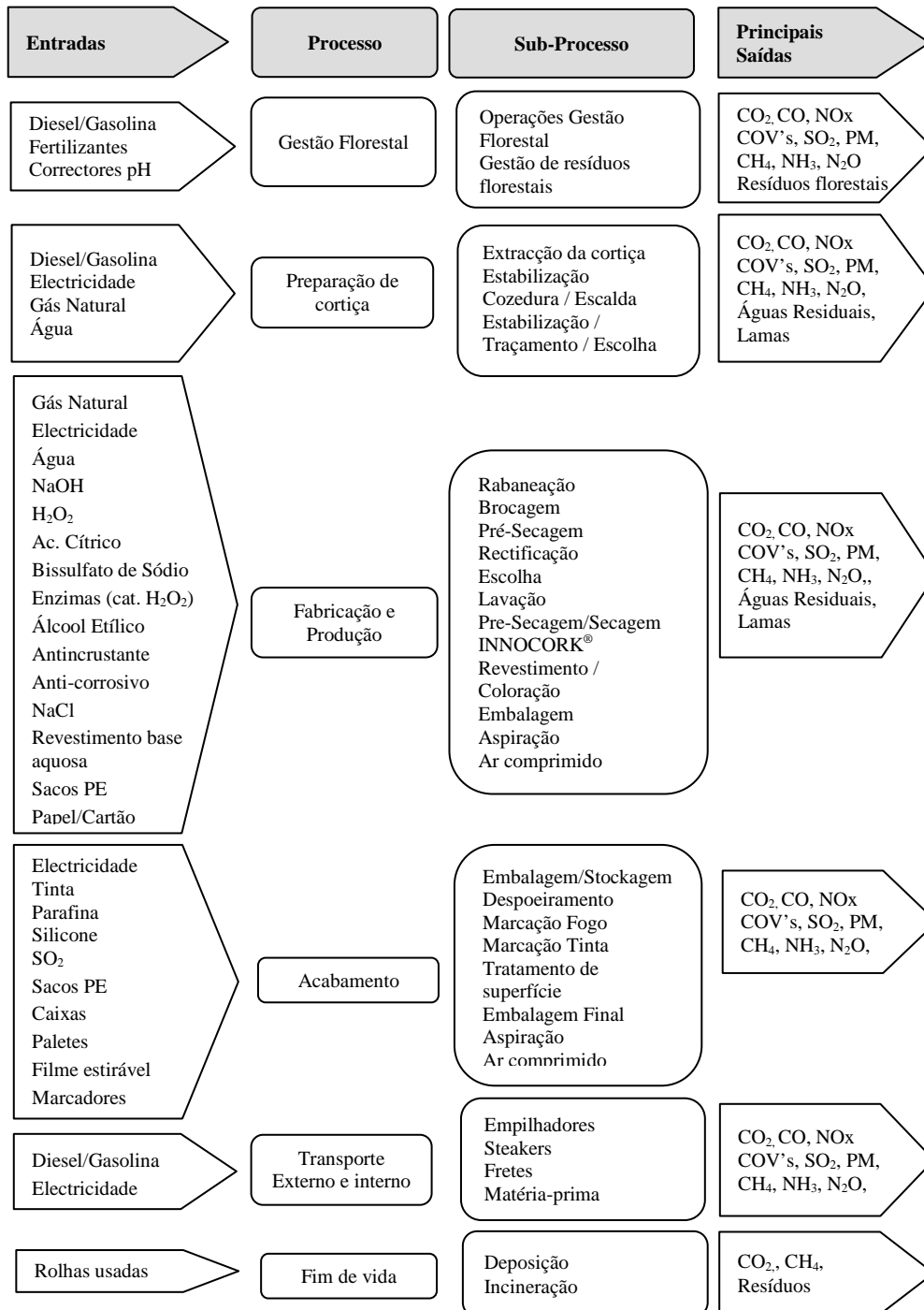


Figura 20. Fluxos de cortiça desde a extracção da matéria-prima (cortiça de árvore) até à produção de rolhas para o sector corticeiro (rolheiro e granulador) (CSP, 2007).



## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

A inventariação dos fluxos de materiais e energia consumidos ou gerados durante do ciclo de vida da rolha de cortiça natural implica a listagem de recursos naturais, energia e emissões para o ar, solo e água consumidos e gerados pelo produto em análise ao longo do seu ciclo de vida. A Figura 21 resume as entradas e saídas de materiais e energia do sistema em análise nesta tese.



**Figura 21. Entradas e saídas de materiais e energia do sistema em análise por sub-processo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.**

Em seguida são apresentados, para cada um dos processos do ciclo de vida da rolha de cortiça natural, os materiais e energia usados bem como as emissões geradas para o ar, solo ou água. Nesta tese os dados de inventário foram obtidos por consulta directa a empresários do sector ou por consulta bibliográfica. A maior parte da informação recolhida teve como origem a actividade industrial da empresa CorkSupply Portugal S.A. (das suas unidades de preparação, fabricação e acabamento). Embora de origem empresarial (informação obtida através de uma empresa do sector rolheiro) considera-se que a informação recolhida é representativa da realidade processual relativa aos processos, materiais e energia utilizados correntemente nas diferentes fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.

### 3.4.1 Gestão Florestal

Os valores utilizados para o inventário resultam essencialmente de entrevistas realizadas a alguns produtores florestais e pontualmente à consulta bibliográfica (caso dos valores de consumo de fertilizantes e correctores de solo).

Os consumos foram reportados à unidade funcional com base na produção média de cortiça no descortiçamento e do balanço de massa. Os consumos de combustível (diesel) nos equipamentos industriais tiveram por base a consulta directa (entrevista a produtores florestais) na zona do Montijo e Coruche.

Os resíduos produzidos nas operações de gestão florestal foram estimados com base em informação obtida dos produtores florestais e, as emissões gasosas foram estimadas usando factores de emissão (EMEP-CORINAIR, 2007).

A incerteza nos dados está relacionada com a falta de registo de alguns consumos, o que se verifica principalmente para as actividades de Gestão Florestal. Neste processo são essencialmente usados combustíveis para equipamentos industriais (tractores agrícolas, motosserras, etc.), fertilizantes e correctores do solo. As emissões resultam da combustão do diesel e da queima de resíduos florestais, provenientes do desbaste e podas de sobreiros, em fornos do sector da panificação. A Tabela 6 resume as entradas e saídas de materiais e energia no processo de Gestão Florestal.

**Tabela 6. Fluxos de Entrada e Saída do processo de Gestão Florestal por Unidade Funcional (UF).**

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (Unidade / UF)</i>	<i>Saídas (kg / UF)</i>
Gestão Florestal	Sub-processo de Gestão Florestal: <b>Limpeza de mato</b>	Gradagem Diesel <sup>1</sup> = 0,0724 L	CO <sub>2</sub> 0,1875
			CO 8,77E-04
			NOx 3,04E-03
			COV's 4,84E-06
			SO <sub>2</sub> 3,93E-04
			PM 1,46E-04
	Corta-mato Diesel <sup>1</sup> = 0,1207 L	CH <sub>4</sub> 1,03E-05	
		NH <sub>3</sub> 4,23E-07	
		N <sub>2</sub> O 7,98E-05	
		CO <sub>2</sub> 0,3126	
		CO 1,46E-03	
		NOx 5,07E-03	
Sub-processo de Gestão Florestal: <b>Fertilização</b>	Carbonato de cálcio <sup>2</sup> = 1,61 E-05 kg Fósforo <sup>2</sup> = 6,04 E-04 kg Potássio <sup>2</sup> = 4,02 E-04 kg Enxofre <sup>2</sup> = 3,62 E-05 kg Zinco <sup>2</sup> = 8,05 E-06 kg Boro <sup>2</sup> = 8,05 E-06 kg	Diesel <sup>1</sup> = 0,1609 L	COV's 8,06E-06
			SO <sub>2</sub> 6,55E-04
			PM 2,44E-04
			CH <sub>4</sub> 1,71E-05
			NH <sub>3</sub> 7,06E-07
			N <sub>2</sub> O 1,33E-04
			CO <sub>2</sub> 0,4167
			CO 1,95E-03
			NOx 6,76E-03
			COV's 1,08E-05
			SO <sub>2</sub> 8,74E-04
			PM 3,25E-04
Sub-processo de Gestão Florestal: <b>Podas e limpezas</b>	Diesel <sup>1</sup> = 0,0106 L	Gestão de Resíduos Florestais	CH <sub>4</sub> 2,28E-05
			NH <sub>3</sub> 9,41E-07
			N <sub>2</sub> O 1,77E-04
			CO <sub>2</sub> 0,0273
			CO 1,28E-04
			NOx 4,44E-04
			COV's 7,06E-07
			SO <sub>2</sub> 5,73E-05
			PM 2,13E-05
			CH <sub>4</sub> 1,50E-06
			NH <sub>3</sub> 6,17E-08
			N <sub>2</sub> O 1,16E-05
Gestão de Resíduos Florestais	Madeira usada como Combustível na indústria panificadora <sup>3</sup> = 4,4 kg	Resíduos	CO <sub>2</sub> 0,1253
			CO 3,75E-04
			NOx 7,15E-04
			COV's 3,19E-06
			SO <sub>2</sub> 6,86E-05
			PM 8,18E-05
			CH <sub>4</sub> 4,39E-06
			NH <sub>3</sub> 3,99E-08
			N <sub>2</sub> O 2,39E-07
			CO 0,46071
			NOx 0,00559
			SO <sub>2</sub> 0,00080
COV's 0,10580			
PM 0,06108			
CH <sub>4</sub> 0,05988			
Resíduos 0,22004			

<sup>1</sup>Os factores de emissão relativos à emissão de compostos da combustão são apresentados em EMEP-CORINAIR (2007) nas páginas B810-16 a B810-23.

<sup>2</sup>Valores médios estimados a partir da consulta a produtores florestais e informação bibliográfica (Gil, 2006).

<sup>3</sup>A madeira é resultante de podas e limpezas do montado. Os valores de Factores de emissão são apresentados em EMEP-CORINAIR (2007) nas páginas c01s06 (1.6-1 a 1.6-20).



### 3.4.2 Preparação de Cortiça

Neste processo predominam os consumos de energia e água. Os sub-processos de Cozedura/Esalda partilham a responsabilidade em termos de consumos e emissões de poluentes. As emissões libertadas são devidas à queima de gás natural e uso de electricidade (emissões indirectas) e o efluente líquido produzido é resultante do processo de Cozedura/Esalda.

A inventariação dos consumos associados ao sub-processo de Extração de Cortiça teve por base informação recolhida de produtores florestais. Como foi referido anteriormente esta operação é essencialmente manual então os únicos consumos estão associados ao diesel para o transporte dos trabalhadores para o montado, e à operação de motosserras usadas no corte da cortiça extraída.

A inventariação de consumos de materiais e energia dos restantes sub-processos (Estabilização, Cozedura/Esalda, Estabilização e Traçamento) teve por base a informação disponibilizada pela unidade industrial da CorkSupply Portugal S.A., (Unidade de Preparação da Cortiça) situada na cidade de Montijo, Portugal. A informação recolhida é representativa de um ano de laboração.

A estimativa de consumos e a afectação destes consumos à unidade funcional teve por base o balanço de massa apresentado anteriormente (Figura 20). A água utilizada neste processo provém de um furo presente nas instalações da empresa, e o efluente é tratado numa estação de tratamento de águas residuais com tratamento biológico.

As emissões gasosas foram estimadas usando factores de emissão presentes em EMEP-CORINAIR, 2007 (para diesel e gás natural), e presentes em Lewis, 1997 (para o consumo eléctrico). A Tabela 7 resume os dados de inventário relativos ao processo de preparação de cortiça. A produção de lamas resulta do tratamento do efluente de Cozedura e Escalda. Na conversão da produção de lamas em função da unidade funcional, considerou-se a proporcionalidade entre a produção de efluente e a produção de lamas, sendo que a produção de efluente varia com a produção de rolhas. Na Tabela 8 são apresentadas as características do efluente industrial resultante do sub-processo de Cozedura/Esalda de cortiça.

**Tabela 7. Fluxos de entrada e saída do processo de Preparação de Cortiça por UF.**

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (unidade /UF)</i>	<i>Saídas (kg /UF)</i>	
Preparação Cortiça	Extração da cortiça	Diesel <sup>1</sup> = 0.0084 L	CO <sub>2</sub>	0,0219
			CO	1,02E-04
			NO <sub>x</sub>	3,55E-04
			COV's	5,64E-07
			SO <sub>2</sub>	4,59E-05
			PM	1,71E-05
			CH <sub>4</sub>	1,20E-06
			NH <sub>3</sub>	4,94E-08
			N <sub>2</sub> O	9,31E-06
				Estabilização

## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

Processo	Sub-Processo	Entradas (unidade /UF)	Saídas (kg / UF)
			1,8554
	Cozedura <sup>2</sup>	Energia Eléctrica <sup>3</sup> = 0.8975 kWh	CO <sub>2</sub> 4,75E-04 CO 3,78E-03 NOx 4,08E-03 COV's 2,03E-04
		Gás Natural <sup>4</sup> = 0.5557 m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> 2,11E-04 PM 1,19E-03 CH <sub>4</sub> 5,15E-05 N <sub>2</sub> O 0,3180
		Água = 0.057 m <sup>3</sup>	Lamas Efluente <sup>5</sup> 0,05524
	Estabilização \ Traçamento \ Escolha	-----	-----
	Escalda <sup>2</sup>	Energia Eléctrica <sup>3</sup> = 0.1346 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,7014 CO 1,65E-04 NOx 1,67E-03 COV's 2,85E-03
		Gás Natural <sup>4</sup> = 0.3890 m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> 1,29E-04 PM 1,39E-04 CH <sub>4</sub> 8,19E-04 N <sub>2</sub> O 1,25E-05
		Água = 0.039 m <sup>3</sup>	Lamas Efluente <sup>5</sup> 0,1710 Efluente <sup>5</sup> 0,03776

<sup>1</sup> Combustível para o transporte de trabalhadores e motosserras. Os factores de emissão relativos à emissão de compostos da combustão são apresentados em EMEP-CORINAIR (2007) nas páginas B810-16 a B810-23.

<sup>2</sup> Optou-se por dividir o processo Cozedura\Escalda em dois: Cozedura e Escalda, devido a que estas operações ocorrem em períodos de tempo diferentes e intercalados por uma estabilização. Os consumos e emissões são também eles diferentes. Informação disponibilizada pela empresa CorkSupply Portugal S.A.

<sup>3</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos associados ao consumo de electricidade estão disponíveis em Lewis (1997) nas páginas 23 a 30.

<sup>4</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos da combustão são apresentados em EMEP-CORINAIR (2007) nas páginas B112-01 a B112-26.

<sup>5</sup> Expresso em m<sup>3</sup>/UF. Na Tabela 8 são incluídas as características do efluente industrial de cozedura e escalda de cortiça.

**Tabela 8. Características do efluente industrial da Cozedura e Escalda da cortiça (CSP, 2007).**

Parâmetro	Efluente	
	Cozedura / Escalda	Unidades
pH	8,84	Escala de Sorënsen
CQO	5093	mg O <sub>2</sub> /l
CBO <sub>5</sub>	1124	mg O <sub>2</sub> /l
SST	1775	mg/l
Fenóis	0,6	mg/L C <sub>6</sub> O <sub>5</sub> OH
Sulfatos	151	mg/L SO <sub>4</sub>
Nitratos	13,04	mg/L NO <sub>3</sub>
Ferro total	6,4	mg/L

### 3.4.3 Fabricação e Produção

Em relação aos materiais e energia usados (ex: electricidade, matérias-primas e gás natural) assim como para a produção de efluente líquido e os dados foram recolhidos a partir de registos internos da empresa ou, obtidos por medição directa. A incerteza associada a estes dados é reduzida. A empresa possui em geral registos de materiais associados às diferentes operações e reportados à unidade funcional deste estudo (UF=1000 rolhas), como por exemplo, para as etapas de Lavação, Revestimento/Coloração ou Marcação a tinta. A inventariação de todas as entradas foi resultado de informação empresarial da unidade industrial da CorkSupply Portugal S.A., situada na cidade de São Paio de Oleiros.

Neste processo são libertadas emissões atmosféricas, produzidos resíduos sólidos (lamas de ETAR) e gerado um efluente líquido. As emissões gasosas, associadas ao consumo de gás natural, foram estimadas usando factores de emissão presentes em EMEP-CORINAIR, 2007. Para as emissões associadas ao consumo eléctrico foram utilizados factores de emissão presentes em Lewis, 1997. A quantidade de efluente líquido produzido foi obtida através de registos internos. Na Tabela 9 inclui a inventariação de entradas e saídas por unidade funcional e a Tabela 10 apresenta as características do efluente gerado no processo de Lavação.

**Tabela 9. Fluxos de entrada e saída do processo de Fabricação e Produção por UF.**

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (Unidade / UF)</i>	<i>Saídas (kg / UF)</i>		
Fabricação	Rabaneação	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,1499 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,0919 CO 1,83E-05 NOx 2,73E-04 COV's 6,80E-04	
		Óleo lubrificante	0,030 L	SO <sub>2</sub> 2,90E-05 PM 3,20E-05 CH <sub>4</sub> 1,94E-04	
	Brocagem	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,7558 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,4632 CO 9,24E-05 NOx 1,38E-03 COV's 3,43E-03	
		Óleo lubrificante	0,032 L	SO <sub>2</sub> 1,46E-04 PM 1,61E-04 CH <sub>4</sub> 9,76E-04	
	Pré-secagem	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0462 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,5039 CO 1,17E-04 NOx 2,94E-03 COV's 2,13E-04	
		Gás Natural <sup>2</sup>	0,2218 m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> 9,42E-04 PM 2,98E-04 CH <sub>4</sub> 7,17E-05 N <sub>2</sub> O 2,06E-05	
	Rectificação	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,2598 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,1592 CO 3,18E-05 NOx 4,74E-04 COV's 1,18E-03	
				SO <sub>2</sub> 5,02E-05 PM 5,55E-05 CH <sub>4</sub> 3,35E-04	
	Electrónica	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,2590 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,1587 CO 3,17E-05 NOx 4,72E-04 COV's 1,17E-03	
				SO <sub>2</sub> 5,00E-05 PM 5,53E-05 CH <sub>4</sub> 3,34E-04	
	Escolha	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0364 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,0223 CO 4,45E-06 NOx 6,64E-05 COV's 1,65E-04	
				SO <sub>2</sub> 7,03E-06 PM 7,77E-06 CH <sub>4</sub> 4,70E-05	
	Lavação		Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0335 kW.h	
			Gás Natural <sup>2</sup>	0,0792 m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> 0,3755 CO 8,08E-05
			Água	0,02067 m <sup>3</sup>	NOx 1,63E-03 COV's 1,52E-03
			NaOH	0,1400 kg	SO <sub>2</sub> 1,95E-04 PM 7,44E-05 CH <sub>4</sub> 4,37E-04
			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,3360 kg	N <sub>2</sub> O 7,34E-06 Efluente <sup>1</sup> 0,02067 Lamas 0,0445
			NaHSO <sub>4</sub>	0,0063 kg	

## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

Processo	Sub-Processo	Entradas (Unidade / UF)	Saídas (kg / UF)	
Fabricação (cont.)		Ácido cítrico	0,0063 kg	
		Enzima catalisadora de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0004 kg	
	Pré-secagem / secagem	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0343 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,3211 CO 7,45E-05 NOx 1,86E-03 COV's 1,58E-04 SO <sub>2</sub> 3,07E-04
		Gás Natural <sup>2</sup>	0,1340 m <sup>3</sup>	PM 1,03E-04 CH <sub>4</sub> 5,19E-05 N <sub>2</sub> O 1,30E-05
	INNOCORK (processo de desodorização e remoção de odores estranhos)	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0578 kW.h	
		Gás Natural <sup>2</sup>	0,6280 m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> 1,3818 CO 3,66E-03 NOx 9,18E-03
		Água	0,0017 m <sup>3</sup>	COV's 2,71E-04 SO <sub>2</sub> 0,0349
		Anti incrustrante <sup>3</sup>	1,74 E -04 kg	PM 3,42E-05 CH <sub>4</sub> 1,08E-04
		Anti corrosivo <sup>4</sup>	1,74 E -04 kg	N <sub>2</sub> O 5,82E-05
		NaCl	0,0035 kg	
		Álcool etílico <sup>5</sup>	0,0430 L	
	Revestimento / Coloração	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,1050 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,3804 CO 8,47E-05
		Gás Natural <sup>2</sup>	0,1188 m <sup>3</sup>	NOx 1,90E-03 COV's 9,31E-04 SO <sub>2</sub> 3,96E-05
		Água	0,1000 kg	PM 4,79E-05 CH <sub>4</sub> 2,71E-04
		Revestimentos base aquosa	0,2000 kg	N <sub>2</sub> O 1,10E-05
	Embalagem	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	0,0130 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,0079 CO 1,57E-06 NOx 2,34E-05 COV's 5,82E-05 SO <sub>2</sub> 2,48E-06 PM 2,74E-06 CH <sub>4</sub> 1,66E-05
	Ar comprimido	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	1,05E-04 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,0646 CO 1,29E-05 NOx 1,92E-04 COV's 4,78E-04 SO <sub>2</sub> 2,03E-05 PM 2,25E-05 CH <sub>4</sub> 1,36E-04
Aspiração	Energia Eléctrica <sup>1</sup>	5,28E-04 kW.h	CO <sub>2</sub> 0,3787 CO 7,56E-05 NOx 1,13E-03 COV's 2,80E-03 SO <sub>2</sub> 1,19E-04 PM 6,39E-04 CH <sub>4</sub> 7,98E-04 Resíduos 0,1019	

<sup>1</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos associados ao consumo de electricidade estão disponíveis em Lewis (1997) nas páginas 23 a 30.

<sup>2</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos da combustão são apresentados em EMEP-CORINAIR (2007) nas páginas B112-01 a B112-26.

<sup>3</sup> Mistura de fosfatos vários de sódio e outros agentes sequestrantes – Retêm o sódio e magnésio da água evitando incrustações.

<sup>4</sup> Sulfito de sódio e sal dissódico de ácido sulfuroso catalisados – Forte redutor de oxigénio dissolvido

<sup>5</sup> Etanol a 96% de volume. Completamente vaporizado e emitido para a atmosfera.

**Tabela 10. Características do efluente industrial do sub-processo de Lavação.**

Parâmetro	Efluente lavação	Unidades
Caudal	20	m <sup>3</sup> /dia
pH	7,2- 9,8	Escala de Sorënsen
SST	295- 2000	mg/l
CQO	5700 - 7260	mg O <sub>2</sub> /l
CBO <sub>5</sub>	375 - 1505	mg O <sub>2</sub> /l

### 3.4.4 Acabamento

Em relação aos materiais e energia usados (ex: electricidade, matérias-primas e gás natural), os dados foram recolhidos a partir de registos internos da empresa ou, obtidos por medição directa. Os valores reportados a um ano foram convertidos para a unidade funcional. A incerteza associada a estes dados é reduzida. A inventariação teve por base informação obtida da unidade industrial da CorkSupply Portugal S.A. (Unidade de Acabamento), situada na cidade de Rio Meão, Portugal.

Este processo gera emissões gasosas. Estas emissões foram estimadas usando os factores de emissão presentes em Lewis (1997). A Tabela 11 apresenta a inventariação de entradas e saídas do processo de Acabamento.

**Tabela 11. Fluxos de entrada e saída do processo de Acabamento por UF. Os factores de emissão relativos à emissão de compostos associados ao consumo de electricidade estão disponíveis em Lewis (1997), páginas 23 a 30.**

Processo	Sub-Processo	Entradas (unidade/UF)	Saídas (kg / UF)		
Acabamento	Despoeiramento	Energia Eléctrica	0,0433 kWh	CO <sub>2</sub>	0,0265
				CO	5,30E-06
				NO <sub>x</sub>	7,90E-05
				COV's	1,96E-04
				SO <sub>2</sub>	8,36E-06
				PM	9,25E-06
				CH <sub>4</sub>	5,59E-05
	Marcação a fogo	Energia Eléctrica	1,0136 kWh	CO <sub>2</sub>	0,6213
				CO	1,24E-04
				NO <sub>x</sub>	1,85E-03
				COV's	4,60E-03
				SO <sub>2</sub>	1,96E-04
				PM	2,17E-04
	Marcação a tinta	Energia Eléctrica	0,0781 kWh	CO <sub>2</sub>	0,0479
				CO	9,55E-06
				NO <sub>x</sub>	1,43E-04
		Tinta	5,00E-04 kg	COV's	3,54E-04
				SO <sub>2</sub>	1,51E-05
	Tratamento de Superfície	Energia Eléctrica	1,0047 kWh	PM	1,67E-05
				CH <sub>4</sub>	1,01E-04
CO <sub>2</sub>				0,6158	
Óleo de silicone		0,0120 kg	CO	1,23E-04	
			NO <sub>x</sub>	1,83E-03	
			COV's	4,56E-03	
			SO <sub>2</sub>	1,94E-04	
Parafina	0,0590 kg	PM	2,15E-04		
		CH <sub>4</sub>	1,30E-03		

## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (unidade/UF)</i>	<i>Saídas (kg / UF)</i>			
Acabamento (cont..)	Embalagem	Energia Eléctrica	0,0169 kWh	CO <sub>2</sub>	0,0104	
			0,0040 kg	CO	2,07E-06	
				NOx	3,09E-05	
		COV's		4,08E-03		
		SO <sub>2</sub>	0,0040 kg	SO <sub>2</sub>	3,27E-06	
				PM	3,61E-06	
	CH <sub>4</sub>			2,18E-05		
	Ar comprimido		Energia Eléctrica	0,1422 kWh	CO <sub>2</sub>	0,0872
					CO	1,74E-05
					NOx	2,59E-04
		0,1422 kWh	COV's	6,45E-04		
			SO <sub>2</sub>	2,75E-05		
PM			3,04E-05			
Aspiração	Energia Eléctrica	0,8886 kWh	CH <sub>4</sub>	1,84E-04		
			CO <sub>2</sub>	0,5447		
			CO	1,09E-04		
	0,8886 kWh	NOx	1,62E-03			
		COV's	4,03E-03			
		SO <sub>2</sub>	1,72E-04			
0,8886 kWh	PM	5,54E-04				
	CH <sub>4</sub>	1,15E-03				

### 3.4.5 Fim de Vida

O inventário do processo de Fim de Vida resume as entradas e saídas de materiais e energia. No caso em análise a rolha após utilização (vedação de uma garrafa de vinho) toma em geral o mesmo percurso dos resíduos sólidos urbanos (RSU), sofrendo aos mesmos processos de recolha e tratamento final. A recolha é essencialmente efectuada por meio rodoviário (camião) e os tratamentos de fim de vida são de dois tipos: a incineração ou a deposição em aterro. O processo de reciclagem não será analisado neste estudo. A razão prende-se com o facto da produção média nacional anual de rolhas de cortiça natural ser de cerca de 13 biliões de rolhas equivalente a 455 mil toneladas e uma inventariação dos principais projectos mundiais em escala piloto de reciclagem demonstram que não são recolhidas mais do que 800 toneladas por ano (APCOR, 2008). Este valor é claramente pouco expressivo face ao montante produzido, portanto a reciclagem não será considerado como uma opção actual para o fim de vida da rolha.

As opções de fim da vida analisadas são então a incineração e a deposição em aterro. No entanto, cada país consumidor de vinho possui vias de fim de vida características. Neste estudo a avaliação do inventário irá ser efectuada com base nas opções de fim de vida dos países maiores consumidores de vinho onde estão incluídos cinco países (França, Itália, EUA, Alemanha e Espanha). Portugal será também incluído na análise. Não sendo conhecidos dados sobre consumos de vinho engarrafado e rolhado com a rolha de cortiça natural, foi considerado que existe uma relação directa entre o consumo total de vinho e o consumo de vinho engarrafado e rolhado com rolha de cortiça natural. A Tabela 2, na secção 2.2., apresenta informação sobre a percentagem de consumo de vinho mundial e a Figura 7 (mesma secção), inclui informação sobre o destino final dos RSU's gerados em cada um dos principais países consumidores de vinho.

Na inventariação do Fim de Vida foram assumidas algumas considerações. Em relação à deposição em aterro considerou-se que esta é realizada sem recolha de gases. As emissões gasosas produzidas resultam da decomposição da rolha e são provenientes da compostagem e digestão anaeróbia ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ). Os resíduos sólidos incluem parte da rolha de cortiça que não sofre decomposição. A bibliografia consultada não inclui informação sobre os mecanismos de decomposição química e biológica da cortiça, desconhecendo-se a taxa de biodegradabilidade, tanto nas fases aeróbia como anaeróbica, e as condições ótimas para a biodegradação da cortiça. No entanto, a análise da composição química da cortiça demonstra que esta é composta por três constituintes principais (Suberina 45%, Lenhina 25% e Celulose 15%). O restante (15%) é formado por igual percentagem de taninos, ceras e minerais (Pereira, 2007). O comportamento da cortiça em aterro será fortemente influenciado por estes componentes (no Anexo III é apresentado a caracterização do comportamento da rolha de cortiça natural quando deposta em aterro sanitário).

A Tabela 12 apresenta as principais emissões do processo de Fim de Vida, incluindo essencialmente as emissões para o ar resultantes da queima e decomposição da cortiça, e a produção de resíduos sólidos decorrentes de parte das rolhas depositadas que não sofrem decomposição.

**Tabela 12. Fluxos de entrada e saída do processo de Fim de Vida por UF.**

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (kg/UF)</i>	<i>Saídas (kg /UF)</i>
Fim de vida	Incineração	1,5 kg	$\text{CO}_2$ 3,7813
			Resíduos 0,0744
Fim de vida	Deposição	2,0 kg	$\text{CO}_2$ 0,031
			$\text{CH}_4$ 0,0127
			Resíduos 1,98

### 3.4.6 Transporte Externo e Interno

Neste processo são usados empilhadores eléctricos para a movimentação de cargas no interior da empresa (Transporte Interno). O consumo eléctrico foi obtido através dos registos das unidades fabris que realizam a Fabricação e Acabamento das rolhas. O consumo foi reportado à unidade funcional por estimativa da produção de rolhas entre os abastecimentos dos empilhadores.

As emissões resultantes foram estimadas com recurso aos factores de emissão (EMEP-CORINAIR, 2007) função do tipo de combustível utilizado.

O Transporte Externo é aquele que é realizado fora das instalações fabris, nomeadamente, no transporte de matéria-prima e rolhas. Este transporte é realizado por via terrestre (uso do camião para transporte de matéria-prima, e rolhas para o mercado europeu), e por via aérea (avião) ou marítima (porta-contentores) para o mercado norte-americano. O principal consumo deste processo é o combustível utilizado nos meios de transporte utilizados e as emissões resultantes da queima desses combustíveis. O

Transporte Externo ocorre entre vários processos do ciclo de vida da rolha de cortiça, nomeadamente, a Gestão Florestal e Preparação da cortiça, entre a Preparação da Cortiça e Fabricação e Produção, entre Fabricação e Produção e Acabamento e Acabamento e Fim de Vida.

Os meios usados neste transporte são de três tipos: transporte rodoviário (camiões de 12 ton. e 3,5 ton.), transporte marítimo (porta-contentores) e transporte aéreo (avião). Em relação ao transporte rodoviário os consumos de combustível foram estimados para o transporte de matéria-prima (cortiça) e do produto final (rolhas) para o cliente engarrafador localizados nos principais países consumidores de vinho (França, Itália, Alemanha e Espanha). As considerações tomadas nesta inventariação poderão ser consultadas no Anexo II. Em relação ao transporte marítimo considerou-se o transporte entre Portugal (porto de Leixões ou gare marítima de Lisboa) e os EUA (nomeadamente o estado da Califórnia, porto de Oakland). A conversão das emissões para a unidade funcional foi realizada, recorrendo a factores de ponderação de peso da carga pela carga total do navio (ver Anexo II). O transporte aéreo foi considerado efectuar-se entre Portugal (aeroporto Francisco Sá Carneiro, Maia) e o aeroporto de São Francisco (estado da Califórnia, EUA). Os consumos foram estimados através do consumo médio de combustível do avião convertido para a unidade funcional através de um factor de ponderação de peso (ver anexo II). As emissões foram estimadas com recurso aos factores de emissão (EMEP-CORINAIR, 2007). A Tabela 13 apresenta os fluxos de materiais e energia do processo de Transporte Externo e Interno por Unidade Funcional (UF).

**Tabela 13. Fluxos de entrada e saída do processo de Transporte Externo e Interno por UF.**

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (unidade / UF)</i>		<i>Saídas (kg / UF)</i>	
Transporte interno <sup>1</sup>		Energia Eléctrica <sup>3</sup>	0,0345 kW.h	CO <sub>2</sub>	0,0211
				CO	4,21E-06
				NOx	6,28E-05
				COV's	1,56E-04
				SO <sub>2</sub>	6,66E-06
				PM	7,36E-06
				CH <sub>4</sub>	4,45E-05
Transporte externo <sup>1</sup>	Transporte matéria-prima <sup>2</sup>	Diesel <sup>4</sup>	0,1361 L	CO <sub>2</sub>	0,3569
				CO	8,11E-04
				NOx	3,87E-03
				COV's	9,09E-06
				SO <sub>2</sub>	1,30E-04
				PM	1,51E-04
				CH <sub>4</sub>	2,73E-05

<sup>1</sup> CorkSupply Portugal S.A.

<sup>2</sup> Considerando uma distância média de 350km, capacidade máxima de 12 ton., com um consumo médio de 40 L diesel /100km.

<sup>3</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos associados ao consumo de electricidade estão disponíveis em Lewis (1997) nas páginas 23 a 30.

<sup>4</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos de combustão são apresentados em presentes em EMEP-CORINAIR, 2007, páginas B770-11 a B770-15 e B710-17 a B710-76.

<sup>5</sup> Considerando uma distância média de 1305 km. Efectuado por grupagem com outras mercadorias em camião de 12 ton. Consumo médio de 40L diesel/100km.

<sup>6</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos de combustão são apresentados em EMEP-CORINAIR, 2007, páginas B851-03 a B851-25.

<sup>7</sup> Os factores de emissão relativos à emissão de compostos de combustão são apresentados em EMEP EMEP-CORINAIR, 2007, páginas B842-05 a B842-17

<sup>8</sup> Utilizado para o transporte de contentores e cargas aéreas até ao distribuidor. Considerando uma distância média de 50 km, capacidade máxima de 12 ton, com um consumo médio de 40 L diesel /100km



## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

Processo	Sub-Processo	Entradas (unidade / UF)	Saídas (kg / UF)			
Expedições			NH <sub>3</sub> 3,41E-07			
			N <sub>2</sub> O 3,41E-06			
			Camião <sup>5</sup> (expedições mercado Francês)	Diesel	0,2308 L	CO <sub>2</sub> 0,242
						CO 5,50E-04
						NO <sub>x</sub> 2,63E-03
						COV's 6,17E-06
						SO <sub>2</sub> 8,79E-05
						PM 1,36E-04
						CH <sub>4</sub> 1,85E-05
						NH <sub>3</sub> 2,31E-07
			N <sub>2</sub> O 2,31E-06			
			Avião <sup>6</sup> (expedições mercado EUA)	Querosene	4,8552 L	CO <sub>2</sub> 0,3738
CO 7,07E-05						
NO <sub>x</sub> 8,25E-04						
COV's 6,37E-06						
SO <sub>2</sub> 1,18E-05						
PM 3,07E-04						
CH <sub>4</sub> 5,90E-06						
N <sub>2</sub> O 9,43E-06						
Barco <sup>7</sup> (expedições mercado EUA)	Fuel Residual	0,9103 L	CO <sub>2</sub> 0,2723			
			CO 4,95E-04			
			NO <sub>x</sub> 1,44E-03			
			COV's 8,64E-05			
			SO <sub>2</sub> 4,32E-05			
			PM 8,13E-06			
			CH <sub>4</sub> 5,08E-06			
			N <sub>2</sub> O 7,62E-06			
Camião <sup>8</sup> (expedições mercado EUA)	Diesel	0,0332 L	CO <sub>2</sub> 0,0051			
			CO 1,42E-05			
			NO <sub>x</sub> 3,55E-05			
			COV's 1,29E-07			
			SO <sub>2</sub> 2,54E-06			
			PM 7,88E-06			
			CH <sub>4</sub> 2,31E-07			
			NH <sub>3</sub> 4,84E-09			
N <sub>2</sub> O 4,84E-08						
Camião <sup>9</sup> (expedições mercado Alemanha)	Diesel	0,3412 L	CO <sub>2</sub> 0,0734			
			CO 1,67E-04			
			NO <sub>x</sub> 7,96E-04			
			COV's 1,87E-06			
			SO <sub>2</sub> 2,66E-05			
			PM 1,07E-04			
			CH <sub>4</sub> 5,61E-06			
			NH <sub>3</sub> 7,01E-08			
N <sub>2</sub> O 7,01E-07						
Camião <sup>10</sup> (expedições mercado Espanha)	Diesel	0,2145 L	CO <sub>2</sub> 0,1243			
			CO 2,83E-04			
			NO <sub>x</sub> 1,35E-03			
			COV's 3,17E-06			
			SO <sub>2</sub> 4,51E-05			
			PM 9,32E-05			
			CH <sub>4</sub> 9,50E-06			
			NH <sub>3</sub> 1,19E-07			
N <sub>2</sub> O 1,19E-06						
Camião <sup>11</sup> (expedições mercado Itália)	Diesel	0,3427 L	CO <sub>2</sub> 0,0836			
			CO 1,90E-04			
			NO <sub>x</sub> 9,07E-04			
			COV's 2,13E-06			
			SO <sub>2</sub> 3,03E-05			
			PM 1,11E-04			
			CH <sub>4</sub> 6,39E-06			
			NH <sub>3</sub> 7,98E-08			
N <sub>2</sub> O 7,98E-07						
Camião <sup>12</sup> (expedições mercado Portugal)	Diesel	0,0464 L	CO <sub>2</sub> 0,0062			
			CO 1,41E-05			
			NO <sub>x</sub> 6,73E-05			
			COV's 1,58E-07			
			SO <sub>2</sub> 2,25E-06			

<i>Processo</i>	<i>Sub-Processo</i>	<i>Entradas (unidade / UF)</i>	<i>Saídas (kg / UF)</i>
			PM
			1,33E-05
			CH <sub>4</sub>
			4,74E-07
			NH <sub>3</sub>
			5,93E-09
			N <sub>2</sub> O
			5,93E-08

<sup>9</sup> Considerando uma distância média de 2095 km. Efectuado por grupagem com outras mercadorias em camião de 12 Ton. Consumo médio de 40L diesel/100km.

<sup>10</sup> Considerando uma distância média de 1030 km. Efectuado por grupagem com outras mercadorias em camião de 12 Ton. Consumo médio de 40L diesel/100km.

<sup>11</sup> Considerando uma distância média de 2125 km. Efectuado por grupagem com outras mercadorias em camião de 12 Ton. Consumo médio de 40L diesel/100km.

<sup>12</sup> Considerando uma distância média de 219 km. Efectuado por grupagem com outras mercadorias em camião de 12 Ton. Consumo médio de 40L diesel/100km.

### 3.5. Avaliação de Impacte Ambiental

A estrutura da metodologia de ACV (ISO 14040, 2008), no que respeita à avaliação de impactes ambientais, inclui as seguintes etapas: Classificação/Caracterização, Normalização e Ponderação. O resultado final da realização destas etapas é um indicador único agregado para o impacte ambiental. Neste estudo optou-se por conduzir o estudo tendo em consideração a etapa obrigatória (Classificação/Caracterização) e as etapas opcionais (Normalização e Ponderação). A razão desta opção tem como objectivo a obtenção de um indicador único agregado que facilita a tomada de decisão no que respeita ao desempenho ambiental do produto.

Nesta etapa são quantificados os impactes ambientais tendo por base os dados do inventário. A metodologia usada para avaliar os impactes ambientais associados à rolha de cortiça natural é o método desenvolvido pelo CML (Centre of Environmental Sciences) da Universidade de Leiden na Holanda, (Guinée, 2002). A versão mais recente desta metodologia (CML, 2007) disponibiliza factores usados nas etapas de Caracterização e Normalização. Na etapa de Caracterização foi utilizada a metodologia de Guinée et al. (2002) e nas etapas de normalização recorreram-se aos factores de normalização disponíveis em Huijbregts et al. (2003). Na etapa de ponderação as diferentes categorias de impacte ambiental são ponderadas consoante a sua importância. Devido ao facto de que esta etapa pode trazer algum grau de subjectividade à avaliação optou-se por usar três metodologias distintas na avaliação: a) considerando todos os problemas ambientais igualmente importantes; b) painel de peritos e c) a metodologia *distance to target*. Os resultados obtidos para cada um dos métodos são comparados no final.

As categorias de impacte consideradas neste estudo são: Aquecimento Global, Acidificação, Eutrofização, Formação de oxidantes fotoquímicos, Consumo de recursos não renováveis, Toxicidade Humana e Resíduos. A Tabela 14 apresenta as categorias de impacte ambiental consideradas bem como as substâncias responsáveis por cada categoria de impacte.

**Tabela 14. Categorias de Impacte ambiental consideradas. A tabela inclui as substâncias consumidas ou geradas durante o ciclo de vida da rolha de cortiça que contribuem para cada categoria de impacte ambiental.**

<i>Indicador</i>		<i>Unidades</i>	<b>Substâncias consumidas ou geradas durante o ciclo de vida da rolha de cortiça</b>
Aquecimento Global	(AG)	kg CO <sub>2</sub> eq.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Acidificação	(A)	kg SO <sub>2</sub> eq.	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>
Eutrofização	(E)	kg PO <sub>4</sub> eq.	NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, CQO
Formação de oxidantes fotoquímicos	(FOF)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	CO, Etanol, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Consumo de recursos não renováveis	(CRnR)	kg antimónio-eq./m <sup>3</sup>	Gás natural
Toxicidade humana	(TH)	kg 1,4-dichlorobenzeno eq.	NH <sub>3</sub> , PM, NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O, SO <sub>2</sub> , Zn
Resíduos	(R)	kg	Resíduos sólidos (lamas de ETAR, resíduos florestais)

A categoria Aquecimento Global está relacionada com a emissão de determinadas espécies de gases com efeito de estufa (por exemplo: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CFC) (Guinée, 2001). Neste trabalho considera-se o potencial de aquecimento global para um horizonte temporal de 100 anos, sendo esta a opção mais comum em estudos de ACV. Este potencial tem em conta a contribuição dos gases referidos para a absorção da radiação na atmosfera tendo como referência o dióxido de carbono. A determinação do potencial de aquecimento global de um determinado produto pode ser calculada pela soma do produto das quantidades emitidas de todos os gases com potencial de efeito de estufa pelos respectivos seus factores de caracterização. A Tabela 15 inclui os Factores de Caracterização usados neste trabalho. Na etapa de Classificação/Caracterização são relacionados os consumos e emissões de substâncias com as categorias de impacte ambiental listadas na metodologia CML (CML, 2007). Após agrupamento (Classificação) as substâncias que contribuem para uma determinada categoria de impacte são multiplicadas por um factor de caracterização que expressa a contribuição relativa dessa substância para a categoria de impacte considerada (ver Tabela 15).

Tabela 15. Factores de Caracterização (CML, 2007).

Categoria	Recurso natural / Poluente	Factor de Caracterização	Unidades/kg	Local de Emissão
Aquecimento Global	CO <sub>2</sub>	1	kg CO <sub>2</sub> -eq	ar
	N <sub>2</sub> O	298	kg CO <sub>2</sub> -eq	ar
	CH <sub>4</sub>	25	kg CO <sub>2</sub> -eq	ar
Acidificação	NH <sub>3</sub>	1,6	kg SO <sub>2</sub> -eq	ar
	SO <sub>2</sub>	1,2	kg SO <sub>2</sub> -eq	ar
	NO <sub>x</sub>	0,5	kg SO <sub>2</sub> -eq	ar
Eutrofização	NH <sub>3</sub>	0,35	kg PO <sub>4</sub> -eq	ar
	NO <sub>x</sub>	0,13	kg PO <sub>4</sub> -eq	ar
	N <sub>2</sub> O	0,27	kg PO <sub>4</sub> -eq	ar
	CQO	0,022	kg PO <sub>4</sub> -eq	água
Formação de oxidantes fotoquímicos	CO	0,027	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	ar
	Etanol	0,399	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	ar
	CH <sub>4</sub>	0,006	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	ar
	NO <sub>x</sub>	0,028	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	ar
Consumo de recursos não renováveis	SO <sub>2</sub>	0,048	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq	ar
	gás natural	0,0187	kg antimónio-eq/m <sup>3</sup>	
	NH <sub>3</sub>	0,1	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	ar
	PM 10	0,82	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	ar
	NO <sub>x</sub>	1,2	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	ar
Toxicidade humana	SO <sub>2</sub>	0,096	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	ar
	Zn	0,422	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	solo
	Resíduos	<i>não disponível</i>		

A Acidificação é causada pela libertação de protões H<sup>+</sup> nos ecossistemas terrestres ou aquáticos. Esta situação provoca desequilíbrios nos ecossistemas naturais, e a degradação precoce de edifícios, construções e esculturas (devido, por exemplo, à chuva ácida). Alguns autores recomendam que o dióxido de enxofre, os óxidos de azoto, amoníaco e ácido clorídrico sejam considerados para o cálculo do potencial de acidificação de um determinado sistema. A determinação do potencial de acidificação é expressa em kg SO<sub>2</sub>-eq., e pode ser calculada pela soma do produto das quantidades emitidas de todos os gases com potencial de acidificação e os seus respectivos factores de caracterização (ver Tabela 15 para factores de caracterização usados neste estudo).

A Eutrofização dos ecossistemas aquáticos e terrestres pode ser provocada por descargas de azoto, fósforo ou outros compostos orgânicos biodegradáveis. Pode ser definido como o enriquecimento dos ecossistemas por nutrientes levando a um aumento excessivo de algas e de plantas aquáticas de superfície e provocando uma deterioração da qualidade da água e a redução da utilização dessa água pelo ecossistema (Guinée, 2001). O potencial de eutrofização (reflectido pelos factores de caracterização incluídos na Tabela 15) é expresso em kg PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-eq, e é calculado pela soma do produto das quantidades emitidas de todos os gases com potencial de eutrofização e os seus respectivos factores de caracterização.

A Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) indica a capacidade para a formação de ozono a partir da degradação de compostos orgânicos (COV) sob presença de radiação ultra-violeta e NO<sub>x</sub>. O ozono troposférico tem efeitos no ecossistema e na saúde

humana. Os factores de caracterização (presentes na Tabela 15) são expressos em kg de etileno equivalentes (i.e., kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eq).

A categoria Consumo de Recursos Não Renováveis ou depleção de recursos abióticos está relacionado com a extracção de minerais e combustíveis fósseis. O factor de caracterização para o Consumo de Recursos não Renováveis é determinado para cada tipo de combustíveis fósseis com base nas suas reservas e é expresso em kg antimónio-eq. (ver Tabela 15).

A categoria de impacte ambiental Toxicidade Humana inclui os impactes para saúde humana causados pela emissão de substâncias tóxicas para o meio ambiente. O indicador de Toxicidade Humana pode ser expresso em kg 1,4-dichlorobenzeno-eq. (ver Tabela 15).

A categoria de impacte ambiental Resíduos contempla a produção de resíduos por um sistema. Nesta categoria estão indiferentemente incluídos todos os resíduos industriais banais, resíduos sólidos urbanos, lamas de tratamento de efluentes, e nalguns casos a própria rolha de cortiça em final de vida. Não estão disponíveis na bibliografia factores de caracterização para a categoria de produção de resíduos. Neste estudo foi considerado um factor de caracterização unitário (expresso em kg) considerando que todas as emissões possuem a mesma relevância ambiental.

A etapa que sucede à Caracterização é a Normalização. Nesta etapa os resultados do indicador, obtido anteriormente, são divididos por um valor de referência de uma zona geográfica referencial. A normalização é realizada com o objectivo de se poderem comparar os resultados de cada indicador ambiental entre eles, obtendo-se assim uma ordem de importância de cada problema ambiental. Neste estudo são utilizados valores de normalização que permitem relacionar com as emissões totais ou o uso de um recurso natural com a região de referência – Europa Ocidental. A Tabela 16 inclui os Factores de Normalização usados.

**Tabela 16. Factores de Normalização para referencial Europa Ocidental (CML, 2007).**

<b>Categoria</b>	<b>Factor de Normalização</b>
Aquecimento Global	5,21E+12
Acidificação	1,68E+10
Eutrofização	1,85E+10
Formação de oxidantes fotoquímicos	2,66E+09
Consumo de recursos não renováveis	1,69E+10
Toxicidade humana	1,01E+13
Resíduos <sup>1</sup>	3,19E+11

<sup>1</sup> Valor médio da gama (9,7 – 54E+10) apresentado por Blonk et al. (1997).

Na etapa seguinte – etapa de Ponderação – são atribuídos pesos às diferentes categorias de impacte com base na sua importância relativa. A ponderação permite a definição de pesos para as categorias do impacte de modo a que estes reflectam uma hierarquia de importância. Embora esta etapa seja uma etapa opcional da metodologia de ACV ela permite obter como resultado um indicador único agregado para o impacte ambiental. Devido ao facto de que existe uma subjectividade inerente à utilização das metodologias de ponderação, neste estudo serão utilizados três métodos de ponderação (MP): a) Método de Ponderação 1: Considerando todos os problemas ambientais igualmente importantes; b) Método de Ponderação 2: Painel de peritos (Sepällä, 2002). Este método define um conjunto de pesos atribuídos por um painel de peritos que avalia as categorias de impacte consoante a sua percepção; e finalmente, c) Método de Ponderação 3: *Distance to target* (Goedkoop, 1995). Este método de ponderação é baseado no princípio “distância ao alvo”, isto a distância entre o valor real e um valor objectivo para um determinado impacte. Quanto maior for esta diferença, mais grave é o problema ambiental. O valor alvo é baseado na análise dos danos provocados pelo impacte numa escala regional europeia.

Na Tabela 17 são apresentados os factores de ponderação utilizados neste estudo para os três métodos de ponderação considerados (MP1; MP2 e MP3).

**Tabela 17. Factores de Ponderação usados neste trabalho (Sepällä, 2002; Goedkoop, 1995).**

<b>a) MP1: Problemas ambientais igualmente importantes</b>	
Aquecimento Global	0,143
Acidificação	0,143
Eutrofização	0,143
Formação de oxidantes fotoquímicos	0,143
Consumo de recursos não renováveis	0,143
Toxicidade humana	0,143
Resíduos	0,143
<b>c) MP2: Painel de peritos (Sepällä, 2002)</b>	
Aquecimento Global	0,245
Acidificação	0,145
Eutrofização	0,176
Formação de oxidantes fotoquímicos	0,063 <sup>1</sup>
Consumo de recursos não renováveis	0,245 <sup>2</sup>
Toxicidade humana	0,063
Resíduos	0,063 <sup>1</sup>
<b>b) MP3: Distance to target method, (Goedkoop, 1995).</b>	
Aquecimento Global	0,071
Acidificação	0,286
Eutrofização	0,143
Formação de oxidantes fotoquímicos	0,071
Consumo de recursos não renováveis	0,143 <sup>3</sup>
Toxicidade humana	0,143
Resíduos	0,143 <sup>3</sup>

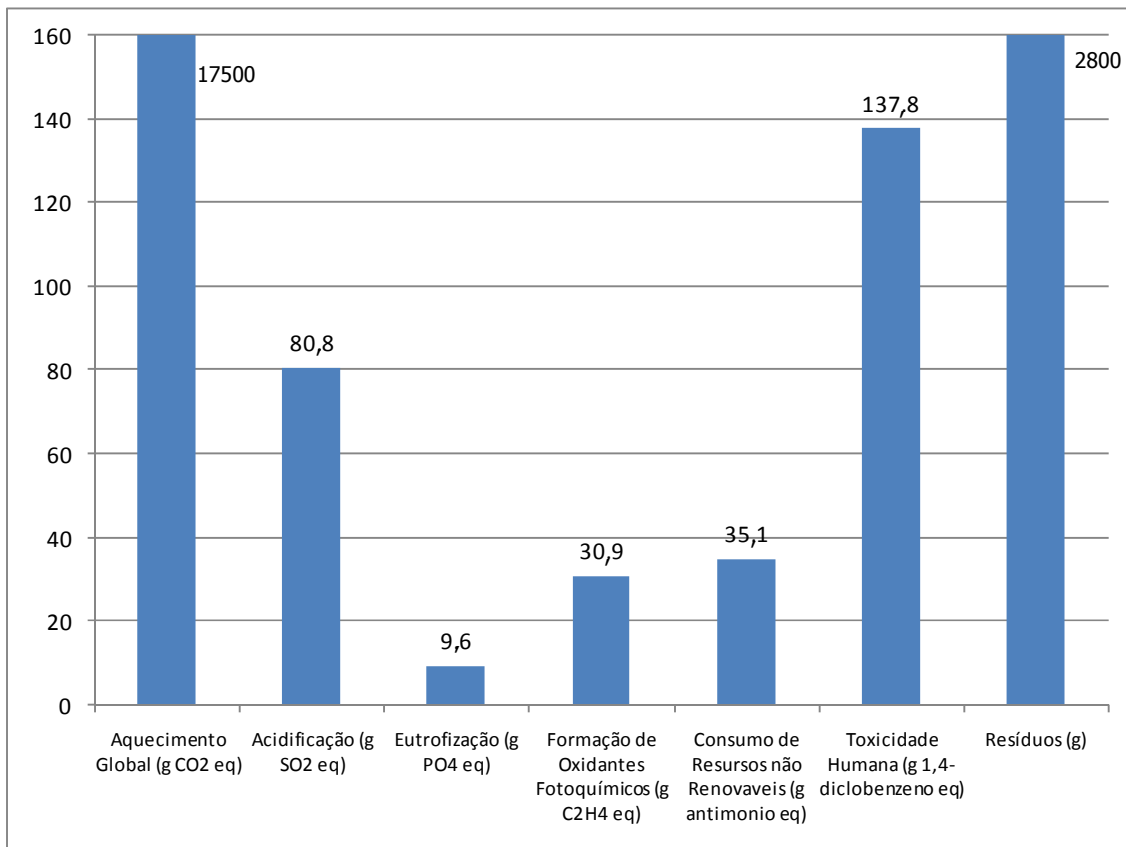
<sup>1</sup> Considerado igual à toxicidade humana

<sup>2</sup> Considerado igual a Aquecimento Global.

<sup>3</sup> Considerando uma importância semelhante à maioria dos restantes indicadores

### 3.6. Análise de Resultados e Discussão

Os resultados obtidos permitem concluir que a unidade funcional em estudo contribui para sete categorias de impacto ambiental que incluem o Aquecimento Global, Acidificação, Eutrofização, Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Consumo de Recursos não Renováveis, Toxicidade Humana e Resíduos. A Figura 22 apresenta os resultados obtidos na etapa de caracterização expresso em termos da unidade funcional (UF= 1000 rolhas de cortiça natural).



**Figura 22. Resultados da etapa de Caracterização: Contribuição da UF (1000 rolhas de cortiça natural) para as sete categorias de impacto ambiental. No Anexo I é apresentada, a contribuição de cada uma das fases do ciclo de vida, para cada categoria de impacto.**

A análise da contribuição relativa de cada categoria de impacto para o valor global do Impacte Ambiental (IA), calculado para os diferentes métodos de ponderação, indica que, o problema ambiental Formação de Oxidantes Fotoquímicos apresenta a maior contribuição relativa para o impacto ambiental global. Para o método de ponderação 1 (MP 1) a contribuição é igual a 37%. Já em relação ao método de ponderação 2 (MP2), o problema ambiental Aquecimento Global é o mais relevante com uma contribuição igual a 24% e para o método de ponderação 3 (MP3), o problema ambiental mais relevante é a Acidificação com uma contribuição de 34% (Tabela 18).

O segundo problema ambiental mais relevante é diferente consoante o método de ponderação utilizado. Para MP 1 e para o MP3 a segunda categoria mais relevante é a Resíduos (contribuem para o IA com, respectivamente, 28% e 31%). Para MP2, a

categoria que contribui em segundo lugar é Formação de Oxidantes Fotoquímicos (contribuição de 22% para o IA).

O terceiro problema ambiental mais relevante é comum para os métodos de ponderação 1 e 2. A categoria Acidificação contribui com 15% para o IA (MP1) e, com 20% para o IA (MP2). Para o método de ponderação 3, o terceiro problema ambiental mais importante é a Formação de Oxidantes Fotoquímicos que contribui com 20% para IA.

Para os três métodos de ponderação usados a categoria Toxicidade Humana é a que apresenta a menor contribuição relativa (inferior a 0,1% do valor global do Impacte Ambiental). A segunda menor contribuição também para os três métodos de ponderação é a Eutrofização apresenta uma contribuição relativa inferior a 3% para o impacte ambiental.

Em resumo, os resultados permitem concluir que quatro categorias possuem uma importância relativa significativa para o impacte ambiental causado pela rolha de cortiça natural. As categorias são: a Formação de Oxidantes Fotoquímicos, o Aquecimento Global, os Resíduos e a Acidificação. Para o método de ponderação 1 as categorias Formação de Oxidantes Fotoquímicos e Resíduos contribuem com cerca de 65% para o impacte global. Em relação ao método 2 existem três categoriais que apresentam uma contribuição de cerca de 66% (Aquecimento Global, Formação de Oxidantes Fotoquímicos e Acidificação). Finalmente, para o método 3, duas categorias (Acidificação e Resíduos) possuem uma contribuição relativa para IA igual a 65%.

**Tabela 18. Contribuição relativa (%) da rolha de cortiça natural para cada categoria de impacte ambiental utilizando três metodologias de ponderação na avaliação d impacte ambiental.**

<b>Categoria</b>	<b>Método de Ponderação 1 (MP1)</b> Todos os problemas ambientais igualmente importantes	<b>Método de Ponderação 2 (MP2)</b> Painel de peritos (Seppälä, 2002)	<b>Método de Ponderação 3 (MP3)</b> Distance to target, (Goedkoop, 1995).
Aquecimento Global	<b>11%</b>	<b>24%</b>	<b>6%</b>
Acidificação	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>34%</b>
Eutrofização	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>
Formação de oxidantes fotoquímicos	<b>37%</b>	<b>22%</b>	<b>20%</b>
Consumo de recursos não renováveis	<b>7%</b>	<b>15%</b>	<b>7%</b>
Toxicidade humana	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
Resíduos	<b>28%</b>	<b>16%</b>	<b>31%</b>

A análise da contribuição relativa de cada processo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural para o impacte ambiental global, indica que os processos que mais contribuem para o impacte ambiental global são a Fabricação/Produção, o Fim de Vida e a Gestão Florestal considerando os três métodos de ponderação utilizados (Tabela 19). Pela análise da Tabela 19 é possível verificar que o processo de Fabricação contribui, para o valor global de IA, com valores situados entre 28 e 34%, o Fim de Vida contribui com valores entre 18 e 24% do valor de IA e a Gestão Florestal contribui com valores entre



18 e 23%. O processo de Transporte Externo e Interno apresenta, comparativamente, a menor contribuição para o impacte ambiental global (inferior a 5%) para os três métodos de ponderação utilizados.

Em resumo, é possível concluir que a Fabricação e Produção, o Fim de Vida e a Gestão Florestal contribuem com mais de dois terços para o impacte ambiental global para os métodos de ponderação 1 e 3. Estes processos contribuem com, respectivamente, 77%, 70% e 70% para o impacte ambiental global.

**Tabela 19. Contribuição (%) de cada processo do ciclo de vida da rolha de cortiça natural para o impacte ambiental tendo em conta três metodologias de ponderação distintas. Impacte Ambiental (IA) = 5.29E-12 (MP1); IA=3.77E-12 (MP2) e IA = 4.91E-12 (MP3).**

<b>Processo</b>	<b>Método de Ponderação 1 (MP1) Todos os problemas ambientais igualmente importantes</b>	<b>Método de Ponderação 2 (MP2) Painel de peritos (Seppälä, 2002)</b>	<b>Método de Ponderação 3 (MP3) Distance to target, (Goedkoop, 1995)</b>
Gestão Florestal	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>18%</b>
Preparação cortiça	<b>12%</b>	<b>16%</b>	<b>14%</b>
Fabricação e Produção	<b>31%</b>	<b>34%</b>	<b>28%</b>
Acabamento	<b>7%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>
Fim de vida	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>24%</b>
Transporte externo e interno	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>4%</b>

Analisou-se também a contribuição relativa das emissões e consumo de recursos naturais para o impacte ambiental total causado por cada processo do ciclo de vida da rolha de cortiça (Tabela 20). A análise foi efectuada utilizando somente o método de ponderação 1 (MP1: considerando todos os problemas ambientais igualmente importantes). Os resultados obtidos indicam que a categoria Formação de Oxidantes Fotoquímicos, tal como atrás referido, é responsável por uma contribuição igual a 37% do IA total, sendo que esta categoria está essencialmente associada à emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV's) e de monóxido de carbono (CO).

As emissões que contribuem para a categoria Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) são na sua maioria causadas durante o processo de Fabricação e Produção. As emissões de COV's associadas a este processo possuem uma contribuição para o impacte global igual a 16.7%. Este valor, comparativamente alto, está directamente à utilização de álcool etílico durante o processo de Fabricação e Produção. O álcool etílico é utilizado no processo INNOCORK® onde actua como solvente de compostos indesejáveis presentes nas rolhas de cortiça natural, nomeadamente o TCA (2,4,6-tricloanisol). O processo Gestão Florestal é o segundo maior contribuidor para a categoria FOF. Neste processo esta associada à categoria FOF a responsabilidade por 16,3% do impacte ambiental global. As emissões de CO estão associadas à queima de madeira de sobreiro resultante de podas e limpezas efectuadas durante o processo de Gestão Florestal. Esta madeira é transportada e utilizada como combustível na indústria

panificadora. Em relação aos processos Preparação da cortiça, Acabamento, Fim de Vida e Transporte Externo e Interno, a contribuição da categoria FOF é comparativamente pouco relevante para o impacte ambiental.

A categoria de impacte Resíduos é a segunda mais importante e contribui com cerca de 28% para o impacte ambiental global. Os Resíduos são maioritariamente causados durante o processo de Fim de Vida. A categoria Resíduos no processo de Fim de Vida tem uma contribuição de 20,6% para IA. Este valor, comparativamente alto, está directamente associado ao baixo grau de decomposição das rolhas depositadas em aterro. O processo de Preparação da cortiça é o segundo maior responsável pela produção de resíduos. Neste processo a categoria Resíduos é responsável por 4,9% do impacte ambiental. Este valor deve-se à produção de lamas de tratamento biológico do efluente da cozedura e escalda. Nos outros processo onde há produção de resíduos (ex: Gestão Florestal e Fabricação/Produção) a contribuição da categoria Resíduos é comparativamente inferior.

**Tabela 20. Contribuição relativa das emissões para o impacte ambiental total (IA) para cada processo o ciclo de vida da rolha de cortiça natural usando o método de ponderação 1 (MPI: Todos os problemas ambientais igualmente importantes).**

Processos	Categorias de impacte ambiental	Poluentes / Efluentes líquidos / Resíduos associados às categorias de impacte ambiental	Contribuição (%) para o Impacte Ambiental
Gestão Florestal	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	1,7%
	Acidificação	NO <sub>x</sub>	2,1%
		SO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub>	<1%
	Eutrofização	NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub> + CQO	<1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	CO	15,1%
		SO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	1,2%
	Toxicidade humana	NO <sub>x</sub> + SO <sub>2</sub> + PM 10 + NH <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
Resíduos	Resíduos	2,2%	
Preparação de cortiça	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub>	1,6%
	Acidificação	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
		SO <sub>2</sub>	1,6%
	Eutrofização	NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub> + CQO	<1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	SO <sub>2</sub> + CO + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	<1%
	Toxicidade humana	NO <sub>x</sub> + SO <sub>2</sub> + PM 10 + NH <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
	Resíduos	Resíduos	4,9%
Consumo de rec. não renováveis	Gás Natural	2,5%	
Fabricação e Produção	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub>	2,7%
	Acidificação	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
		NO <sub>x</sub>	2,1%
	Eutrofização	SO <sub>2</sub>	3,0%
		NH <sub>3</sub>	<1%
	Eutrofização	NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub> + CQO	<1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	CO + SO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	1,7%
COV's		16,7%	
Toxicidade humana	NO <sub>x</sub> + SO <sub>2</sub> + PM 10 + NH <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%	
Resíduos	Resíduos	<1%	
Consumo de rec. não renováveis	Gás Natural	4,2%	
Acabamento	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub>	1,2%
	Acidificação	CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
		SO <sub>2</sub>	4,2%
	Eutrofização	NO <sub>x</sub> + NH <sub>3</sub>	<1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub>	<1%
SO <sub>2</sub>		1,1%	
		CO + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	<1%

## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

Processos	Categorias de impacte ambiental	Poluentes / Efluentes líquidos / Resíduos associados às categorias de impacte ambiental	Contribuição (%) para o Impacte Ambiental
	Toxicidade humana	NO <sub>x</sub> + SO <sub>2</sub> + PM 10 + NH <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%
Fim de vida	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	2,4% <1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	CO + SO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	<1%
	Resíduos	Resíduos	20,6%
Transporte externo e interno	Aquecimento Global	CO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O	1%
	Acidificação	NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub>	1% <1%
	Eutrofização	NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NH <sub>3</sub>	<1%
	Formação de oxid.fotoquímicos	CO + SO <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + NO <sub>x</sub>	<1%
	Toxicidade humana	NO <sub>x</sub> + SO <sub>2</sub> + PM 10 + NH <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	<1%

Pelo atrás citado é possível concluir que à emissão de apenas três poluentes, está associada uma contribuição de cerca 60% para o impacte ambiental total. Estes poluentes incluem: Resíduos, COV's e CO. Conclui-se ainda que, para o sistema em estudo, estes três poluentes contribuem essencialmente para duas categorias ambientais (Resíduos e Formação de Oxidantes Fotoquímicos).

Em relação à análise individual dos processos do ciclo de vida infere-se que o maior contribuidor é o processo de Fabricação e Produção. Este processo contribui com cerca de 30% para o valor global do Impacte Ambiental. Este facto é devido às emissões de COV's, mais especificamente de etanol, geradas durante o processo INNOCORK®. Os segundos maiores contribuidores são o processo Fim de Vida e Gestão Florestal. Estes processos contribuem cada um com, respectivamente, 23% e 22% para o valor de IA. O processo que menos contribui é o Transporte Externo e Interno. Este processo apresenta uma contribuição de apenas 3% para o impacte ambiental global.

### 3.7. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade, prevista na fase de interpretação da avaliação do ciclo de vida (NP EN 14040:2008), visa estimar os efeitos das escolhas efectuadas, dos métodos e dados, nos resultados calculados do impacte ambiental. Neste trabalho foi realizada uma análise de sensibilidade simples por introdução deliberada de variações nos valores dos dados de inventário e nos factores de normalização.

A análise de sensibilidade foi realizada por fases para as quais se efectuou a variação de 30 parâmetros (Tabela 21). Em primeiro lugar foi analisada a sensibilidade, do valor calculado do impacte ambiental, às variações dos valores dos dados do inventário (Análise de Sensibilidade I). Na análise efectuada os parâmetros usados incluem o valor mais baixo e o valor mais alto do intervalo de variação para cada parâmetro. Em segundo lugar, variaram-se os factores de normalização considerados significativos (Análise de Sensibilidade II). Por último, a análise contemplou alguns casos combinados de variação dos valores dos dados do inventário (Análise de Sensibilidade de casos Combinados - ASC). Nesta última análise são realizadas variações simultâneas

de alguns dados de inventário considerados significativos. Os resultados obtidos foram comparados com a situação inicial (caso zero) para a qual não existe alteração dos valores dos parâmetros.

### 3.7.1. Análise de Sensibilidade I: Variação dos valores dos dados do inventário

Nesta análise são alterados os valores iniciais dos dados do inventário. A alteração é apenas efectuada para os casos em que o parâmetro varia segundo uma gama de valores, ou nos casos em que o valor do inventário possui uma incerteza associada igual ou superior a 5% relativa ao valor inicialmente utilizado para o cálculo do Impacte Ambiental (IA) (ver Tabela 21). Nesta avaliação não foram contemplados todos os outros valores do inventário para os quais a incerteza é inferior a 5%.

**Tabela 21. Variação dos dados do inventário por processo e sub-processo.**

Processo	Sub-Processo	Parâmetro de inventário	Variação	Casos de sensibilidade
Gestão Florestal	Limpeza de mato: Gradagem	Diesel (consumo)	± 20%	AS 1
	Limpeza de mato: Corta-mato	Diesel (consumo)	± 20%	AS 2
	Fertilização	Diesel (consumo)	± 20%	AS 3
	Podas e limpezas	Diesel (consumo)	± 20%	AS 4
		Resíduos Florestais	100 – 150 kg/ árv./18 anos	
Preparação cortiça	Extracção	Diesel (consumo)	± 20%	AS 6
	Cozedura	Energia Eléctrica	± 20%	AS 7
		Gás Natural	± 20%	AS 8
		CQO <sup>1</sup>	258 - 324 mg O <sub>2</sub> /L	AS 9
	Escalda	Energia Eléctrica	± 20%	AS 10
Gás Natural		± 20%	AS 11	
		CQO	258 - 324 mg O <sub>2</sub> /L	AS 12
Fabricação e Produção	Pré-secagem	Gás Natural	± 10%	AS 13
		<i>Emissões de COV's</i> <sup>2</sup>	0,2E-01 ± 0,2E-02 kg/h	AS 14
		<i>Emissões de PM 10</i> <sup>3</sup>	0,6E-02 ± 0,4E-03 kg/h	AS 15
	Lavação	Gás Natural	± 10%	AS 16
		CQO	234 - 294 mg O <sub>2</sub> /L	AS 17
Secagem	Gás Natural	± 10%	AS 18	
	<i>Emissões de COV's</i> <sup>2</sup>	0,5E-02 ± 0,4E-03 kg/h	AS 19	
	<i>Emissões de PM 10</i> <sup>3</sup>	0,3E-02 ± 0,1E-03 kg/h	AS 20	
INNOCORK (processo de desodorização e remoção de odores estranhos)	Revestimento / Coloração	Gás Natural	± 8%	AS 21
		<i>Emissões de COV's</i> <sup>2</sup>	0,1E-01 ± 0,1E-02 kg/h	AS 22
		<i>Emissões de CO</i> <sup>4</sup>	0,2 ± 0,2 E-01 kg/h	AS 23
		<i>Emissões de NOx</i> <sup>5</sup>	0,6E-01 ± 0,1E-01 kg/h	AS 24
Aspiração	Gás Natural	± 10%	AS 25	
		<i>Emissões de PM10</i> <sup>3</sup>	0,4E-01 ± 0,2E-02 kg/h	AS 26
Transporte externo e interno	Transporte matéria-prima	Diesel (consumo) (camião)	± 10%	AS 27

## Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça Natural

Processo	Sub-Processo	Parâmetro de inventário	Variação	Casos de sensibilidade
	Expedições	Diesel (consumo) (camião)	± 10%	AS 28
Fim de vida	Deposição	% de rolhas direccionadas para deposição <sup>6</sup>	± 50%	AS 29
	Incineração	% de rolhas direccionadas para incineração <sup>7</sup>	± 50%	AS 30

<sup>1</sup> Parâmetro Carência Química de Oxigénio (CQO) dos efluentes resultantes da água de cozedura de cortiça, escalda e lavação da instalação fabril.

<sup>2</sup> Emissão de compostos orgânicos voláteis (COV's) nas chaminés de exaustão da instalação fabril.

<sup>3</sup> Emissão de Partículas (PM 10) nas chaminés de exaustão da instalação fabril.

<sup>4</sup> Emissão de Monóxido de Carbono (CO) nas chaminés de exaustão da caldeira da instalação fabril.

<sup>5</sup> Emissão de Óxidos de Azoto (NOx) nas chaminés de exaustão da caldeira da instalação fabril.

<sup>6</sup> Incerteza associada à recolha de informação sobre as taxas de utilização de métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU's).

<sup>7</sup> Incerteza associada com a recolha de informação sobre as taxas de utilização de métodos de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU's).

Os dados de inventário do processo de Fabricação/Produção e Acabamento possuem uma incerteza comparativamente inferior devido à automatização dos processos de fabrico, assim como ao rigor associado às medições. Para estes processos o registo dos valores foi efectuado nas instalações fabris incluindo uma medição em tempo real dos consumos dos equipamentos para a produção da UF. Nos processos de Gestão Florestal e Preparação da Cortiça, a utilização de valor médios anuais possui uma incerteza comparativamente superior.

A variação associada aos casos de sensibilidade AS29 e AS30 (parte do processo de Fim de Vida), está directamente relacionada com a incerteza existente em relação à quantidade de rolhas que têm com destino final cada uma das várias opções de gestão de resíduos existentes para cada mercado de vinho. Para estes casos de sensibilidade foi considerado um valor comparativamente elevado (50%). Este valor foi estimado através de dados bibliográficos de estatística anuais de consumo de vinho em cada região, estimativas dos resíduos sólidos urbanos enviados para incineração ou deposição para cada mercado de vinho.

Os resultados da Análise de Sensibilidade I (ASI) permitem concluir que do total dos casos analisados apenas quatro casos (AS5, AS8, AS29 e AS30) causam uma variação do impacte ambiental superior a 1% (Tabela 22). É possível ainda concluir que a variação associada à produção de resíduos de madeira derivados dos sub-processos de podas e limpezas nos montados de sobreiro (AS5) pode alterar o valor obtido para o impacte ambiental entre 2 a 3% para os três métodos de ponderação usados. A maior variação é obtida pela alteração do número de rolhas que é destinado à deposição (variação de 5.1 a 10%). A menor variação é obtida para o caso de sensibilidade AS36 (Incineração de rolhas em fim de vida) sendo igual a ±1% para o MP3.

**Tabela 22. Resultados da Análise Sensibilidade I (ASI): Variação (%) no valor do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação (MP) considerados. Apenas são apresentados os valores com variações superiores a 1% do valor de IA.**

Processo	Sub-Processo	Parâmetro de inventário	Casos de sensibilidade	Variação do IA (%)		
				MP	MP2	MP3
Gestão Florestal	Podas e limpezas	Lenha de árvore	AS 5	+3,2	± 2,4	± 2,2
Preparação cortiça	Cozedura	Gás Natural	AS 8	---	±1,3	---
Fim de Vida	Deposição	Resíduos Sólidos	AS 35	±7,8	+5,1 -5,7	+8,3 -10,0
	Incineração	Resíduos Sólidos	AS 36	± 1,3	± 2,6	± 1,0

### 3.7.2. Análise de Sensibilidade II: Variação dos Factores de Normalização

Nesta análise é avaliada a influência dos factores de normalização no resultado final calculado para o impacte ambiental (IA). Nesta análise optou-se por utilizar os factores de normalização para a referência: Mundo, em alternativa aos valores de normalização usados anteriormente para a zona geográfica da Europa Ocidental. Esta alteração visa analisar a influência que esta alteração possa revelar por consideração do mercado global de consumo de rolhas naturais. Em seguida, variou-se o factor de normalização do indicador Resíduos por consideração do valor mínimo e máximo da gama proposta por Blonk et al. (1997) (Tabela 23).

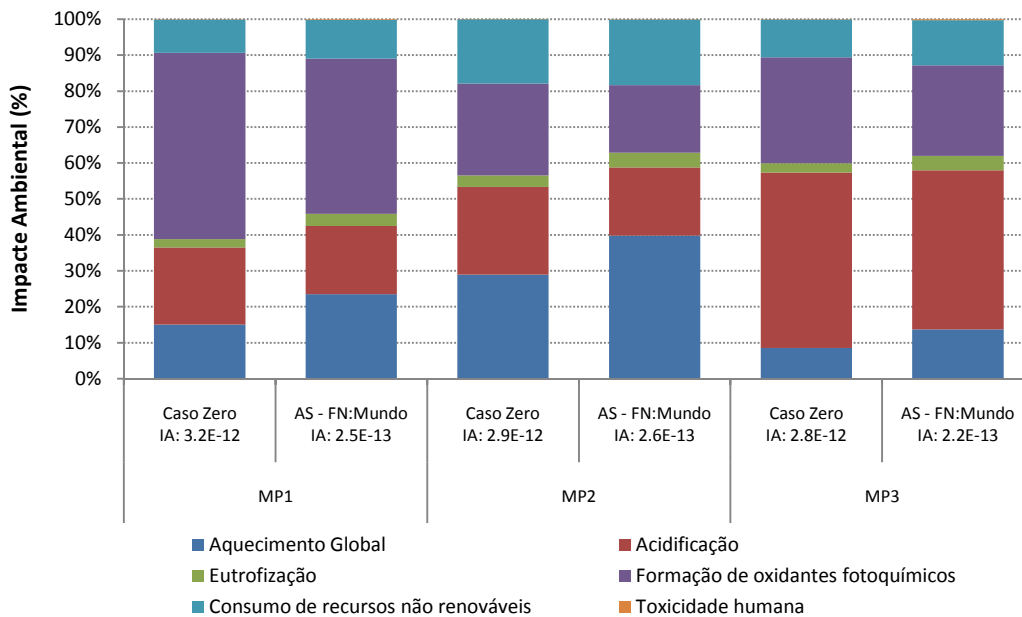
**Tabela 23. Análise de Sensibilidade II: Variação dos Factores de Normalização.**

Categoria de impacte ambiental	Factores de Normalização região: Mundo (CML, 2007)	Factores de Normalização (Blonk et al., 1997)
Aquecimento global	4,18E+13	-----
Acidificação	2,39E+11	-----
Eutrofização	1,58E+11	-----
Formação de oxidantes fotoquímicos	4,01E+10	-----
Consumo de recursos não renováveis	1,83E+11	-----
Toxicidade humana	3,63E+13	-----
Resíduos <sup>1</sup>	não disponível	9,7E+10 a 5,4E+11

<sup>1</sup> Gama de valores apresentada por Blonk et al. (1997).

A análise e avaliação dos resultados foram divididas em 2 fases. Na primeira fase foram analisados os resultados obtidos quando são usados Factores de Normalização para a região Mundo. Apenas foi avaliada a influência da variação de seis factores de normalização (Figura 23) devido a que não estão disponíveis factores de normalização

para a categoria Resíduos. Os resultados obtidos foram comparados com o caso zero para as três metodologias usadas na ponderação.



**Figura 23. Resultados da Análise Sensibilidade II. Resultados obtidos por utilização de Factores de Normalização para a região Mundo (CML, 2007). Comparação de resultados entre o caso zero e os diferentes casos de sensibilidade para os três métodos usados na ponderação (MP1 a MP3).**

Tal como seria expectável, os resultados indicam que os factores de normalização usados influenciam os resultados calculados para o impacte ambiental global para os três métodos de ponderação. O valor do impacte associado a cada categoria de impacte diminui significativamente, quando usados os factores de normalização para a região Mundo, para os três métodos de ponderação utilizados. Os resultados evidenciam uma diminuição do valor global de IA em cerca de 92% para MP1 e MP3 e 91% para o MP2 (Figura 23). Todas as categorias sofreram uma diminuição em valor absoluto quando são usados os factores de normalização para a zona geográfica – Mundo, no entanto, evidencia-se o facto das categorias de impacte Acidificação e Formação de Oxidantes Fotoquímicos, apresentarem uma redução mais evidente da sua contribuição para o impacte ambiental total.

Numa segunda fase desta análise de sensibilidade (ASII) é avaliado o efeito do uso no cálculo de um valor mínimo e máximo do factor de normalização para a categoria Resíduos (segundo Blonk et al., 1997). Os resultados indicam que as variações influenciam significativamente o valor calculado do impacte ambiental (as variações variam entre 32% e 70% em comparação com o caso zero) (Tabela 24). A variação negativa representa uma diminuição do valor global de impacte ambiental em relação ao caso zero. Enquanto um valor positivo significa um aumento do valor global de impacte ambiental. A variabilidade do resultado final é maior quando é seleccionado o valor máximo da gama para o factor de normalização (variação de 34 a 70%



comparativamente com o caso zero), enquanto para o valor máximo da gama a maior variação do resultado final é igual a 70% para o método de ponderação 3.

**Tabela 24. Resultados da Análise Sensibilidade II (ASII): Variação (%) nos resultados calculados do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação considerados (MP1, MP2 e MP3).**

Descrição	Factor de Normalização	Variação em relação ao caso zero (%)		
		MP 1	MP 2	MP 3
Gama de valores para o factor de normalização	Valor mínimo: 9.7E+10	46	32	49
Resíduos	Valor máximo: 5.4E+11	-64	-34	-70

### 3.7.3. Análise de Sensibilidade de casos Combinados (ASC): Variação dos valores dos dados do inventário

A última análise realizada contempla casos combinados de variação dos valores dos dados do inventário. Nesta análise são realizadas variações simultâneas dos dados de inventário por processo de ciclo de vida, e analisada a sua influência no resultado final do impacte ambiental para os três métodos de ponderação usados (Tabela 25). Os parâmetros variados são os considerados significativos. Estes incluem valores para consumos de combustível, de energia eléctrica, quantidade de resíduos gerados na gestão florestal, emissões gasosas do processo, distâncias percorridas nos transportes e sistemas de gestão de resíduos.

A análise de sensibilidade correspondeu a uma variação simultânea dos parâmetros analisados, considerando por um lado os valores da gama mínima, e por outro lado os valores para a gama máxima. Esta análise foi efectuada para todos os processos do ciclo de vida, com excepção do processo Fim de Vida. Neste processo uma variação nos dados de inventário para AS 29 provoca uma variação no AS 30 em sentido inverso. Ou seja, uma diminuição da quantidade de rolhas que são destinadas à deposição provoca um aumento da quantidade de rolhas que serão encaminhadas para a incineração e vice-versa.

**Tabela 25. Análise de Sensibilidade de casos Combinados (ASC): Variação simultânea dos dados de inventário considerados significativos (casos combinados).**

Processos	Combinação de casos	Casos Combinados
Gestão Florestal	AS 1 + AS 2 + AS 3 + AS 4 + AS 5	ASC 1
Preparação cortiça	AS 6 + AS 7 + AS 8 + AS 9 + AS10 + AS 11 + AS 12	ASC 2
Fabricação	AS 13 até AS 26	ASC 3
Transporte externo e interno	AS 27 + AS 28	ASC 5
Fim de vida	AS 29 + AS 30	ASC 6



Nesta análise conclui-se que a variação combinada dos parâmetros associados ao processo Fim de Vida resulta em variações do valor do Impacte Ambiental global entre valores inferiores a 1% e iguais a 6% (Tabela 26). Conclui-se que a maior variação é calculada para os casos de variações dos parâmetros associados às operações de fim de vida da rolha de cortiça (nomeadamente na quantidade de rolhas recolhidas e depostas e/ou incineradas). A segunda maior variação é calculada para o processo de Gestão Florestal. Para este processo são calculadas variações entre 2,9% e 3,7% do valor do impacte ambiental em relação ao caso zero. Finalmente, aos processos de Preparação da Cortiça, Fabricação, Acabamento e Transporte Externo e Interno está associada uma comparativamente menor variação do impacte ambiental para os três métodos de ponderação.

**Tabela 26. Resultados da Análise Sensibilidade de casos Combinados (ASC): Variação (%) do Impacte Ambiental (IA) para os três métodos de ponderação considerados (MP1, MP2 e MP3).**

<i>Processos</i>	<i>Casos combinados</i>	MP1	MP2	MP3
Gestão Florestal	ASC 1	± 3,7%	± 3,2%	± 2,9%
Preparação cortiça	ASC 2	± 1,2%	± 2,2%	± 1,4%
Fabricação e Produção	ASC 3	< 1%	±1,3%	< 1%
Acabamento	ASC 4	< 1%	< 1%	< 1%
Transporte Externo e Interno	ASC 5	< 1%	< 1%	< 1%
Fim de vida	ASC 6	± 5,0%	± 1,5%	± 6,0%

### 3.8. Análise de Cenários

#### 3.8.1. Cenário I: Queima controlada dos resíduos sólidos produzidos no processo de Gestão Florestal

Durante o processo de Gestão Florestal são produzidos resíduos sólidos que resultam das operações de corta-mato, gradagem e podas do montado de sobro. Estes resíduos de madeira são correntemente usados como combustível na indústria panificadora. Os fornos onde são queimados são responsáveis pela libertação de compostos com potencial para a formação de oxidantes fotoquímicos (ex: CO, CH<sub>4</sub> e NO<sub>x</sub>). No entanto, estas emissões podem ser reduzidas se a queima do resíduo sólido decorrer em caldeiras com controlo do processo de queima.

Na formulação deste cenário apenas se analisa qual o impacte resultante da substituição do processo corrente de queima dos resíduos sólidos (queima não controlada) por um processo alternativo de queima controlada na indústria panificadora. Na análise realizada são excluídas eventuais considerações que possam estar associadas à

substituição tecnológica. No entanto, estima-se uma redução significativa nas emissões de monóxido de carbono (CO), de compostos orgânicos voláteis (COV's), de metano (CH<sub>4</sub>) e de partículas (PM) (Tabela 27). Resta ainda explicitar a razão da não consideração de factores de emissão para os dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>). A fonte bibliográfica consultada (EMEP-CORINAIR, 2007), considera que as emissões CO<sub>2</sub> provenientes da queima de madeira natural, não devem ser consideradas como contribuidores para o problema ambiental associado ao aquecimento global. Segundo esta fonte de informação o CO<sub>2</sub> emitido por queima de madeira natural integra o ciclo curto de carbono, ou seja, as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da incineração deste tipo de material serão iguais às emissões que resultariam da decomposição da biomassa que ocorreria naturalmente no seu fim de vida.

**Tabela 27. Factores de Emissão para queima não controlada e queima controlada em fornos a lenha.**

Poluente	Factores de emissão para queima não controlada em fornos de lenha (kg/ton de biomassa) <sup>1</sup>	Factores de emissão para queima controlada em fornos de lenha (kg/ton de biomassa) <sup>2</sup>
	CASO ZERO	
CO	104,7	5,5
NOx	1,3	4,5
COV's	24,0	0,2
CH <sub>4</sub>	13,6	0,2
PM	13,9	4,6
CO <sub>2</sub>	não disponível	não disponível
SO <sub>2</sub>	0,2	0,2
N <sub>2</sub> O	não disponível	0,1

<sup>1</sup> Factores de emissão retirados de EMEP-CORINAIR (2007). Usados na avaliação do impacte ambiental para o caso zero.

<sup>2</sup> Factores de emissão retirados de EMEP-CORINAIR (2007). Usados na avaliação do impacte ambiental para o cenário I.

### 3.8.2. Cenário II: A reciclagem como única alternativa para a gestão de fim de vida das rolhas de cortiça natural

A reciclagem está normalmente associada ao reaproveitamento de materiais e portanto algumas das vantagens da reciclagem incluem a minimização da utilização de recursos naturais e a redução da quantidade de resíduos que necessita de outros tratamentos finais, como por exemplo, a deposição ou a incineração.

As alternativas existentes para o fim de vida são devidas facto das regras da segurança alimentar proibirem a reutilização de rolhas usadas como matéria-prima para a fabricação de rolhas técnicas. No entanto, as rolhas usadas podem ser utilizadas como matéria-prima para outras indústrias adjacentes ao sector corticeiro, como por exemplo, o sector da granulagem e aglomeração. Nestes sectores a cortiça é utilizada para o fabrico de pavimentos e isolamentos térmicos e acústicos.

Para a formulação deste cenário assumiu-se que as rolhas colocadas no mercado Português são recicladas. As estatísticas indicam que actualmente o mercado nacional absorve apenas cerca de 2% do total de rolhas produzidas em Portugal (APCOR, 2008). Este cenário pressupõe ainda a existência de um sistema nacional de recolha de rolhas

usadas e o seu transporte para a indústria de aglomerados. A indústria de aglomerados localiza-se essencialmente nos distritos de Setúbal e Faro (APCOR 2006, ver p.f. Figura 4 da secção 2.2 desta tese). O cenário analisado considerou estes locais como os destinos para onde são transportadas, por via rodoviária (camião), as rolhas recolhidas a nível nacional.

### **3.8.3. Cenário III: Eliminação do sub-processo INNOCORK® (processo de fabricação exclusivo da empresa que serviu como caso de estudo).**

O sub-processo designado por INNOCORK® (desodorização e remoção de odores estranho) é parte integrante do processo de Fabricação e utilizado em exclusivo pela empresa CorkSupply Portugal S.A. no processo de manufatura da rolha de cortiça natural. Este processo visa eliminar ou reduzir a presença do contaminante TCA (2,4,6 – tricloroanisol) responsável por atribuir ao vinho o “sabor a rolha”. Este processo foi desenvolvido para dar resposta ao elevado grau de exigência a nível da qualidade do produto final da empresa CorkSupply Portugal S.A.

Neste cenário optou-se por excluir este processo na avaliação do impacte ambiental, devido ao facto deste processo ser exclusivo da empresa. A razão de exclusão está exclusivamente associada ao facto de se visar a avaliação do impacte ambiental associada aos processos mais correntes das fases do ciclo de vida de uma rolha de cortiça natural.

### **3.8.4. Comparação dos resultados obtidos para os Cenários I, II e III**

Os resultados calculados para o impacte ambiental para cada um dos cenários foram comparados com os resultados calculados para o caso zero. Foram analisados os resultados obtidos em termos de impacte ambiental para os processos (Figura 24) e para cada uma das categorias de impacte ambiental (Figura 25). As figuras apresentam os resultados calculados por utilização do método de ponderação 1 (MP1: Todos os problemas ambientais igualmente importantes). Os três cenários considerados permitem uma redução do valor do impacte ambiental calculado por comparação com o caso zero.

Para cada cenário foram calculados para cada cenário a contribuição de cada cenário para cada categoria de impacte. Estes valores foram comparados com os valores calculados para o caso zero (Figura 24). Os resultados obtidos permitem concluir que para o Cenário I é calculada uma redução do valor inicial do impacte global de 13% (em relação ao caso zero). Para este cenário ocorre uma diminuição de 38% da categoria de impacte - Formação de Oxidantes Fotoquímicos, essencialmente devida à redução da emissão de monóxido de carbono (CO) através da queima controlada.

O Cenário II conduz a uma redução pouco significativa do impacte ambiental (inferior a 1%). Esta redução é essencialmente resultado da eliminação das emissões resultantes da

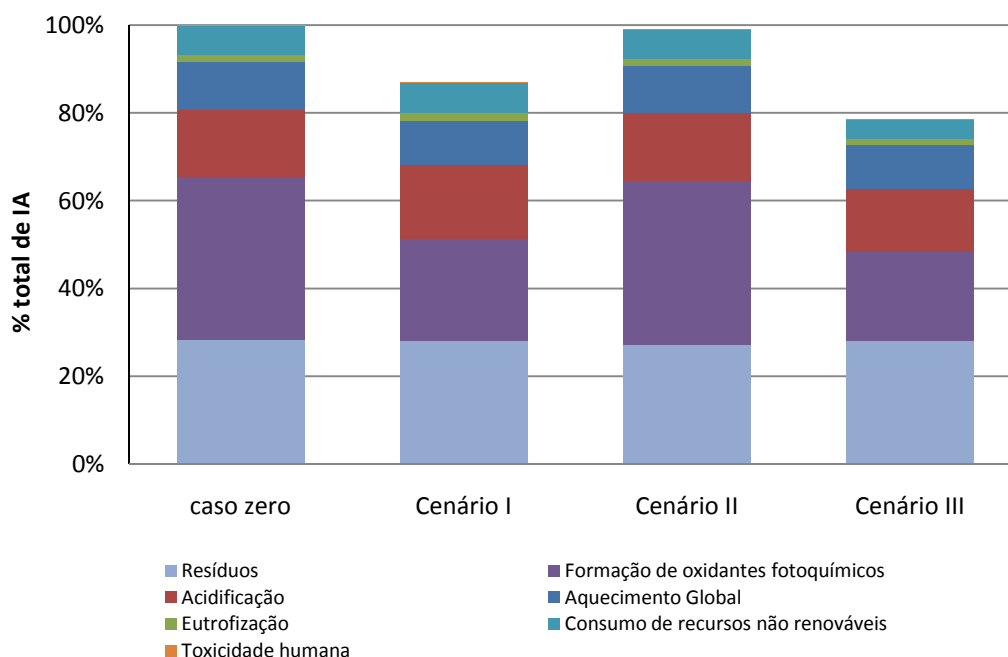
incineração e da deposição em aterro, que são operações correntes associadas à gestão de resíduos em Portugal. É possível concluir que para as premissas tomadas na elaboração deste cenário, a vantagem ambiental da reciclagem das rolhas tem uma expressão comparativamente pouco significativa para a redução do impacto ambiental total.

O Cenário III apresenta o valor comparativamente mais baixo para o impacto ambiental (redução de cerca 21% do impacto ambiental total em relação ao caso zero). Esta diminuição deve-se essencialmente à eliminação da emissão de compostos orgânicos voláteis (ex: o etanol) para atmosfera. Esta eliminação provoca uma consequente redução do valor da categoria de impacto Formação de Oxidantes Fotoquímicos. Este cenário conduz também à redução do consumo de gás natural, devido nas menores necessidades energéticas associadas à exclusão deste sub-processo. A esta redução está também associada a diminuição do valor da categoria de impacto de Consumo de Recursos não Renováveis.

Para cada cenário foram ainda calculados os valores do impacto ambiental por processo do ciclo de vida da rolha de cortiça. Estes valores foram comparados com os valores calculados para o caso zero (ver Figura 25). Os resultados obtidos permitem concluir que o Cenário I apresenta uma redução do valor do impacto (13% de redução por comparação com o caso zero). Este facto deve-se à diminuição das emissões de CO e NO<sub>x</sub>, PM e COV's, durante as operações realizadas no âmbito do processo de Gestão Florestal (Figura 25) associadas à queima não controlada da madeira de origem florestal.

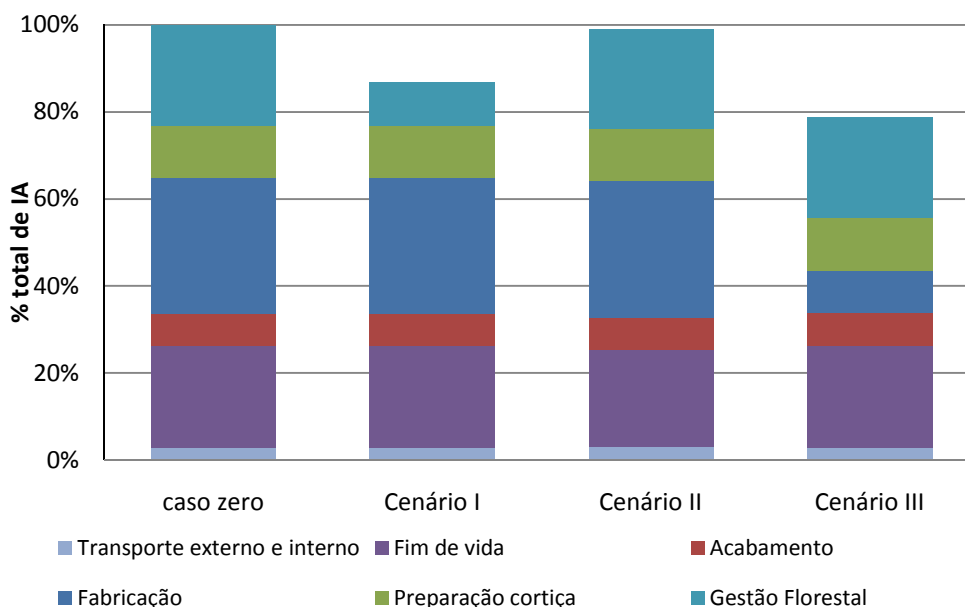
No Cenário II, que inclui a reciclagem como via única para a gestão de fim de vida das rolhas colocadas no mercado português, calcula-se uma redução do valor de impacto ambiental inferior a 1%. A este cenário está por um lado associada uma diminuição das emissões resultantes à incineração e deposição em aterro das rolhas (diminuição do peso deste processo em 4.8% em relação ao caso zero) e, por outro lado, um aumento do impacto relativo ao processo de Transporte Externo e Interno (aumento de 8.5% deste processo em relação ao peso relativo no caso zero). Devido ao facto da necessidade de transporte das rolhas usadas para reciclagem para as unidades de aglomerados situadas actualmente em Setúbal e Faro.

Em relação ao Cenário III a exclusão do sub-processo INNOCORK® conduz a uma redução do valor do impacto ambiental global de 21% em relação ao caso zero (Figuras 24 e 25). Esta redução é essencialmente devida à redução do impacto associado ao processo de Fabricação e Produção. Esta diminuição principalmente devida à redução do consumo total de recursos não renováveis (gás natural) e da eliminação de emissões de etanol para a atmosfera. Os resultados obtidos conduzem a uma redução do impacto para este processo de 68% em comparação com o caso zero (Figura 25).



**Figura 24. Resultados calculados (por categoria de impacto ambiental) para o impacto ambiental (%) para os três cenários (Cenário I, II e II) quando em comparação com o caso zero e por utilização do método de ponderação 1 (MP1: Todos os problemas ambientais igual igualmente importantes).**

**Cenário I: Queima controlada dos resíduos sólidos produzidos no processo de Gestão Florestal; Cenário II: A reciclagem como única alternativa para a gestão de fim de vida das rolhas de cortiça natural e Cenário III: Eliminação do sub-processo INNOCORK.**



**Figura 25. Resultados calculados (por processo do ciclo de vida) para o valor do impacto (%) para os três cenários (Cenário I, II e II) em comparação com o caso zero usando o método de ponderação 1 (MP1: Todos os problemas ambientais igualmente importantes).**

**Cenário I: Queima controlada dos resíduos sólidos produzidos no processo de Gestão Florestal; Cenário II: A reciclagem como única alternativa para a gestão de fim de vida das rolhas de cortiça natural e Cenário III: Eliminação do sub-processo INNOCORK.**

## Capítulo 4. Conclusões e trabalho futuro

Neste estudo foram caracterizados o sistema e subsistemas associados ao sector de produção da rolha de cortiça natural inserido no contexto empresarial português. Este sistema inclui a Gestão Florestal, a Preparação da Cortiça, a Fabricação e Produção, o Acabamento e o Fim de Vida. Os subsistemas incluem a produção de energia eléctrica, a gestão dos resíduos produzidos na gestão florestal e o transporte realizado nas instalações fabris bem como o transporte de cortiça (matérias-primas, subprodutos e produtos em fim de vida). Com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos naturais destes sistemas foi avaliado o potencial impacte ambiental global para cada um dos problemas ambientais identificados (incluindo: aquecimento global, eutrofização, acidificação, consumo de recursos não renováveis, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos e produção de resíduos). A avaliação do impacte ambiental recorreu à utilização de três métodos de ponderação diferentes. Em seguida, foi realizada uma análise da sensibilidade visando avaliar o efeito das variações dos parâmetros de inventário, dos factores de normalização e de casos combinados de parâmetros do inventário, no valor do impacte ambiental global.

Por último, são formulados cenários que, de modo simples, visam a avaliação do impacte ambiental para três situações distintas da situação analisada anteriormente (caso zero). Estes cenários são avaliados individualmente, em relação ao caso zero, no que respeita à sua influência no valor calculado para o impacte ambiental global. As principais conclusões relativas a este estudo são as seguintes:

- Durante o seu ciclo de vida a rolha de cortiça natural é responsável por consumos de materiais e energia e emissões de substâncias que causam um potencial impacte ambiental. Os consumos incluem a água, energia eléctrica, gás natural, produtos químicos e matérias-primas. Os poluentes gerados são emitidos para o ar, água ou solo. Para o ar são emitidos, por exemplo, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COV's, CH<sub>4</sub>, Etanol, partículas e SO<sub>2</sub>. Os resíduos produzidos incluem as lamas de tratamento de efluentes e os resíduos gerados na manutenção florestal. Os efluentes líquidos são produzidos nos sub-processos Cozedura/Esalda e Lavação.
- A rolha de cortiça natural contribui para sete problemas ambientais. Os mais relevantes são a Formação de Oxidantes Fotoquímicos, o Aquecimento Global, os Resíduos e a Acidificação. Outros problemas como o Consumo de Recurso Naturais, Eutrofização e Toxicidade Humana possuem uma relevância comparativamente inferior. Os resultados de quantificação de impactes ambientais para a etapa de Caracterização, expressos por unidade funcional são iguais a 17.5 kg CO<sub>2</sub>-eq para o Aquecimento Global; 0.08 kg SO<sub>2</sub> eq. para a Acidificação; 0.01 kg de PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> eq. para a Eutrofização; 0.03 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq. para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos; 0.035 kg antimónio eq. para o Consumo

de Recursos não Renováveis; 0,14 kg de 1,4 diclorobenzeno eq. para Toxicidade Humana e de 2,8 kg para os Resíduos.

- Entre as principais emissões gasosas emitidas durante o ciclo de vida da rolha de cortiça natural destaca-se a emissão de CO<sub>2</sub> com 15,3 kg CO<sub>2</sub>/UF, 0,47 kg de CO/UF, 0,11 kg COV's/UF, e 0,03 kg Etanol/UF. O efluente líquido apresenta um valor de 0,12 m<sup>3</sup>/UF e os resíduos sólidos produzidos 2,8 kg de resíduos/UF.
- A análise da contribuição relativa de cada categoria de impacto para o valor global do Impacte Ambiental (IA), calculado para os métodos de ponderação (MP1, MP2 e MP3) diferentes, indica que, o problema ambiental Formação de Oxidantes Fotoquímicos apresenta a maior contribuição relativa para o impacto ambiental global. Para MP1 a contribuição é igual a 37%. O problema ambiental Aquecimento Global é o mais relevante para MP2 com uma contribuição igual a 24%. A Acidificação, para MP3, é o problema ambiental com maior contribuição apresentando uma contribuição de 34%. O segundo problema ambiental mais relevante é diferente consoante o método de ponderação utilizado. Para MP 1 e para MP3 a segunda categoria mais relevante é a Resíduos (contribui para o IA com 28% e 31% respectivamente). Para o MP2 a categoria que contribui em segundo lugar é Formação de Oxidantes Fotoquímicos (contribuição de 22% para o IA).

Em resumo, os resultados permitem concluir que para MP1 as categorias Formação de Oxidantes Fotoquímicos e Resíduos contribuem com cerca de 65% para o impacto global. Em relação ao MP2 existem três categoriais que apresentam uma contribuição de cerca de 66% (Aquecimento Global, Formação de Oxidantes Fotoquímicos e Acidificação). Finalmente, para MP3, duas categorias (Acidificação e Resíduos) possuem uma contribuição relativa para IA igual a 65%.

- A análise da contribuição relativa de cada processo para o impacto ambiental global, considerando os três métodos de ponderação utilizados, indica que os processos que mais contribuem para o impacto ambiental global são a Fabricação, o Fim de Vida e a Gestão Florestal. O processo Fabricação contribui com valores situados entre 28 e 34% para o valor global de IA, o Fim de Vida contribui com valores entre 18 e 24% do valor de IA e a Gestão Florestal contribui com valores entre 18 e 23%. O processo de Transporte Externo e Interno apresenta curiosamente, uma comparativamente menor contribuição (inferior a 5%) para o impacto ambiental global para os três métodos de ponderação utilizados.
- As principais emissões causadas durante o ciclo e vida da rolha de cortiça natural são de compostos orgânicos voláteis, de resíduos e de emissões de gasosas associadas à queima de resíduos florestais. No processo de Fim de Vida são gerados resíduos que contribuem com cerca de 21% para o valor global de IA. Este é, comparativamente, o valor mais significativo para o impacto ambiental global. Durante o processo de Fabricação e Produção são emitidos



compostos orgânicos voláteis (etanol) gerados durante o processo INNOCORK®. Estas emissões representam 16,7% das emissões totais. No processo de Gestão Florestal são geradas emissões gasosas, essencialmente formadas por monóxido de carbono, resultantes da queima de resíduos florestais na indústria panificadora (15,1%). Estes três poluentes (resíduos, compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono) contribuem com cerca de 60% para o impacto ambiental global

- Em relação aos cenários analisados conclui-se que todos os cenários contribuem para uma redução do impacto ambiental global. No cenário I analisou-se a substituição da queima não controlada de resíduos florestais por processos de queima controlada, no cenário II avaliou-se a reciclagem de rolhas como única alternativa para a gestão de fim de vida e no cenário III, avaliou-se a eliminação de um sub-processo característico da empresa que disponibilizou os dados de inventário.

O cenário III apresenta o valor comparativamente mais baixo para o impacto ambiental (redução de cerca 21% do impacto ambiental total em relação ao caso zero). Esta diminuição deve-se essencialmente à eliminação da emissão de compostos orgânicos voláteis (o etanol) para atmosfera. O cenário I e II apresentaram resultados menos significativos em relação ao caso zero. Variações de 13% para o cenário I e inferior a 1% para o cenário II.

- A análise de sensibilidade revela que os resultados do impacto ambiental global não variam significativamente por alteração dos dados de inventário considerados significativos. As variações individuais dos parâmetros ou combinadas conduzem a alterações, do valor do impacto ambiental, inferiores a 10%. No entanto, para o caso onde se varia a gama associadas ao factor de normalização do indicador Resíduos verifica-se que esta conduz a variações significativas do valor do impacto (entre 32% e 70% do valor inicial do impacto ambiental).

Por comparação com os resultados disponíveis na bibliografia para a avaliação do ciclo de vida da rolha de cortiça natural, conclui-se que existe uma semelhança relativa ao número de categorias de impacto consideradas por alguns estudos em comparação como estudo da tese (ECOBILANCIO, 2006 e PWC/ECOBILAN, 2008). No entanto, uma avaliação por comparação directa de resultados não é possível. Isto deve-se a várias condicionantes: os estudos revistos não realizaram as etapas de normalização e ponderação, as metodologias adoptadas na avaliação de impactos são, em alguns casos, distintas e as fronteiras de sistema são diferentes. No entanto, uma análise dos resultados da caracterização verifica que as diferenças mais significativas verificam-se para os indicadores Acidificação, Eutrofização e Formação de Oxidantes Fotoquímicos. Para os restantes indicadores os resultados entre os estudos apresentam a mesma ordem de grandeza. No anexo IV são apresentados os resultados comparativos entre o estudo realizado e os resultados disponíveis na bibliografia revista.



Em relação a possíveis recomendações para trabalho futuro, elas poderão estar associadas a um alargamento das fronteiras do sistema de forma a completar o estudo realizado por inclusão de outros sistemas e subsistemas que possam apresentar relevância para o ciclo de vida da rolha de cortiça natural. Entre estes inclui-se, por exemplo, o subsistema associado à gestão de resíduos de embalagens gerados durante o ciclo de vida da rolha de cortiça natural, os processos associados às operações de transformação dos subprodutos da rolha de cortiça natural e a inclusão da fase de utilização na avaliação do ciclo de vida. Uma outra possível investigação passaria pela alteração do objecto de estudo e por exemplo, avaliar comparativamente o impacto ambiental da rolha de cortiça natural e dos vedantes alternativos que são actualmente comercializados.

## Bibliografia

ADEME (2005). Metodologia de contabilização de gases de efeito de estufa - The Bilan Carbone<sup>®</sup> Methodology. Consultado em 11 Abril 2007. Disponível em: <http://www2.ademe.fr/servlet/KBBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=15730>.

Andersson, K. (1998). “Life Cycle Assessment (LCA) of Food Products and Production Systems”, PhD thesis, School of Environmental Sciences, Department of Food Sciences, Chalmers University of Technology, GoÈteborg, Sweden.

APCOR (2000), “Anuário da Indústria Corticeira Portuguesa”, disponível em: <http://www.realcork.org/artigo.php?art=31>

APCOR - (2006). “Síntese de Estatísticas do Sector da Cortiça. Santa Maria de Lamas: Associação Portuguesa de Cortiça.

APCOR (2007), “Sector da Cortiça em números 2007”, *Cork Information Bureau*.

APCOR (2008), “Sector da Cortiça em números 2007”, *Cork Information Bureau*.

Aranda, I (2005). “Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings”, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Tecnologías Agroalimentarias, Madrid, Spain. Journal: Forest ecology and management, vol. 210, n.º 13, pp.117-129.

Arunachalam, M., Mohanraj, M. Mohan, N., Mahadevan, A. (2003) “Biodegradation of Catechin”, Proc.Indian Natl.Sci. Academy. V.69B, pp. 353-370.

Barlaz M. A., (2005). “Forest products decomposition in municipal solid waste landfills”. Accepted for publication, Waste Management.

Baffi, C. (2006). “Determination of biological stability in compost - A comparison of methodologies”, Università Cattolica S. Cuore, Istituto di Chimica Agraria e Ambientale, Piacenza, Italia. Journal: Soil Biology and Biochemistry, vol.39, pp. 1284-1293.

Bicho, M. (2005), “A rolhas de cortiça – da floresta à utilização”, Edição APCOR.

Blonk, H., 1997. Three reference levels for normalisation in LCA. In: Blonk, H.(Ed.), Ministry of Housing. Spatial Planning and the Environment (VROM), The Netherlands.

Brentrup, F., Kuèsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H. (2000). “Methods to estimate on-field nitrogen emission from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector”, Int. J. LCA 5 (6), pp. 349-357.

Capelo, J. (2008). “Ecologia de comunidades vegetais e Fitossociologia aplicadas ao Ordenamento Florestal de montados de sobro e azinho no Baixo Alentejo”. Tese de doutoramento.

Cederberg, C. and Mattsson, B. (2000). “Life cycle assessment of milk production: a comparison of conventional and organic farming”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 8, pp. 49-60,.

Cerullo, S. e ECOBILANCIO (2006). , “Ecobilancio di Prodotti in Sughero”. Associazione Nazionale delle Industrie Forestali e della Lavorazione del Legno  
CIPR (2006), “Código Internacional das Práticas Rolheiras” - CELIÈGE, Santa Maria de Lamas.

Chandler et al., (1980). “Predicting methane fermentation biodegradability”. *Biotechnology and Bioengineering Symposium No. 10*, pp. 93-107.

CML (2007). “CML's impact assessment methods and characterization factors”. Institute of Environmental Sciences, Leiden University, Holand.

Colman, T., Päster, P., (2007). Paper No. 9 “Red, White And “Green”: The cost of carbon in the global wine”. Trade American Association of Wine Economists AAW Working. Disponível em: [www.wine-economics.org](http://www.wine-economics.org).

Costa, A., Pereira, H., (2004). “Caracterização e análise de rendimento da operação de traçamento na preparação de pranchas de cortiça para a produção de rolhas.”, *Silva Lusitania*, Vol. 12, nº1, p.52-66.

Cowell, S.J., (1998). “Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: Integration into Decision Making”. University of Surrey, Centre for Environmental Strategy. Ph.D. thesis. Guildford, UK.

Cummings S. P. e Stewart, C.S., (1994) “Methanogenic interactions in model landfill co-cultures with paper as the carbon source”. *Journal: Applied Microbiology Volume 20 Issue 5*, pp. 286 - 289

DGDR (2000). “The cork oak and the cork”. Edição: DGDR, Lisboa, Portugal.

ECOBILAN - PWC (2006). Software TEAM <sup>TM</sup> disponível em: [http://www.ecobalance.com/uk\\_team.php](http://www.ecobalance.com/uk_team.php)

ECOBILANCIO, (2004), “Life Cycle Assessment Of A Single-piece Natural Cork Stopper For Oenological Use”. Disponível em: [www.federlegno.it/associazioni/assolegno/](http://www.federlegno.it/associazioni/assolegno/).

EMEP/CORINAIR (2007). “Emission Inventory Guidebook - Technical report No 16/2007”, European Environmental Agency.

EEA (2006). “European Environment Agency: Air Emission data set for Indicators”, Environmental European Agency.

EEA (2007). “Europe's Environment The fourth assessment”, Environmental European Agency, Copenhagen, Denmark.

EEA (2007). “The road from landfilling to recycling: common destination, different routes”. Environmental European Agency, Copenhagen, Denmark.

EEA (2007). “Waste management options and climate change”. Environmental European Agency, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

EPA (2003). “Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics In Municipal Solid Wastes”, US EPS, Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, USA.

EPA (2005). “Municipal Solid Waste in The United States, Facts and Figures”, US EPA.

Erses, A. et al, (2007). “Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills”. *Journal Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 5418-5426.

Forgues, C., (2007). “Carbon Appraisal of the different methods used for closing still wines”, released by Cairn Environment on Oct 2007.

Forster-Carneiro, T. et al. (2008). “Anaerobic digestion of municipal solid wastes: Dry thermophilic performance”, *Journal: Bioresource Technology*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech)

Forsyth, K., Oemcke, D., (2008). “Greenhouse Gas Accounting Calculator Users Guide Version 1.1” Developed by Provisor Pty Ltd and Yalumba Wines.

Frischknecht, R., Althaus, H-J., Bauer, C., Doka, G., Heck, T., Jungbluth, N., Kellenberger, D., Nemecek, T., (2007). “The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Service”. *Int J LCA*, 2007.

Gil, L. (2006). “A cortiça e o vinho”, Edição INETI, Lisboa.

Gil, L. (1998). “Cortiça – Produção, Tecnologia e Aplicação”, Edição INETI, Lisboa.

Gil, L. (2000). “Cortiça – Produção, Tecnologia e Aplicação”, Edição INETI, Lisboa.

Goedkoop, M., Spriensma, R., (1999). *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle assessment. Methodology report*, PRé Consultants, Amersfoort, Netherlands.

Guinée, J. B., Goreáe, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. De Oers, L., Van Wegener Sleswijk, A., Suh, S., Udo De Haes, A., Bruijn, H. De Duin, R., Huijbregts, M. A. J., (2002). “Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to ISO Standards”, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Guinée, J.B., (2002). “Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards”. In Series: Eco-efficiency in Industry and Science, Vol 7, Guinée J.B., (Eds.), Kluwer Academic Publishing, The Netherlands.

Guinée, J.B., (2001). LCA - An operational guide to the ISO-standards - Part 1: LCA in perspective, J.B. Guinée, Editor, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science - Leiden University (CML).

Ham R., (2003). “Effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes”. Journal: Waste management, vol. 23, pp .419-423.

Hamoda, M., (1998). “Evaluation of municipal solid waste composting kinetics”. Journal: Resources, Conservation and Recycling vol.23, pp. 209–223

Haug, R.T., (1993). “The Practical Handbook of Compost Engineering”. Lewis Publishers, Boca Raton, Fl. 717 páginas.

Hauschild, M., (2000). “Estimating pesticide emission for LCA of agricultural products”. In Weidema B P, Meeusen M J C (ed.) Agricultural data for Life Cycle Assessment, II vol., 64-79, Agricultural Economics Research Institute, The Hague.

Hermann, B. G, et al (2007). “Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators”, Journal of Cleaner Production, volume 15, Issue 18, Pages 1787-1796.

Hermann, B. G., Kroeze C.,Jawjit W., (2006). “Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators”, in J. of Cleaner Production.

Houghton, J. T. et al, (1997). “Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions”, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 1 1-3. The Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), London.

Huijbregts, M.A.J., (2001). “Uncertainty and variability in Life Cycle Assessment”, PhD thesis, University of Amesterdam, Amesterdam, The Netherlands.

ICEP/AIECN/AIEC (2000). “The art of cork”, Edição: ICEP/AIECN/AIEC, Lisboa (n.d.).

ISO 14040 (2008). “Gestão ambiental - Avaliação do Viclo de Vida - Princípios e Enquadramento”. Instituto Português da Qualidade, Portugal.

IPCC (1991). “The Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment”, J.T. Houghton, B.A. Callander, and S.K. Varney, Editors, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2006). “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory”. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Publicado por: IGES, Japan. ISBN-488788-032-4.

Johansson, E., (1998). “Chlorination and biodegradation of lignin”, Department of Water and Environmental Studies. Journal: Soil Biology and Biochemistry, vol. 32, pp. 1029-1032.

Kolattukudy, P. E. (1980). “Biopolyester Membranes of Plants: Cutin and Suber”. Science Magazine Vol. 208. no. 4447, pp. 990 – 1000.

Komilis, D. et al, (2006). “The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes”, in Waste Management Journal, Journal: Waste Management, vol. 23, pp. 419–423.

Komilis, D., (2004). “Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes”. Journal: Water Research, vol. 38, pp. 1707–1714.

Martin M. S. e Victoria M. L., (1981). “Conversion of Cellulose to Methane and Carbon Dioxide by Triculture of *Acetivibrio cellulolyticus*, *Desulfovibrio* sp., and *Methanosarcina barkeri*” Journal: Appl Environ Microbiol, Vol.; 42, pp. 413–420.

Liwarska-Bizukojc, E., (2002). “Estimation of viable biomass in aerobic biodegradation processes of organic fraction of municipal solid waste (MSW)”. Journal of Biotechnology, vol.101, pp.165-172.

Lewis, C. A., (1997). “Fuel and Energy Production Emission Factors”. MEET Project: Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport. Task No. 3.4, Deliverable No. 20, Contract No. ST-96-SC.204. Public dissemination - Project funded by the European Commission under the Transport RTD programme of the 4th Framework programme.

Ludwig, C. H., (1971 “Lignins: occurrence, formation, structure and reaction”. In Isolation and structural studies, p.165-230

Magalhães, P.(2007). “GREEN CORK - Programa de Reciclagem de Rolhas de Cortiça”. Earth Condominium program. Consultado a 12 de Dezembro 2007. Disponível em: <http://earth-condominium.com/port/green.html>

Mendes, A., (2002). “A ECONOMIA DO SECTOR DA CORTIÇA EM PORTUGAL. Evolução das actividades de produção e de transformação ao longo dos séculos XIX e XX (Documento de Trabalho)”, Universidade Católica Portuguesa, Faculdade de Economia e Gestão.

Mohee, R. et al., (2007). “Biodegradability of biodegradable-degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions”. Journal: Waste Management vol.28, pp. 1624 -1629.

Nguyen, P. at al., (2007). “Anaerobic digestion of municipal solid waste as a treatment prior to landfill”. Journal: Bioresource Technology, vol. 98, pp. 380–387.

Nicoletti, G. M., Notarnicola, B., Tassielli, G., (2001). “Comparison of conventional and organic wine”, Proceedings of the International Conference LCA in Foods in Goteborg, pp.26-27.

Niederl-Schmidinger A., Narodoslowsky M., (2008). “Life Cycle Assessment as an engineer’s tool?”, Journal of Cleaner Production, 16, 2 pp.45-252

OECD (2007). “Waste”. OECD Environmental Data, Environmental Performance and Information Division OECD Environment Directorate Working Group on Environmental Information and Outlooks, COMPENDIUM 2006/2007.

Oliveira, M.A., Oliveira L., (2006). “The Cork”. Edição Corticeira Amorim, Rio de Mouro, Portugal.

Parameswaran e Wilhelm, 1979). “Degradation of Raspberry Suberin by Fusarium solani f. sp. Pisi and Armillaria mellea” Journal of Phytopathology Volume 110 Issue 3, Pages 192 - 199

Pereira H., (2007). “Cork: Biology, Production and Uses”, Edição ELSEVIER.

Pereira, J. et al., (2007). “Carbon Sequestration by different ecosystems in the South of Portugal”, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.

Pereira, J. et al., (2007). “Net ecosystem carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems. The effect of drought”, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.

Ponsá, S. et al., (2007). “Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process”. Journal: Waste Management. (n.d.)

PWC/ECOBILAN (2008). “Evaluation of the environmental impacts of Cork Stoppers versus Aluminium and Plastic Closures”, Analysis of the life cycle of Cork, Aluminium and Plastic Wine Closures Report. Report prepared for CORTICEIRA AMORIM, SGPS, SA. Prepared by PricewaterhouseCoopers/ECOBILAN. Consultado a 12 de Dezembro 2008. Disponível em:  
<http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Noticias/>

SAIC, (2006). “Life Cycle Assessment: Principles and practice”. Scientific Applications International Corporation, National Risk Management Research Laboratory, Office of research and Development. US, Environmental Protection Agency.

Santos, F.D., Miranda, P. (2006). “Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação”. Projecto SIAM II. Gradiva, Lisboa

Simpson, M. et al., (2004). “A comparison of plant and microbial biomarkers in grassland soils from the Prairie Ecozone of Canada”. Organic Geochemistry, vol. 36, pp. 425–448.

Timothy J., (2001). “Lignin”. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc.

The Greenhouse Gas Protocol (2004). “A Corporate Accounting and Reporting Standard”, developed by World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute.

Themelis, N. et al., (2006). “Methane generation in landfills” Journal: Renewable Energy, vol. 32, pp. 1243–1257.

Tomé, M., Rodrigues, J.M. (2008). Inventário Florestal Nacional. DGRF, ISA-DEF

Van Soest, P. J., (1994). “Nutritional ecology of the ruminant”. 2.ed. Ithaca, NY: Cornell Univ. Press.

Wine Institute (2007). “Per Capita Wine Consumption by Country”. The Wine Institute. Consultado a 14 de Abril de 2008. Disponível em: <http://www.wineinstitute.org/files/PerCapitaWineConsumptionCountries.pdf>

WWF (2008), “Sobreiro, uma barreira contra a desertificação”. Relatório WWF/CEABN, Junho 2008, consultado a 7 de Junho de 2008, disponível em: <http://www.isa.utl.pt/ceabn/uploads/docs/RelatorioFinalDesertificacao.pdf>



## Bibliografia Complementar

Anónimo (s.d.). “le petit liege”. Consultado a 14 de Dezembro 2007. Disponível em: <http://users.swing.be/petit.liege/>

Anónimo (s.d.). “Cortiça: Amiga do Ambiente: Reciclagem”. Consultado a 15 de Janeiro de 2008. Disponível em: <http://www.realcork.org/artigo.php?art=278>

Anónimo (s.d.). “Recork América, natural cork recycling: Making a Difference one cork at the time”. Consultado a 12 de Outubro de 2007. Disponível em: [http://www.recorkamerica.com/recork\\_getinvolved.html](http://www.recorkamerica.com/recork_getinvolved.html)

Ardente F., Beccali M., Cellura M., Mistretta M. (2008), “Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board”. Journal: Energy and Building, vol. 40, n.º1, pp.1-10.

Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M. and Brano V.L. (2008). “Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, pp. 200-217.

Baumann H. and Tillman, A.M. (2002). “The Hitchhiker's Guide to LCA”, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.

Cobra, J (1998). “A Valorização da rolha de cortiça”, Lavoura Portuguesa 1997-98, pp.28-40.

EEA (1997). “A guide to approaches, experiences and information sources Life Cycle Assessment”, European Environmental Agency. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html>

Gibson, L.J.; M. F. (1998) “Ashby Cellular Solids. Structure and Properties”. Pergamon Press, Oxford, UK.

Hégaas E. M., (2000). “Life Cycle Assessment (LCA) of industrial milk production”. Int. J. LCA, 3: 15-20.

Heijungs R, Guineê J B, Huppes G, Lankreijer R M, Udo De Haes H A, Wegener Sleeswōâjk A, Ansems A M, Eggels P G, Van Duin R, Goede H P, (1992).“Environmental life cycle assessment of products. Guide and Backgrounds”, CML, TNO, B&G, Leiden.

IPF (1988). “Cortiça”. Instituto dos Produtos Florestais, Lisboa, Portugal.

Klemes Huisingh D., (2006). “Economic use of renewable resources, LCA, cleaner batch processes and minimizing emissions and wastewater”. Journal of Cleaner Production, Journal of Cleaner Production vol. 2, pp. 159-163.

Malcolm J.R., Liu C., Miller L.B., Allnutt T., Hansen L. (2002). Global Warming and Species Loss in Globally Significant Terrestrial Ecosystems at Risk. WWF

Medeiros, H., (2006). “ABC Insulation Corkboard”, Ed. JNC, Porto, Portugal.

## ANEXO I – Avaliação dos impactos ambientais: Resultados da etapa de Caracterização

Este anexo apresenta os resultados obtidos, relativos ao impacto ambiental, para a etapa de caracterização da avaliação do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.

Os resultados apresentados para as sete categorias de impacto (**Aquecimento Global**, **Acidificação**, **Eutrofização**, **Formação de Oxidantes Fotoquímicos**, **Consumo de Recursos não Renováveis**, **Toxicidade Humana** e **Resíduos**) são apresentados por tipo de processo das fases do ciclo de vida da rolha.

### A.1.1 - Aquecimento Global

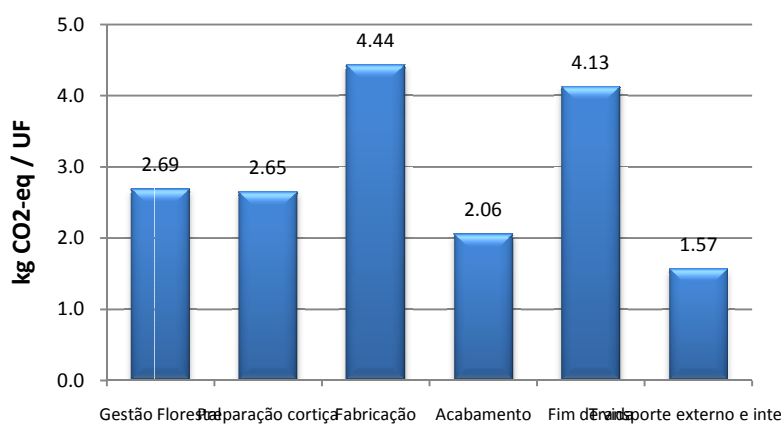


Figura A1. Contribuição da rolha de cortiça Natural para o indicador Aquecimento Global.

### A.1.2 - Acidificação

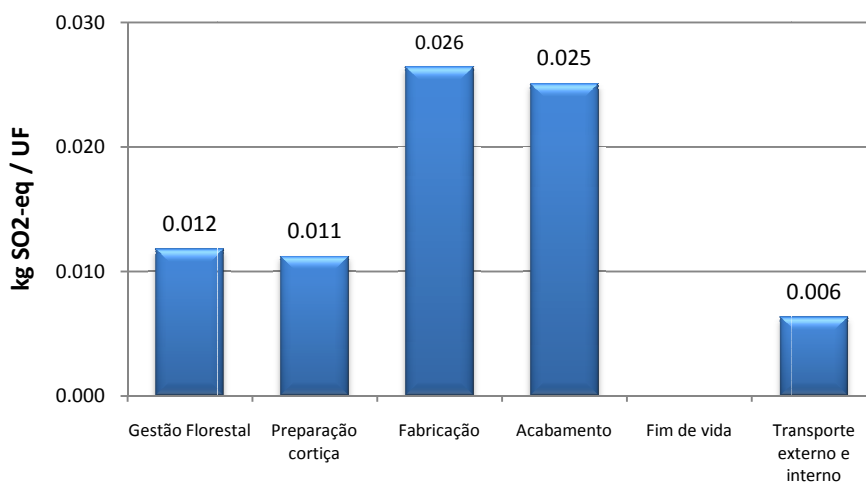
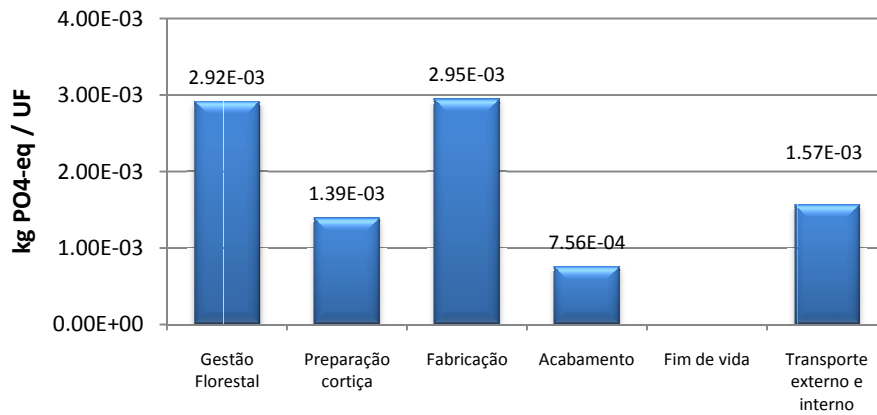


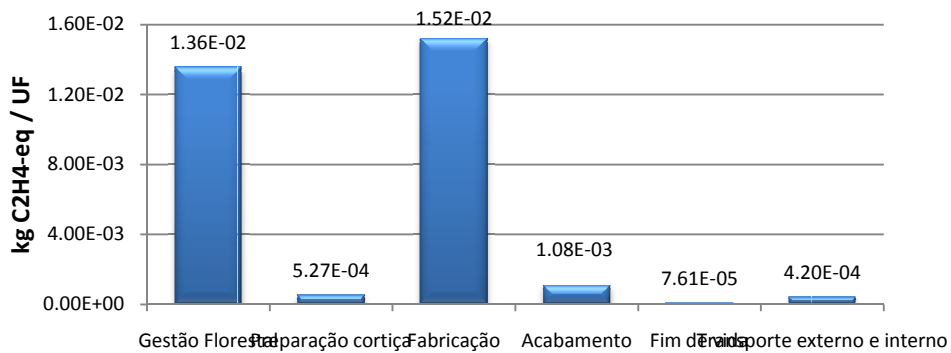
Figura A2. Contribuição da rolha de cortiça Natural para o indicador Acidificação.

**A.1.3 - Eutrofização**



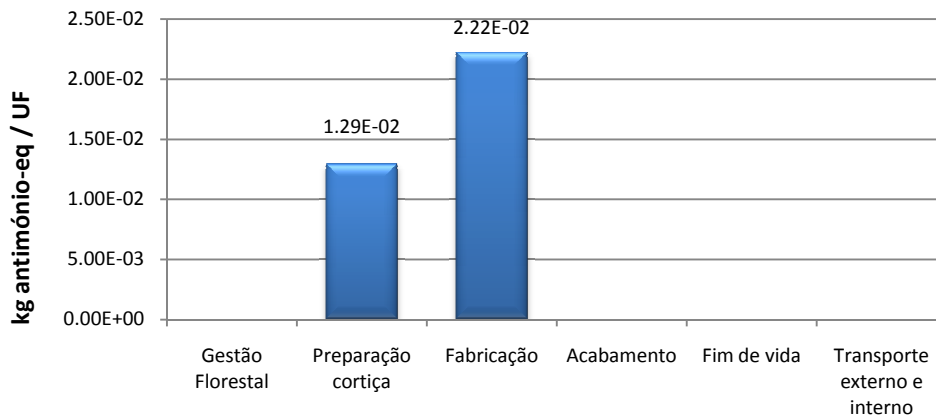
**Figura A3. Contribuição da rolha de cortiça Natural para o indicador Eutrofização.**

**A.1.4 - Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF)**



**Figura A4. Contribuição da rolha de cortiça Natural para o indicador Formação de Oxidantes Fotoquímicos.**

**A.1.5 - Consumo de Recursos não Renováveis**



**Figura A5. Contribuição da rolha de cortiça Natural para o indicador Consumo de Recursos não Renováveis**

**A.1.6 - Toxicidade Humana**

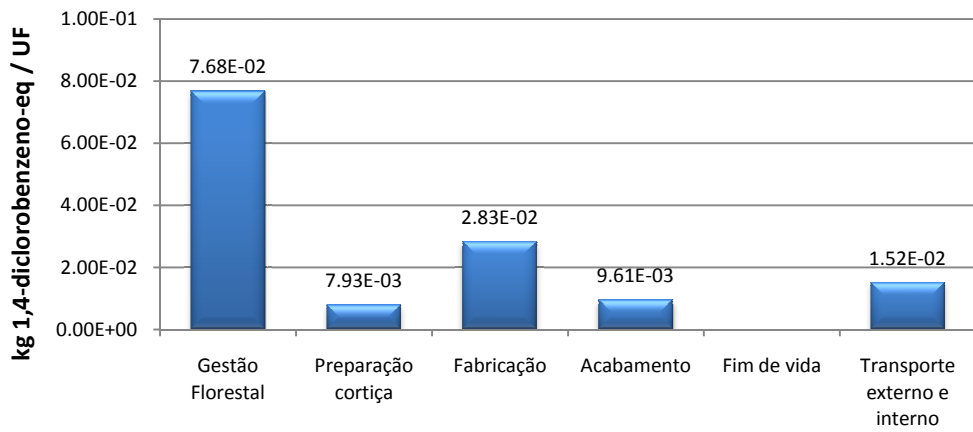


Figura A6. Contribuição da rolha de cortiça natural para o indicador Toxicidade humana.

### A.1.7 - Resíduos

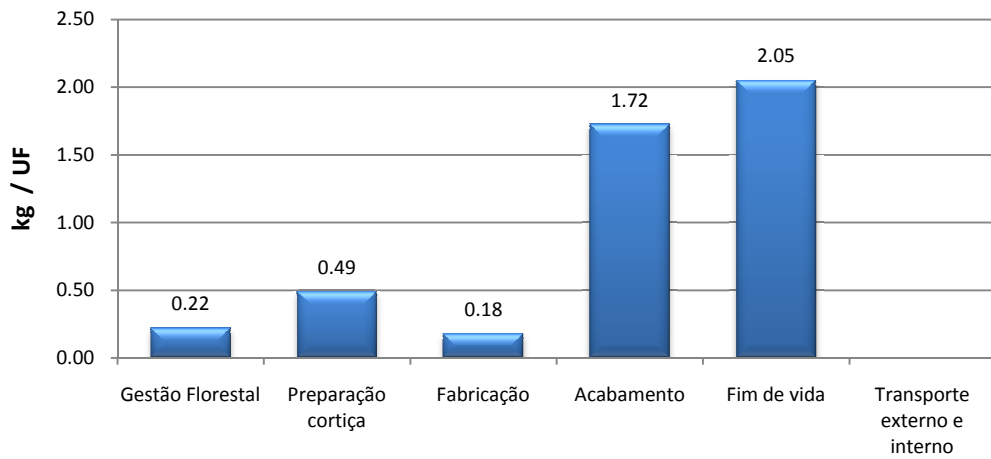


Figura A7. Contribuição da rolha de cortiça natural para o indicador Resíduos.

## **ANEXO II – Estimativa do consumo de combustível associado ao Transporte Externo**

Este anexo apresenta as considerações para a estimativa dos consumos de combustível usados no transporte externo (via rodoviária, por via marítima ou aérea). O transporte externo está associado ao transporte de cortiça em cru, transporte de rolhas entre processos ou transporte de rolhas até ao cliente final.

A Tabela A1 apresenta as equações utilizadas para a estimativa de consumo de combustível no transporte terrestre, marítimo e aéreo.

### ***Transporte Externo por via rodoviária – Camião***

Para a estimativa do consumo de combustível no sub-processo transporte externo (via rodoviária) foram considerados os seguintes pressupostos:

1. Capacidade máxima de carga do camião de 12 ton.
2. Consumo médio de diesel igual a 40L / 100 km.
3. Distância média de transporte de matéria-prima, subprodutos ou produtos calculada usando registos internos da empresa em análise. (através da localização das unidades industriais e os seus clientes).

O transporte terrestre da rolha de cortiça é realizado conjuntamente com outras mercadorias. Foram tomadas algumas considerações de modo a reportar o consumo do combustível ao transporte de rolhas.

- *Determinação de uma “pseudo-tara” do camião.* O factor peso é considerado para dividir o consumo de combustível por todos os elementos da carga do camião. No entanto devido à baixa densidade das rolhas, o volume ocupado por estas deverá ser tomado em conta para esta ponderação. A equação 1 (Tabela A1) é usada para determinar a importância das rolhas em termos de espaço de carga disponível.
- *Determinação do factor de ponderação.* O peso da carga é considerado através da determinação do factor de ponderação que é calculado a partir do peso da carga e a carga total, considerando o camião na carga máxima. A equação 2 e 3 (Tabela A1) permite corrigir o consumo de combustível e alocar as emissões ambientais do transporte terrestre por camião à carga de rolhas.

### ***Transporte Externo por via marítima - Navio Porta-contentores***

No caso do transporte marítimo, as considerações são as mesmas dos transportes terrestres, excepto que para o caso presente a densidade das rolhas não é um factor dominante. A influência da tara da ocupação do volume no porta-contentores é praticamente inexistente, uma vez que o espaço ocupado é constante. A alocação é feita apenas com ponderação de carga transportada (ver equação 4 da Tabela A1).

Para a estimativa do consumo de combustível no subprocesso transporte externo (via marítima) foram considerados os seguintes pressupostos:

1. Velocidade média de navegação (navios porta-contentores) = 23 nós/hr.
2. Consumo médio de fuel residual e emissões estimados tendo como origem da informação EMEP-CORINAIR (2007).
3. Transporte entre porto de Leixões (Matosinhos, Portugal) ou porto de Lisboa (Portugal) e o porto de Oakland (San Francisco, EUA).

### ***Transporte Externo por via aérea - Avião***

No transporte aéreo são tomadas as mesmas considerações do transporte marítimo. A equação 4 (Tabela A1), é usada para a alocação do consumo de combustível. O consumo de combustível é calculado pela equação 3 (Tabela A1),

Para a estimativa do consumo de combustível no sub-processo transporte externo (via aérea) foram considerados os seguintes pressupostos:

1. Avião de carga equiparado a um Boeing 747-400
2. Consumo médio e emissões estimadas através de EMEP-CORINAIR (2007).
3. O transporte aéreo foi considerado efectuar-se entre Portugal (aeroporto Francisco Sá Carneiro, Maia) e o aeroporto de São Francisco (estado da Califórnia, EUA).

Tabela 28. Equações utilizadas na estimativa de consumo de combustível no transporte terrestre, marítimo e aéreo.

<p><b>Equação 1:</b></p>	$tara_{carga} = \frac{Vol_{carga}}{Vol_{camião}} \times tara_{camião}$	<p><math>tara_{carga}</math> = responsabilidade do transporte das rolhas no deslocamento da tara do camião (ton).</p> <p><math>Vol_{carga}</math> = volume ocupado pela carga de rolhas (m<sup>3</sup>).</p> <p><math>Vol_{camião}</math> = volume total disponível no camião (m<sup>3</sup>).</p> <p><math>tara_{camião}</math> = peso do camião vazio (ton).</p>
<p><b>Equação 2:</b></p>	$eq_{peso} = \frac{tara_{carga} + peso_{carga}}{tara_{camião} + carga_{total}}$	<p><math>eq_{peso}</math> = factor de ponderação do consumo de combustível (adimensional).</p> <p><math>peso_{carga}</math> = peso da carga transportada (ton)-</p> <p><math>carga_{total}</math> = peso da carga total do camião (ton).</p>
<p><b>Equação 3:</b></p>	$Combustível_{eq} = eq_{peso} \times combustível_{real}$	<p><math>combustível_{real}</math> = quantidade de combustível consumido no transporte (L)</p>
<p><b>Equação 4:</b></p>	$eq_{peso} = \frac{peso_{carga}}{peso_{total}}$	<p><math>peso_{carga}</math> = peso da carga transportada (ton).</p> <p><math>peso_{total}</math> = peso total do navio porta-contentores (ton).</p>



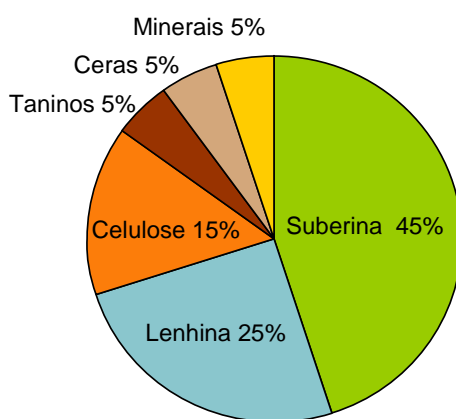
### **ANEXO III – Caracterização do comportamento da rolha de cortiça natural em final de vida (deposição em aterro ou incineração)**

Foram considerados alguns pressupostos na estimativa do comportamento de fim de vida da rolha de cortiça natural aquando deposta em aterro. A rolha após a sua fase de utilização (vedação de uma garrafa de vinho), é submetida aos mesmos processos de recolha e tratamento final do que o restante lixo urbano (resíduos sólidos urbanos RSU). A avaliação dos impactes de fim de vida tem em conta dois processos de gestão de RSU diferentes: deposição em aterro sanitário sem recolha de gases e incineração.

#### *Deposição em aterro sem recolha de gases*

As emissões centram-se principalmente nas resultantes da decomposição da rolha. Estas emissões são gasosas (provenientes da compostagem e da digestão anaeróbia (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>)), e produção de resíduos sólidos (parte resultante da rolha que não sofre decomposição. Não existem na bibliografia informação sobre os mecanismos de decomposição química e biológica da cortiça. De facto são desconhecidas as taxas de biodegradabilidade tanto nas fases aeróbia como anaeróbica e as condições óptimas de biodegradação da cortiça.

Pela análise da composição química da cortiça verificamos a presença de três constituintes principais (suberina = 45%, e lenhina = 25% e celulose =15%) (ver Figura A8).



**Figura A8. Composição química da cortiça. (Pereira, 2007)**

Em relação ao constituinte suberina, alguns autores referem que no estudo da biodegradação de plantas com casca suberosa, o tecido suberoso é o que apresenta maior resistência à degradação por parte dos microrganismos do solo (Parameswaran e

Wilhelm, 1979). Um outro autor (Kolattukudy, 1980) confirma esta tese referindo que o tecido suberoso é também muito resistente à biodegradação.

Em relação à lenhina alguns autores referem que a lenhina não é metabolizada por bactérias anaeróbias e não se decompõe significativamente quando depositada em aterro Cummings & Stewart, 1994. De facto vários autores referem que a decomposição de compostos contendo lenhina realiza-se de forma lenta ou quase não se decompõem. Haug (1993) afirma que devido a lenhina ser o componente mais recalcitrante das células das plantas, quanto maior for a presença da lenhina, menor a biodisponibilidade do substrato. Ludwig (1971) afirma que substrato com a presença de lenhina está associado a reduzidos índices de biodegradabilidade, ajudando na protecção contra agentes patogénicos e pesticidas. Timothy (2001) afirma que lenhina é o componente com menor taxa de biodegradação da vegetação morta, contribuindo de forma muito significativa para a formação do material que dá origem ao húmus. A degradação da lenhina realiza-se principalmente por processos aeróbios, e quando em ambientes anaeróbios pode persistir por períodos longos de tempo (Van Soest, 1994). Ham (2003), afirma que a lenhina é conhecida por ser não biodegradável em ambientes anaeróbicos, uma vez que a sua fragmentação inicial requer a presença de oxigénio. O mesmo autor avaliou o efeito da lenhina na decomposição aeróbia de resíduos sólidos determinando que apesar de alguma decomposição da lenhina durante a compostagem, a perda de outras substâncias como a celulose é substancialmente superior. Refere ainda que a presença de celulose e hemicelulose no substrato a degradação destas substâncias é superior à degradação da lenhina.

Chandler et al. (1980) formulou uma correlação matemática para a biodisponibilidade de substratos orgânicos em ambiente anaeróbio baseado no seu teor em lenhina (equação 5).

$$\text{Equação 5} \quad B = 0,83 - 0,028 X_1$$

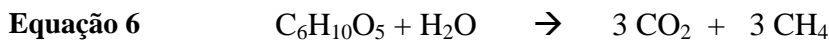
Onde,  $X_1$  representa o teor em lenhina (em % de sólidos voláteis) e  $B$  é a fracção biodegradável do substrato.

Em relação à celulose verifica-se que esta é a principal fonte de substrato presente na rolha. A degradação da rolha ocorre principalmente neste componente e na sua relação com a lenhina. Testes laboratoriais mostram que mesmo em condições óptimas para a degradação anaeróbica, 71% da celulose do substrato (composição igual a encontrada nos RSU's) sofreu degradação e a degradação da lenhina é negligenciável (Barlaz, 2005).

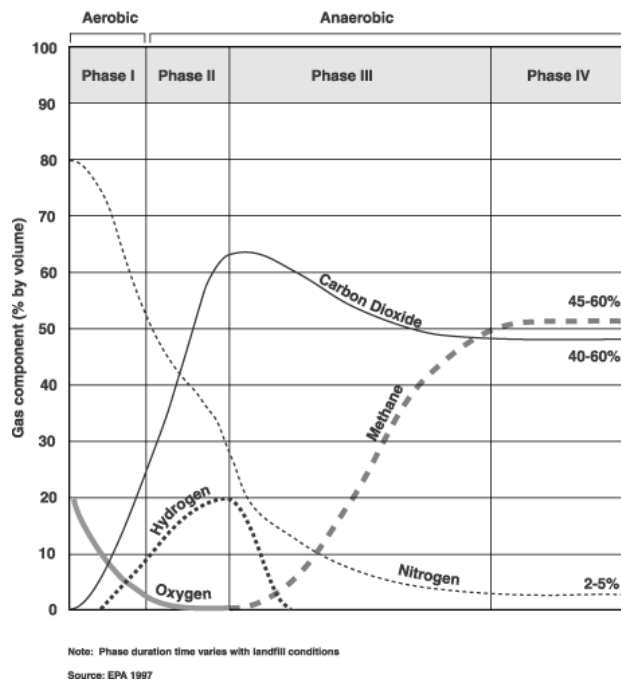
Assim, com base na informação bibliográfica recolhida considera-se massa de cortiça disponível para biodegradação é de 15% (massa de celulose na cortiça). Usando a equação 5, que determina a fracção biodegradável do substrato com a presença de lenhina, podemos estimar o coeficiente de biodegradabilidade da cortiça. O resultado obtido é igual a 12,6%, i.e., esta será a massa da rolha que sofre decomposição em ambiente anaeróbio.

A pequena percentagem de taninos na cortiça deverá ter influência na biodegradação da rolha de cortiça. A presença de taninos geralmente abranda a velocidade de decomposição da matéria orgânica, inibindo a actividade enzimática biodegradável do organismo atacante (Scalbert, 1991). A capacidade dos taninos de complexarem com proteínas e aminoácidos, inibe a deposição da matéria orgânica (Arunachalam, 2003). Além disso, Field e Lettinga (1992) determinaram que concentrações superiores a 1-2% de taninos reduzem de forma significativa a decomposição da matéria orgânica. Aruchalam (2001) afirma que concentrações molares de taninos superiores a 10 mM são literalmente tóxicos para o ambiente.

Em seguida (Figura A9) são apresentadas as fases de degradação em aterros de RSU's. A duração de cada fase varia com as condições do aterro (por exemplo: percentagem de humidade, arejamento, tamanho das partículas). O valor comum até ao declínio de emissões gasosas é 40 anos. Verificamos que a fase aeróbia é relativamente pequena e desprezável em relação à emissão de gases. Desta forma as emissões gasosas da fase aeróbia não serão contabilizadas para a estimativa das emissões na decomposição da rolha. Os gases emitidos incluem o dióxido de carbono e o metano. A estimativa destas emissões é dada pela reacção da metanogénese da celulose (Martin, 1981) e apresentada na equação 6.



Através da estequiometria da reacção, consideramos que 12,6% do teor de celulose presente na rolha se decompõe em CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. O balanço material determina que a deposição da UF em aterro dá origem a 0,428 kg de CO<sub>2</sub> e 0,175 g de CH<sub>4</sub>. A restante massa de rolha seca não sofre qualquer alteração na deposição em aterro.

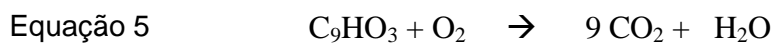


**Figura A9. Fases e consequentes emissões de gases resultantes da deposição em aterro de resíduos sólidos urbanos (EPA, 1997).**

### *Incineração*

Assumiu-se que processo de **incineração** se realiza sem recuperação energética. As emissões resultantes correspondem às emissões gasosas resultantes da queima das rolhas presentes. As cinzas de fundo serão depositadas em aterro. Considera-se a completa oxidação da cortiça nos elementos mais simples (dióxido de carbono e água). Pela análise elementar da rolha de cortiça de composição química: 67,4% de Carbono, 7,8% de Hidrogénio e 24,8% de Oxigénio (informação de ASSOLEGNO, 2007) é possível determinar a fórmula empírica da cortiça:  $C_9H_{10}O_3$ .

A estequiometria da reacção de combustão da rolha de cortiça está presente na equação 7.



Com base no balanço mássico verificamos que por cada unidade funcional incinerada são emitidos para a atmosfera 8,9 kg de  $CO_2$ . Em relação às cinzas, que correspondem à parte inorgânica da massa da rolha, estima-se que por unidade funcional (100 rolhas de cortiça natural) são depositados em aterro 0,175 kg de cinzas.

## ANEXO IV – Avaliação comparativa dos resultados do impacte ambiental da rolha de cortiça natural.

Neste anexo são Comparados os resultados do impacte calculados para a rolha de cortiça natural com os valores disponíveis na bibliografia consultada (Ecobilancio, 2006; PWC/ECOBILAN, 2008). A Tabela A2 resume os resultados obtidos para a etapa de caracterização.

**Tabela A2. Resultados da etapa de caracterização. Comparação com resultados obtidos na tese com os apresentados na bibliografia consultada (Ecobilancio, 2006; PWC/ECOBILAN, 2008) os valores apresentados são reportados à unidade funcional (UF= 1000 rolhas).**

Problema ambiental	Resultados obtidos na etapa de Caracterização	(ECOBILANCIO, 2006)	(PWC/ECOBILAN, 2008)
Aquecimento Global	17,53 kg CO <sub>2</sub> eq	7,08 kg CO <sub>2</sub> eq	1,53 kg CO <sub>2</sub> eq
Acidificação	80,83 g SO <sub>2</sub> eq <sup>1</sup>	5,15 g SO <sub>2</sub> eq	1,4 g H <sup>+</sup> eq
Eutrofização	9,58 g PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,1 g PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,6 g PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> eq
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	30,89 g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	5,86 g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	3,5 g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Consumo de Recursos não Renováveis	35,1 g antimónio <sup>2</sup>	165,0 MJ	102,2 MJ
Toxicidade Humana	139,22 g de 1,4 diclobenzo	---	---
Resíduos	2,80 kg	3,07 kg	3,7 kg
Consumo de água	---	---	25,6 m <sup>3</sup>
Deterioração da camada de Ozono	---	7,29E-4 g CFC11 eq	---
Metais pesados	---	0,0214 g Pb eq	---
“Winter Smog” (Emissão de partículas e de SO <sub>2</sub> )	---	38,9 g PM eq	---
Consumo de água	---	---	25,6 m <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Equivalente a 2,7 g H<sup>+</sup> eq.

<sup>2</sup> Equivalente a 72,5 MJ